

168477

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME PERDELİ BİNALARDA DEPREM YÜKÜ
EKSANTRİKLİĞİNİN ETKİLERİNİN İNCE CİDARLI
KESİTLER TEORİSİ İLE ARAŞTIRILMASI

İnş. Müh. Erdoğan Kara

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Naci Yücefer

Prof. İbrahim Ekiz

Prof. Dr. Cengiz Karakoc

Naci Yücefer

İbrahim Ekiz

Cengiz Karakoc

07.06.2005

Tez Danışmanı: Prof. Naci YÜCEFER (YTÜ)

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

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	3
1.2 St. Venant Burulması (Primer Burulma) " M_T "	4
1.3 Kesit Çarpılması (Boylama Deplasmanlar) " W "	5
1.4 Kesit Tesirlerinin Tanımlanması	9
1.4.1 Normal Kuvvet.....	12
1.4.2 Eğilme Momentleri	12
1.4.3 Burulmadan Dolayı Oluşan Normal Gerilmeler	13
1.4.4 Bimoment	14
1.5 Kayma Merkezi " M "	16
1.6 Çarpılma Gerilmeleri	18
1.6.1 Çarpılma Normal Gerilmesi	18
1.6.2. Çarpılma Burulması ve Kayma Gerilmesi	19
1.7 Burulma Diferansiyel Denklemi.....	21
2. KONSOL KİRİŞLERDE TEKİL DIŞ BURULMA MOMENTİ UYGULANMASININ İNCE CİDAR TEORİSİ KULLANILARAK YAPILMASI.....	22
2.1. Tekil Burulma Momentinin Bulunduğu Yerde 1. Bölge ve 2.Bölge formülü ile Bulunan φ Açısının Eşitliğinin Gösterilmesi	24
2.2. Genel Formüllerden φ , φ' , φ'' , φ''' İçin Konsol Kirişin Uç Kısmında Moment Uygulanması Durumunda Türetilmesi	25
2.3. Ankastre Uçtaki φ 'nin Bulunması	26
2.4. Konsol ucundaki φ 'nin Bulunması	27
2.5. Tekil Burulma Momentinin Bulunduğu Yerdeki φ' , φ'' , φ''' 'nin Bulunması	28

3. MODEL BİNANIN ÇÖZÜMÜ.....	30
3.1.1. Döşeme ağırlığı.....	30
3.1.2. Kat Ağırlıkları	30
3.1.3. Katlara etkiyen deprem yükleri.....	34
3.1.4. Ağırlık merkezinin hesabı.....	35
3.1.5. y diyagramının çizilmesi.....	37
3.1.6. ω_s diyagramı.....	38
3.1.7. J_{zos} 'nin hesabı.....	39
3.1.8. ω_m diyagramı.....	40
3.1.9. Tahrikler	42
3.1.10. Burulma Atalet Momenti.....	43
3.1.11. Sektörel Statik Moment ($S_{om(s)}$) 'in Değerinin Bulunması	46
4. BURULMA MOMENTLERİNİN HESABI	52
4.1. Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	52
4.1.1. Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	52
4.1.2. Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	54
4.1.3. Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	56
4.1.4. Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	58
4.1.5. Burulma Momentinin 2. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	60
4.1.6. Burulma Momentinin 1. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	62
4.2. Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	67
4.2.1. Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	67
4.2.2. Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	69
4.2.3. Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	71
4.2.4. Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	73
4.2.5. Burulma Momentinin 2. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	75
4.2.6. Burulma Momentinin 1. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	77
4.3. Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	82
4.3.1. Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	82
4.3.2. Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	84

4.3.3.	Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	86
4.3.4.	Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	88
4.3.5.	Burulma Momentinin 2. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	90
4.3.6.	Burulma Momentinin 1. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	93
4.4.	Burulma Momentinin Tđm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması	97
4.4.1.	Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	97
4.4.2.	Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	99
4.4.3.	Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	101
4.4.4.	Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması.....	103
5.	DÜŞEY YÜKTEN DOLAYI ORTAYA ÇIKAN GERİLMELER	108
6.	SONUÇLAR.....	112
	KAYNAKLAR	115
	ÖZGEÇMİŞ	116

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 atalet 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	Kayma merkezi ordinatı
z_M	Kayma merkezi apsis



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Model bina	2
Şekil 1.2	Koordinat sistemi.....	3
Şekil 1.3	Kesit burulma momenti için pozitif yönler	3
Şekil 1.4	Koordinat sistemi.....	4
Şekil 1.5	Zıt yönlerde burulmaya maruz bir çubuk ve boy değişimleri.....	6
Şekil 1.6	Çarpılmış bir kesit ve boylama deplasmanları	7
Şekil 1.7	Yücefer.....	8
Şekil 1.8	Yücefer.....	9
Şekil 1.9	Lo uzunluğunda bir çubukta meydana gelen boy değişimi.....	10
Şekil 1.10	Diferansiyel bir eleman	11
Şekil 1.11	Kayma merkezi	17
Şekil 1.12	Sekonder burulma.....	19
Şekil 1.13	Sistem.....	31
Şekil 3.1	Katlara etkiyen deprem yüklerinin gösterilmesi	33
Şekil 3.2	Sistem.....	34
Şekil 3.3	Ağırlık merkezinin hesabı	35
Şekil 3.4	y diyagramı	36
Şekil 3.5	Sistem.....	37
Şekil 3.6	ω_s diyagramı.....	38
Şekil 3.7	Sistem.....	39
Şekil 3.8	Sistem.....	39
Şekil 3.9	ω_m diyagramı	40
Şekil 3.10	Sistem.....	41
Şekil 3.11	Eksantritenin gösterilmesi	42
Şekil 3.12	Sistem.....	45
Şekil 3.13	ω_m diyagramı	45
Şekil 3.14	Sistem.....	46
Şekil 3.15	Sistem.....	47
Şekil 3.16	Sistem.....	48
Şekil 3.17	$S_{\omega m}$ diyagramı	50
Şekil 5.1	Perdelere gelen yüklerin gösterilişi	107
Şekil 5.2	K1 ve K3 perdeleri için döşeme sabit yükleri	108
Şekil 5.3	K1 ve K3 perdeleri için döşeme hareketli yükleri	100
Şekil 5.4	K2 perdesine gelen yükler	101
Şekil 5.5	K4 ve K5perdelerine gelen yükler	101
Şekil 6.1	Burulma düzensizliği durumu	112

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge3.1 Kat ağırlıkları.....	32
Çizelge3.1 Katlara etkiyen deprem yükleri	33
Çizelge4.1 Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$ değerlerinin gösterilişi	64
Çizelge4.2 $x=0$ m. iken Tüm Katlarda ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ değerlerinin gösterilişi	65
Çizelge4.3 $x=0$ m iken τ değerleri	65
Çizelge4.4 Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$ değerlerinin gösterilişi	79
Çizelge4.5 $x=3$ m. iken Tüm Katlarda ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ değerlerinin gösterilişi	80
Çizelge4.6 $x=3$ m iken τ değerleri	80
Çizelge4.7 Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$ değerlerinin gösterilişi	94
Çizelge4.8 $x=6$ m. iken Tüm Katlarda ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ değerlerinin gösterilişi	95
Çizelge4.9 $x=6$ m iken τ değerleri	96
Çizelge4.10Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ değerlerinin gösterilişi	105
Çizelge4.11 $x=9$ m. iken Tüm Katlarda ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ değerlerinin gösterilişi	106
Çizelge4.12 $x=9$ m iken τ değerleri.....	106

ÖNSÖZ

Taşıyıcı sistemlerde eğilme momenti/momentleri, kesme kuvvetleri ile burulma yükü beraberce etki ederler. Malzemeyi lineer elastik kabul ederek bu etkileri ayrı ayrı ele alıp süperpoze etmek mümkündür.

Kesit burulma momenti ($M_{T\Sigma}$)'nin iki kısım moment ile karşılandığı kabul edilmektedir. Bu durum konuya yaklaşım ile ilgili bir kabuldür. Burada (M_T) St. Venant Burulmasını, (M_τ) ise zorlama ya da çarpılma (seconder) burulmasını göstermektedir.

$$M_{T\Sigma}=M_T+ M_\tau$$

Konunun açıklanabilmesinde St. Venant adındaki Fransız bilim adamı ilk esasları ortaya koymuş kendi adıyla bilinen burulmanın ifadelerini çıkarmıştır.(1855) Mühendislikteki uygulamaları için bu esaslara R. Bredt (1896) ve A. Föppl (1917) tarafından önemli ilaveler yapılmıştır.

Bu çalışmada altı katlı, perde taşıyıcı sistemine sahip bir betonarme binanın, deprem yükü dış merkezliliğinin etkileri ince cidarlı kesitler teorisiyle incelenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. İncelemede Prof. Naci YÜCEFER'in lisansüstü programında verdiği 'İnce Cidarlı Taşıyıcılar' dersi notlarından yararlanılmıştır.

Çalışmalarım süresince benden bilgi, hoşgörü ve anlayışlarını esirgemeyen bütün hocalarıma ve arkadaşlarıma, öncelikle sayın Prof. Naci YÜCEFER'e ve sevgili annem Suna Kara'ya, babam Ahmet Kara'ya, eşim Elif Kara'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu çalışmada; perde taşıyıcı sistemine sahip betonarme binalarda deprem yükü dışmerkezliliğinin etkilerinden oluşan burulma momentlerinin etkileri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. İlk iki bölüm, ince cidarlı kesitlerin burulma teorisinin ve bu yöntemle konsol kirişlerde tekil dış burulma momenti uygulamasının açıklanmasına ayrılmıştır. Üçüncü bölümde, model binanın çözümü ince cidar teorisine göre yapılmıştır. Dördüncü bölümde her bir katta ayrı ayrı burulma momentleri 1000 kNm olarak alınıp buna göre Z, 1, 2, 3. katlardaki perdenin A, B, C, D noktalarındaki $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ değerleri ince cidar teorisine göre bulunmuştur. Sonrasında gerçek gerilme değerleri; üçüncü bölümde bulunan burulma değerleri kullanılarak süperpozisyonla bulunmuş ve değişimleri araştırılmıştır. Bulunan bütün sonuçlar tablolastırılmıştır. Beşinci bölümde düşey yükten dolayı ortaya çıkan gerilme hesap edilip karşılaştırma yapılmıştır. Altıncı bölümde sonuçlar özetlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Eksantiriste, burulma momentleri, deprem kuvvetleri, burulma normal gerilmeleri, burulma kayma gerilmeleri.



ABSTRACT

In this study, impacts of the torsion moment, which is formed the impacts of the earthquake load eccentricity on reinforced concrete buildings having curtain bearing structure, were comparatively studied. The first two Parts are allocated for explanation of the torsion theory of the cross sections with thin external walls and application of the singular outer torsion moment on cantiveler beam using the aforesaid method. In the Third Part, solution for the model building was provided according to thin-walled building theory. In part 4, torsion moments on each floor were taken as 1000 kNm one by one and $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ values on points A, B, C, D of the curtains at Ground, 1st, 2nd, 3rd floors were found according to thin- walled building theory. Subsequently, the real tension values were calculated through supervision using the torsion values obtained in Part Three and their variations were studied. All of the results were put in a table. In Part 5, the tension caused by the vertical load was calculated and compared. Conclusions were summarized in Part 6.

Key words: Eccentricity, torsion moments, earthquake strength, torsion normal tension, torsion sliding tension



1. İNCE CİDARLI KESİTLERİN BURULMA TEORİSİ

1.1 Giriş

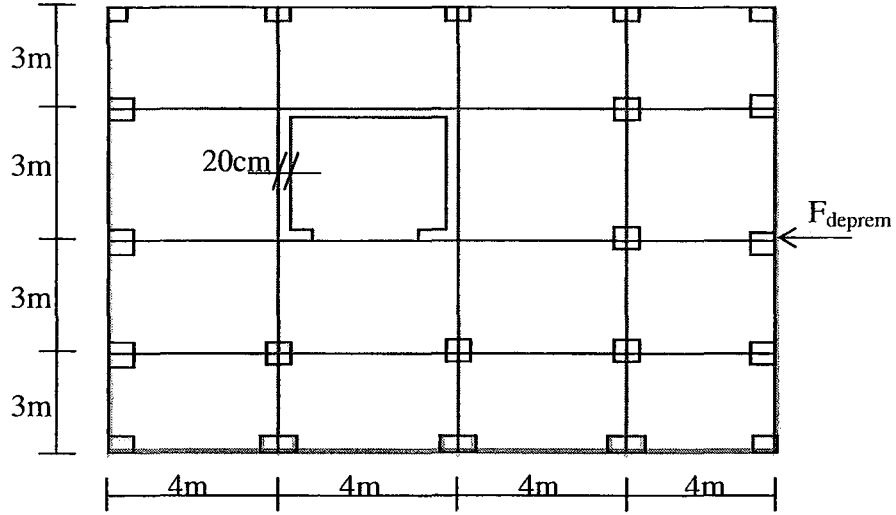
Günümüzde teknolojideki gelişmeyle birlikte gelişen inşaat yöntemleri sayesinde kullanılan malzemelerin cidar kalınlıkları da giderek azalmıştır. Kullanılan statik açıklıklar büyüdükçe kalınlık dışındaki diğer boyutlarda büyüdüğü zaman cidar kalınlığının küçük olması büsbütün ön plana çıkmaktadır. Bir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

$t/b \leq 0.10$ koşulunu sağlayan eleman kesitleri ince cidarlı kesitlerdir.

Çelik yapılarda sıkça karşılaşılabir durum olmakla beraber betonarme ön gerilmeli beton ve kompozit sistemlerde de ender değildir. Özellikle açık ince cidarlı yapı elemanlarında burulma tesiriyle oluşan büyüklükler hatırı sayılır mertebededir.

Kesitlerin düzlem kalması kabulünün (Bernoulli) saklı tutulması, burulmanın teorik olarak açıklığa kavuşturulmasını uzun zaman önlemiştir. Bu kabulden ilk olarak ayrılan St. Venant teorisinde, çubukta ilave bir çarpılma hâsıl olmaktadır. Bu konuda birçok araştırma yapılmış ve böylece Çarpılmalı Burulma Teorisi ortaya çıkmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, altı katlı, perde taşıyıcı sistemine sahip bir betonarme binanın deprem yükü dış merkezliliğinin etkileri ince cidarlı kesitler teorisi ile incelenmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.



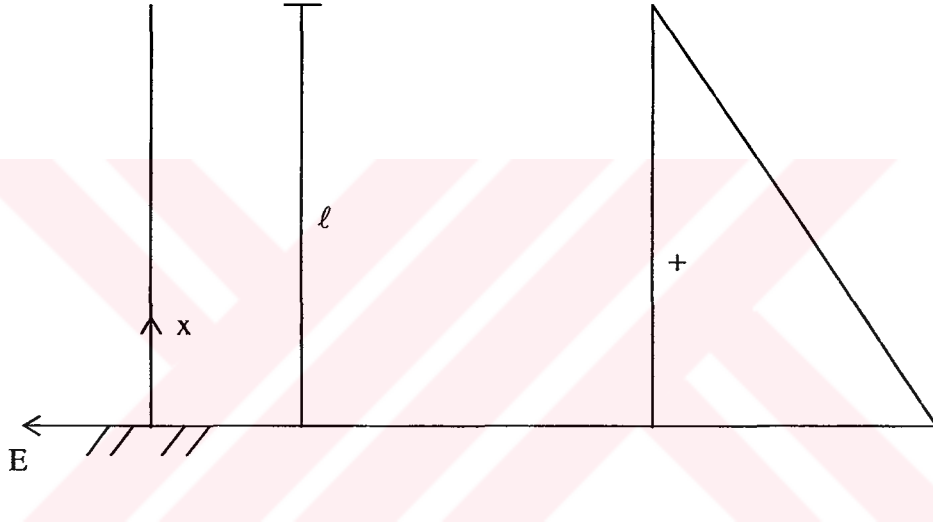
Şekil 1.1 Model Bina

İncelenen binanın taşıyıcı sistem düzeni Şekil 1,1’de verilmiştir. Yapı bir zemin kat ve 5 normal kat olmak üzere 6 katlıdır. Kat yüksekliği 3 metre olup toplam bina yüksekliği 18 metredir. Dış ile iç kirişler 25/50 cm boyutludur. Kolonlar zemin katta ve birinci normal katta 40 x 40 cm, ikinci normal katta ve üçüncü normal katta 35 x 35 cm, dördüncü ve beşinci normal katlarda 30 x 30 cm boyutundadır. Taşıyıcı betonarme perde kalınlığı 20cm’dir. Yapı, I. Derece deprem bölgesinde olup, zemin sınıfı Z1 olarak varsayılmıştır. Yapı önem katsayısı 1 olarak alınmıştır. Hareketli yük azaltma katsayısı $n=0,30$ alınmıştır.

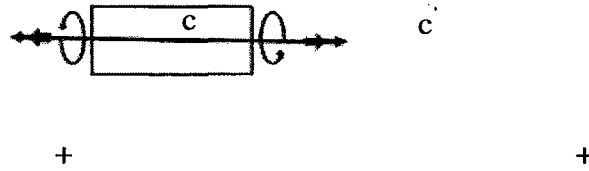
İncelenen binada, döşeme kalınlığı 15 cm olarak alınmıştır. Hareketli yük 5 kN/m^2 ’dir. Deprem yükü azaltma katsayısı (R), yapı perdeli-çerçevesel bir taşıyıcı sistem olduğundan 6 olarak alınmıştır. Yapılan hesaplarda öncelikle ince cidarlı kesitler teorisine ait parametreler belirlenmiş, daha sonra da bu parametrelerle, betonarme perde’nin ince cidarlı kesit teorisine göre ilgili parametreleri hesaplanarak, gerilme değerleri elde edilmiştir. İşlem safhaları ileriki aşamalarda belirtilmiştir.

1.1.1 İncelenecek Kesitlerin Ön Kabulleri

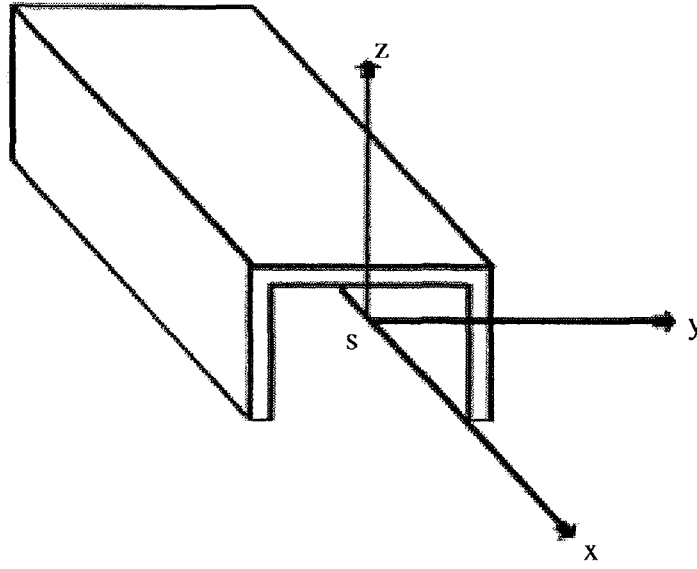
- 1) Kesitler ince cidarlı ve açık kesitlidir.
- 2) Sistem boylama eksenini doğrusal (x-ekseni)
- 3) Kesit konturu deformasyonlar sırasında değişmemektedir.
- 4) Atalet momenti sabittir, cidar kalınlığı boylama yönde değişmemektedir.
- 5) Kayma gerilmelerinden ileri gelen deformasyonlar dikkate alınmamaktadır.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



Şekil 1.2 Koordinat sistemi



Şekil 1.3 Kesit burulma momenti için pozitif yönler

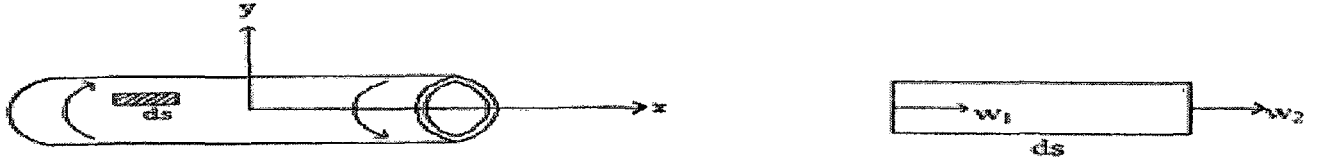


Şekil 1.4 Koordinat sistemi

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 boyuna 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.



Şekil 1.5 Zıt yönlerde 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 boyuna yönde lineer olarak artar. Bu nedenle dönme açısı θ sabittir.

$$\theta = \phi' = \frac{d\phi}{dx} = \text{sabit} \quad (1.1)$$

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

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \phi' \quad (1.2)$$

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

$$J_T = \frac{1}{3} \cdot k \cdot \sum b_i t_i^3 \quad (1.3)$$

1.3 Kesit Çarpılması (Boyuna Deplasmanlar) " ω "

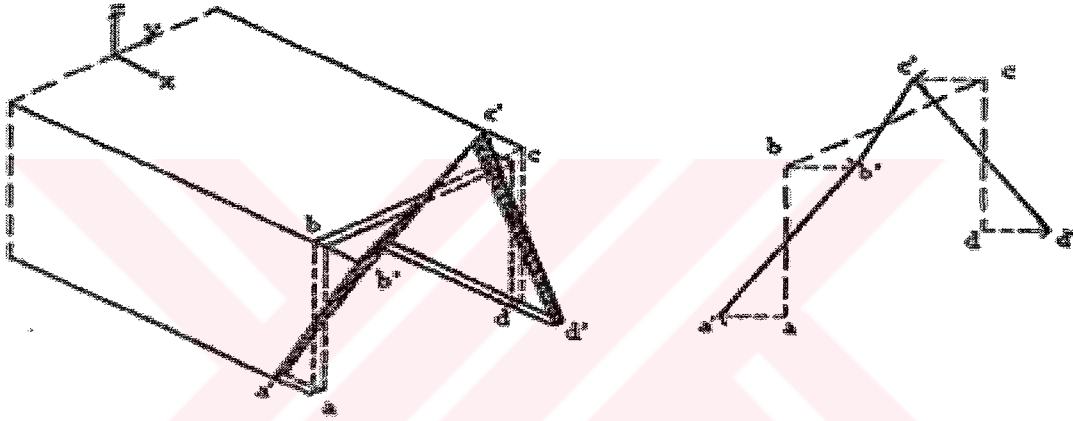
Deformasyondan önce düzlem olan enkesitler, kirişin burulma deformasyonu sonucu genellikle düzlem kalmazlar. Enkesit noktaları, burulma sonucu en kesit düzlemine dik olmak üzere, farklı deplasmanlar yapar. Buna kesit çarpılması adı verilir.

Başka bir deyişle, boyuna 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 boyuna eksenine paralel alınacak bir lif üstündeki bütün noktaların aynı miktarda çarpılmaları (boyuna deplasman yapmaları) gerekir. Aksi halde bir lifin iki ucunda farklı boyuna deplasmanlar oluşup, dx boyu değişir ve normal gerilmeler oluşurdu. Demek ki St. Venant burulmasında çarpılma sadece y ve z nin bir fonksiyonudur veya değişkenlik cidar üzerinde s ile gösterilirse sadece s' in bir fonksiyonudur.

$$w=w(y,z) \quad (1.4)$$

$$w=w(s) \quad (1.5)$$

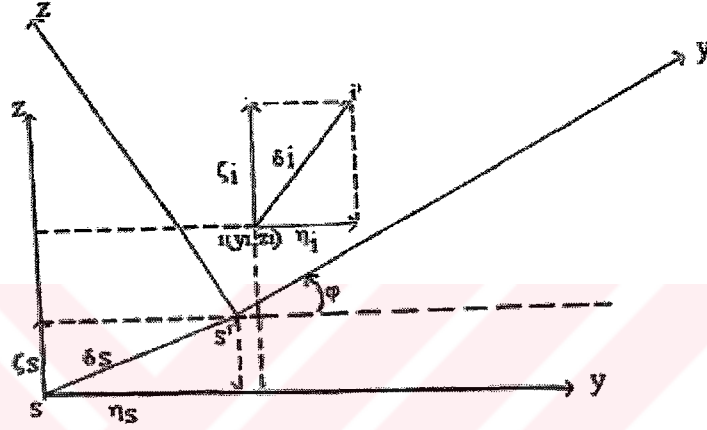


Şekil 1.6 Çarpılmış bir kesit ve oluşan boyuna deplasmanlar.

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. Matematiksel olarak ifade edilirse;

$$\frac{\partial w}{\partial s} + \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (1.6)$$

Yukarıda verilen bu sonucun sadece St. Venant burulmasında değil, genel burulma halinde de geçerli olduğu kabul edilmektedir bir diğer değişle ‘ sekonder kayma gerilmeleri ‘ sonucu oluşan deformasyonlar dikkate alınmamaktadır. 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 1.9 'da gösterilmiştir.



Şekil 1.7 (Yücefer, 1977)

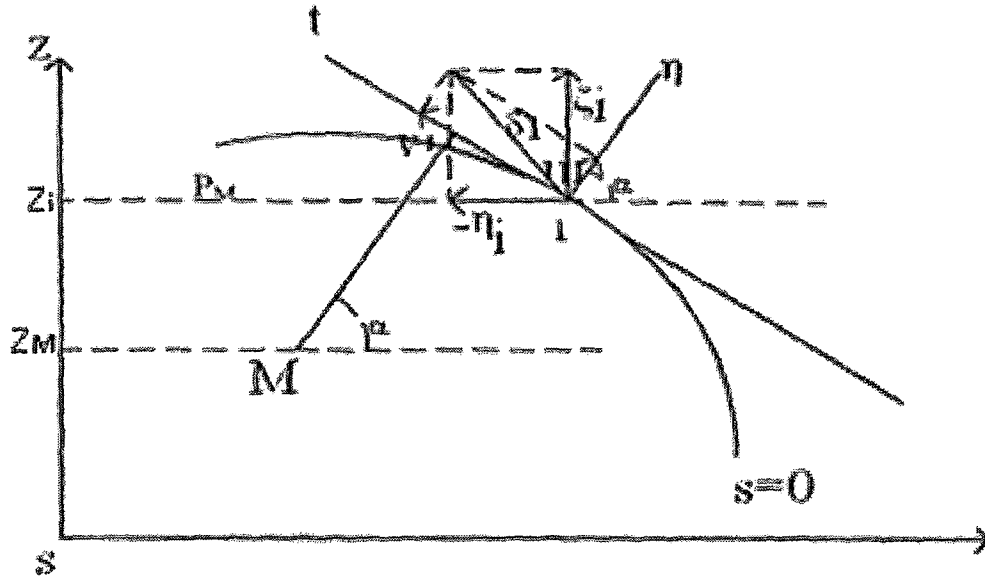
$$\eta_i = \eta_s - z_i \cdot \phi_i \quad (1.7)$$

$$\zeta_i = \zeta_s + y_i \cdot \phi_s \quad (1.8)$$

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;

$$\eta_i = \eta_m - (z_i - z_m) \phi_m \quad (1.9)$$

$$\zeta_i = \zeta_m + (y_i - y_m) \cdot \phi_s \quad (1.10)$$



Şekil 1.8 (Yücefer, 1977)

"i" noktasının teğetsel yöndeki deplasmanı v_i ile koordinat eksenleri yönlerindeki deplasmanları (η_i, ζ_i) arasında ilişki ise şekil 1.8 den;

$$v_i = \zeta_i \cdot \cos \alpha - \eta_i \cdot \sin \alpha \quad (1.11)$$

(1.10) ve (1.9)'daki değerler (1.11)'de yerine konulursa ve "i" noktası ile M noktası arasındaki normal uzaklığın değeri;

$$P_M = (y_i - y_M) \cdot \cos \alpha + (z_i - z_M) \cdot \sin \alpha \quad (1.12)$$

Teğetsel yöndeki deplasman için ise şu değer bulunur;

$$v_i = v = \zeta_M(x) \cdot \cos \alpha - \eta_M(x) \cdot \sin \alpha + \varphi_M(x) \cdot P_M(s) \quad (1.13)$$

Bulunan (1.6) ve (1.13) kullanılarak boylama deplasman şu şekilde bulunabilir;

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

$$w(x, s) = - \int_0^s \frac{\partial v}{\partial x} ds + \xi(x) \quad (1.14)$$

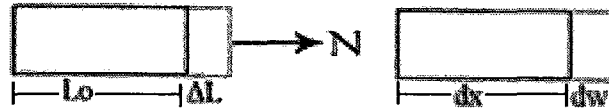
$$w(x, s) = -\zeta_M'(x).z(s) - \eta_M'(x).y(s) - \varphi_M'(x) \cdot \int_{s=0}^s P_M(s) ds + \xi(x) \quad (1.15)$$

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 Kuvvet

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



Şekil 1.9 L_0 uzunluğunda bir çubukta meydana gelen boy değişimi

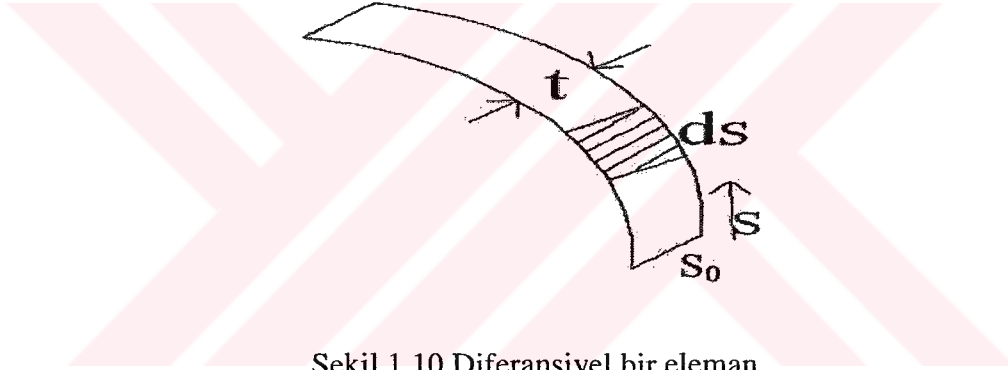
$$\epsilon_x = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (1.16)$$

$$\varepsilon_x = \frac{dw(x,s)}{dx} \quad (1.17)$$

$$\sigma_x = E.\varepsilon_x = E.\frac{\partial w(x,s)}{\partial x} \quad (1.18)$$

$$\sigma_x = E.[-\zeta_M''(x).z(s) - \eta_M''(x).y(s) - \varphi_M''(x).\omega_M(s) + \xi'(x)] \quad (1.19)$$

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



Şekil 1.10 Diferansiyel bir eleman

$$dA = t.ds \quad (1.20)$$

$$N = \int \sigma_x.dA = \int \sigma_x.t.ds \quad (1.21)$$

$$N = \int_{s_0}^{s_e} E.(-\zeta_M'' .z - \eta_M'' .y - \varphi_M'' \omega_M + \xi')t.ds \quad (1.22)$$

$$N = -E.\zeta_M'' \int_A z.dA - E.\eta_M'' \int_A y.dA - E.\varphi_M'' \int_A \omega_M.dA + E.\xi' \int_A t.ds \quad (1.23)$$

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 kayma merkezi "M" noktasından geçen eksene göre ifade edilecektir. Bu sayede klasik mukavemetten farklı olarak burulma nedeniyle yeni kesit tesirleri söz konusu olacaktır.

(1.23)'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;

$$S_y = \int z \cdot dA \quad (1.24)$$

$$S_z = \int y \cdot dA \quad (1.25)$$

Ağırlık merkezinden geçen eksen takımına göre

$S_y = S_z = 0$ ise;

$$N = E \cdot \varphi_M'' \int_A \omega_M \cdot dA + E \cdot \xi' \int_A t \cdot ds \quad (1.26)$$

$$S\omega(s) = \int_A \omega_M \cdot dA \quad (1.27)$$

Burada görülen $S\omega$ ifadesine "Sektörel Statik Moment" veya "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;

$$N = E \cdot \xi'(x) \cdot \int_A t \cdot ds = E \cdot \xi'(x) \cdot A \quad (1.28)$$

$$\xi' = \frac{N}{E.A} \quad (1.29)$$

1.4.2 Eğilme Momentleri

Klasik mukavemet teorisinden bilinen eğilme momenti ifadeleri aşağıda gösterilmiştir.

$$My = \int_A \sigma_x \cdot z \cdot dA \quad (1.30)$$

$$Mz = \int_A \sigma_x \cdot y \cdot dA \quad (1.31)$$

(1.20)'deki σ_x değeri kullanılırsa;

$$My = \int_A E \cdot [-\zeta_M''(x) \cdot z(s) - \eta_M''(x) \cdot y(s) - \varphi_M''(x) \cdot \omega(s) + \xi'(x)] \cdot z \cdot dA \quad (1.32)$$

$$My = -E \cdot \zeta'_m(x) \cdot \int_A z^2(s) - E \cdot \eta'_m(x) \cdot \int_A z(s) \cdot y(s) \cdot dA - E \cdot \varphi'_m(x) \cdot \int_A z(s) \cdot \omega(s) \cdot dA + E \cdot \xi'(x) \int_A z \cdot dA \quad (1.33)$$

Yukarıdaki ifade de burulmadan kaynaklanan kesit integralleri ile karşılaşılmaktadır. Bu entegraller aşağıda gösterilmiş olup, bunlara "Sektörel Deviasyon Momentleri" adı verilmektedir. Ve " $J_{y\omega M}$ " ve " $J_{z\omega M}$ " olarak gösterilmişlerdir.

$$J_{yy} = \int_A z^2 \cdot dA \quad (1.34)$$

$$J_{zz} = \int_A y^2 \cdot dA \quad (1.35)$$

$$J_{yz} = \int_A y.z.dA \quad (1.36)$$

$$J_{y\omega M} = \int_A \omega_M .z.dA \quad (1.37)$$

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

Dönme eksenini olarak "M" noktasından geçen boyuna eksenler seçildiği takdirde yani 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;

$$M_y = -E.\zeta''_M(x).J_{yy} \quad (1.39)$$

$$M_z = -E.\eta''_M(x).J_{zz} \quad (1.40)$$

olarak bulunur. Ve ayrıca;

$$\zeta''_M(x) = -\frac{M_y}{E.J_{yy}} \quad (1.41)$$

$$\eta''_M(x) = \frac{M_z}{E.J_{zz}} \quad (1.42)$$

değerleri elde edilir.

1.4.3 Burulmadan Dolayı Oluşan Normal Gerilmeler (Çarpılma Gerilmeleri)

$$\sigma_x = E.[-\zeta''_M(x).z(s) - \eta''_M(x).y(s) - \varphi''_M(x).\omega_M(s) + \xi'(x)]$$

ζ' , ξ'' , η'' değerleri (1.19)'da yerlerine konulursa;

$$\sigma_x = E \left[- \left(- \frac{M_y}{E.J_{yy}} \right) . z - \left(\frac{M_{zz}}{E.J_{zz}} \right) . y - \varphi_M''(x) . \omega_M(s) + \frac{N}{E.A} \right] \quad (1.43)$$

$$\sigma_x = \frac{M_y}{J_{yy}} . z - \frac{M_{zz}}{J_{zz}} . y + \frac{N}{E.A} - E . \varphi_M''(x) . \omega_M(s) \quad (1.44)$$

Son derece önemli ve bu çalışmamızın değerini en somut biçimde ifade eden (1.44) ü buluruz. Görüldüğü gibi ifade dört kısma ayrılacak olursa, ilk üç değer klasik mukavemetten bilinen ve bulunabilen bileşik eğilme değerleridir. Ancak son ifade burulmanın etkisiyle meydana gelen normal gerilme değeridir ve İnce Cidar Teorisinden elde edilmektedir.

$$\sigma_{x\Sigma} = \sigma_{xklasik} + \sigma_{x\omega burulma} \quad (1.45)$$

$$\sigma_{x\omega} = -E . \varphi_M''(x) . \omega_M(s) \quad (1.46)$$

1.4.4 Bimoment;

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

$$M\omega = \int_A \sigma_x . \omega_M . dA \quad (1.47)$$

$$M\omega = E . \xi'(x) . \int_A \omega_M . dA - E . \xi_M''(x) . \int_A z . \omega_M . dA - E . \eta''(x) . \int_A y(s) . \omega_M . dA - E . \varphi_M''(x) . \int_A \omega_M^2 . dA \quad (1.48)$$

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 (1.48)'de 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 kısılır ve her birinde bir bilinmeyen kalır. Bimoment için koordinat sistemleri seçilip, gerekli işlemler gösterilecek olursa;

$$S\omega(s) = \int_A \omega_M \cdot dA = 0 \quad (1.49)$$

$$J_{y\omega M} = \int_A \omega_M \cdot z \cdot dA = 0 \quad (1.50)$$

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

"M" noktasının, burulma dönmesi için çarpılma koordinatlarının tespitinde merkez olarak kullanılmasıyla Bimoment değeri için bulunmuş olan (1.48)'de şu şekilde kısılır;

$$M_\omega = -E \cdot \varphi_M''(x) \int_A \omega_M^2 \cdot dA \quad (1.52)$$

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

$$J_{\omega_M \omega_M} = \int_A \omega_M^2(s) \cdot dA \quad (1.53)$$

Bu değer bimoment ifadesinde şu şekilde kullanılabilir;

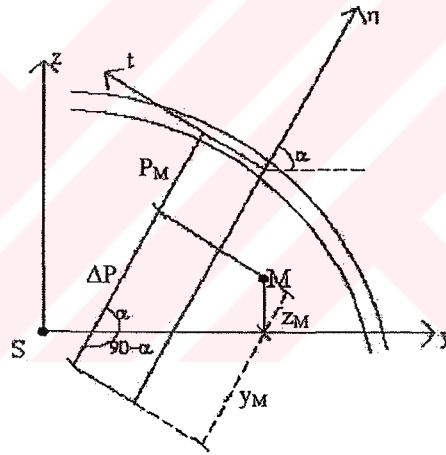
$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega_M \omega_M} \cdot \varphi_M''(x) \quad (1.54)$$

Ve sonuç olarak "Bimoment" değerine ulaşılır.

1.5 Kayma Merkezi "M"

Kayma merkezi olarak adlandırılan nokta 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 noktadır.

Çarpılma burulması (sekonder burulma) cidardaki kayma gerilmelerinin kayma merkezine göre oluşturdukları toplam burulma momentidir. Bu burulma kesitteki toplam burulmanın bir parçasıdır. 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 1.11 Kayma merkezi

Şekil 1.11'den faydalanarak bulabileceğimiz iki farklı noktaya göre (S ve M) belirlenen çarpılma koordinatları arasında şu bağıntı vardır;

$$\omega_M = \omega_S - y_M \cdot z + z_M \cdot y + \omega_0 \quad (1.55)$$

Bu ifade (1.49)'da kullanılırsa, ağırlık merkezinden geçen koordinat sisteminde statik momentlerin sıfır olması şartı ile ω_0 için aşağıdaki değer bulunur;

$$\omega_0 = -\frac{\int_A \omega_s \cdot dA}{A} \quad (1.56)$$

(1.50) ve (1.51) kullanılarak da;

$$\int_A \omega_s \cdot z \cdot dA - y_M \cdot \int_A z^2 \cdot dA + z_M \cdot \int_A y \cdot z \cdot dA + \omega_0 \cdot \int_A z \cdot dA = 0 \quad (1.57)$$

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

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.

$$y_M = \frac{J_y \omega_s}{J_{yy}} \quad (1.59)$$

$$z_M = \frac{J_z \omega_s}{J_{zz}} \quad (1.60)$$

1.6 Çarpılma Gerilmeleri

1.6.1 Çarpılma Normal Gerilmesi “ $\sigma_{x\omega}$ ”

Normal gerilme için çarpılmadan dolayı oluşan kısım;

$$\Delta\sigma_x = \sigma_{x\omega} = -E.\varphi_M''(x).\omega_M(s) \quad (1.61)$$

şeklindedir. ζ_M'' , η_M'' , ξ_M' değerleri (1.41), (1.42) ve (1.29) alınır, φ_M'' değeri içinde aşağıdaki değer kullanılırsa;

$$\varphi_M'' = \frac{M_\omega}{E.J_{\omega_M}\omega_M} \quad (1.61)$$

σ_x değeri;

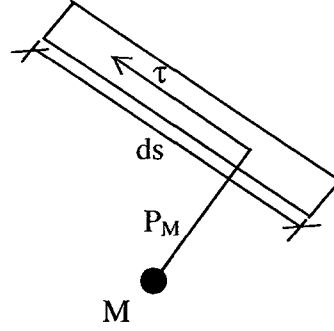
$$\sigma_x = \frac{N}{E.A} + \frac{M_y}{J_{YY}}.z - \frac{M_{zz}}{J_{zz}}.y + \frac{M_\omega}{J_{\omega_M}\omega_M}.\omega_M \quad (1.62)$$

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;

$$\sigma_{x\omega} = + \frac{M_\omega}{J_{\omega_M}\omega_M}.\omega_M \quad (1.63)$$

1.6.2 Çarpılma Burulması ve Kayma Gerilmesi “ M_τ, τ_ω ”



Şekil 1.12 Sekonder burulma

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

$$M_\tau = \int_0^{s_e} \tau(x, s) \cdot P_M \cdot t(s) \cdot ds \quad (1.64)$$

Sekonder Kayma gerilmesini şu şekilde gösterebiliriz;

$$\tau(x, s) = \frac{1}{t(s)} \cdot \int_{s=0}^{s=s_e} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \cdot t(s) \cdot ds \quad (1.65)$$

$$\tau(x, s) = \frac{1}{t(s)} \cdot E \cdot (\zeta_M'''(x) \cdot S_y(s) + \eta_M'''(x) \cdot S_z(s) + \varphi_M'''(x) \cdot S_\omega(s)) \quad (1.66)$$

Kayma gerilmesi değerini çarpılma burulması değerinde yerine koyduğumuzda;

$$M_\tau = \int_0^{s_e} \frac{1}{t(s)} \cdot E \cdot (\zeta_M'''(x) \cdot S_y(s) + \eta_M'''(x) \cdot S_z(s) + \varphi_M'''(x) \cdot S_\omega(s)) \cdot P_M \cdot t(s) \cdot ds \quad (1.67)$$

$$M\tau = E.\zeta_M'''(x).\int_0^{se} Sy(s).P_M.d(s) + E.\eta_M'''(x).\int_0^{se} Sz(s).P_M.d(s) + E.\varphi_M'''(x).\int_0^{se} S\omega(s).P_m.d(s) \quad (1.68)$$

$\int y = \int z.dA \Rightarrow dSy = z.dA, \omega M = PM.dA$ olarak alınırsa;

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

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

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

$$M\tau = -E.\varphi_M''' . J_{\omega_M\omega_M} \quad (1.69)$$

Sonuç olarak “Çarpılma Burulması” bağıntısı elde edilir.

$$\varphi_M''' = -\frac{M\tau}{E.J_{\omega_M\omega_M}} \quad (1.70)$$

$$\tau\omega = \varphi_M''' . E . \frac{1}{t(s)} . S\omega_M(s) \quad (1.71)$$

$$\tau\omega = -\frac{M\tau}{J_{\omega_M\omega_M}} . \frac{S\omega_M}{t} \quad (1.72)$$

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

1.7 Burulma Diferansiyel Denklemi

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

Bu denklemi elde etmek için toplam burulma momenti yazılırsa;

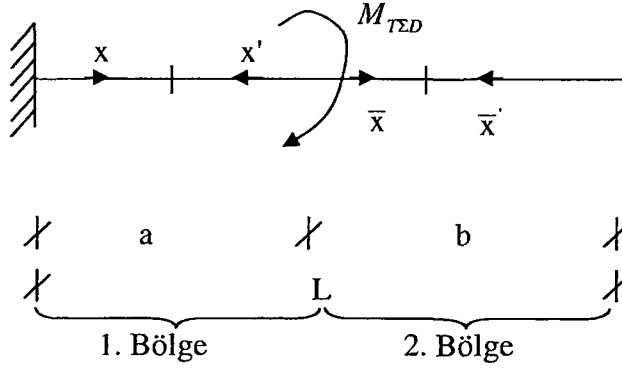
$$M_{Tz}(x) = F.e \quad (1.75)$$

olmak üzere denklemin çözümü;

$$k = \sqrt{\frac{G.J_T}{E.J_{\omega_M \omega_M}}} \text{ cm}^{-1} \quad (1.76)$$

kısaltması ile elde edilir (Yücefer, 1977).

2. KONSOL KİRİŞLERDE TEKİL DIŞ BURULMA MOMENTİ UYGULANMASININ İNCE CİDAR TEORİSİ KULLANILARAK YAPILMASI



1. BÖLGE için burulma açısı ve türevleri

$$\varphi = \varphi(x) \quad \varphi' = \frac{d\varphi}{dx}$$

$$(\varphi = \varphi(x)) \quad \varphi'' = \frac{d\varphi'}{dx} \text{ ve } \frac{d\varphi}{dx'} = -\frac{d\varphi}{dx}$$

$$\frac{d\varphi}{d\bar{x}} = \frac{d\varphi}{dx}$$

$$\frac{d\varphi}{d\bar{x}'} = -\frac{d\varphi}{dx} \quad \bar{x}' = x'$$

$$\varphi = \frac{1}{EJ_{\omega\omega}} \cdot \frac{M_{TSD}}{k^3} \left[kx - \frac{shkl - shk b - chkl.shkx' + (chka - 1).shk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1}{GJ_T} \cdot M_{TSD} \left[1 - \frac{ch(kl).chkx' - (chka - 1).chk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1}{GJ_T} \cdot k \cdot M_{TSD} \left[\frac{ch(kl).shkx' - (chka - 1).shk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1}{EJ_{\omega\omega}} M_{TSD} \left[\frac{-ch(kl).chk\bar{x}' + (chka-1).chk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

2. BÖLGE için burulma açısı ve türevleri

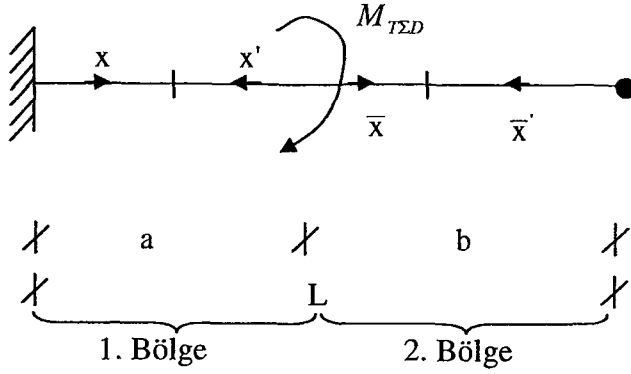
$$\varphi = \frac{1}{EJ_{\omega\omega}} \cdot \frac{M_{TSD}}{k^3} \left[ka - \frac{shkl - shkb + (chka-1).shk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1}{EJ_{\omega\omega}} \cdot \frac{M_{TSD}}{k^2} \left[0 - \frac{(chka-1).chk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1}{EJ_{\omega\omega}} \cdot \frac{M_{TSD}}{k} \left[\frac{-(chka-1).shk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1}{EJ_{\omega\omega}} M_{TSD} \left[\frac{(chka-1).chk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

2.1. Tekil Burulma Momentinin Bulunduğu Yerde 1. Bölge ve 2.Bölge formülü ile Bulunan ϕ Açısının Eşitliğinin Gösterilmesi



ϕ_I için

ϕ_{II} için

$$x = a$$

$$\bar{x} = 0$$

$$x' = 0$$

$$\bar{x}' = b$$

$$\bar{x}' = b$$

$$\phi_I = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - shk b - chkl \cdot shk x' + (chka - 1)shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

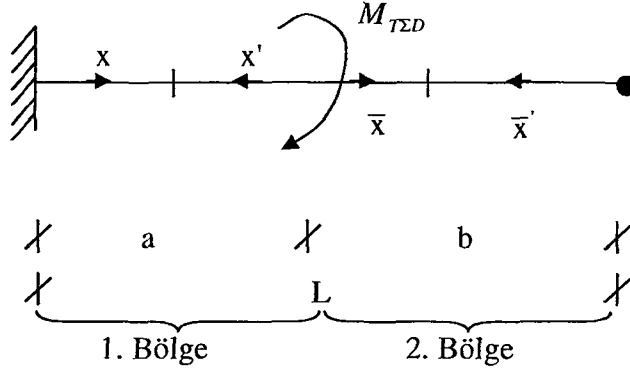
$$\phi_{II} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot a - \frac{shk\ell - shk b + (chka - 1)shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\phi_I = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot a - \frac{shk\ell - shk b - chkl \cdot shk 0 + (chka - 1)shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\phi_I = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot a - \frac{shk\ell - shk b - 0 + (chka - 1)shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\phi_I = \phi_{II}$$

2.2. Genel Formüllerden φ , φ' , φ'' , φ''' İçin Konsol Kirişin Uç Kısımında Moment Uygulanması Durumunda Türetilmesi



$$b = 0$$

$$a = \ell$$

$$x' = \ell - x$$

$$\bar{x}' = x'$$

$$\bar{x} = 0$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - shk b - chkl \cdot shk x' + (chka - 1)shk \bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - 0 - chkl \cdot shk(\ell - x) + (chkl - 1)shk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - chkl \cdot shk(\ell - x) + chkl \cdot shk(\ell - x) - shk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \left(\frac{shk\ell - shk(\ell - x)}{chkl} \right) \right]$$

$$\dot{\varphi}_1 = \frac{d\varphi_1}{dx} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k - \frac{((-)(-)kchk(\ell - x))}{chkl} \right] \quad \begin{cases} y = shx \rightarrow y' = chx \\ y = chx \rightarrow y' = shx \end{cases}$$

$$\dot{\varphi}_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot k \left[1 - \frac{kchk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$k^2 = \frac{GJ_T}{E \cdot J_{\omega\omega}} \rightarrow G J_T = k^2 \cdot EJ_{\omega\omega}$$

$$= \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}k^3} \left[k - \frac{k \cdot chk(\ell - x)}{chkl} \right] \quad \varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{GJ_T} \left[1 - \frac{kchk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

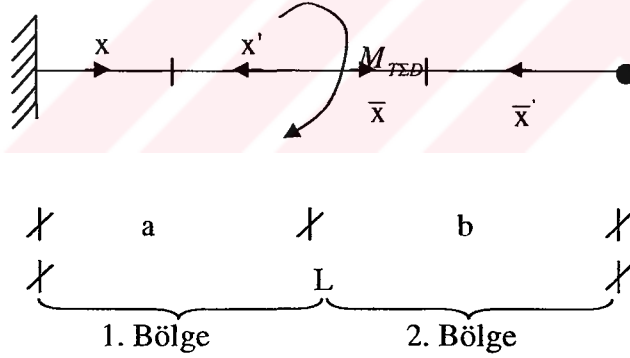
$$\varphi_1' = \frac{d\varphi_1}{dx} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}k^3} \left[0 + \frac{k^2 shk(\ell - x)}{chkl} \right] = \frac{M_{TSD}}{GJ_T \cdot k} \left[\frac{k^2 shk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1'' = \frac{M_{TSD}}{GJ_T} \cdot k \left[\frac{shk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1''' = \frac{d\varphi_1''}{dx} = \frac{d}{dx} \left[\frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}k^3} \left(\frac{k^2 shk(\ell - x)}{chkl} \right) \right]$$

$$\varphi_1''' = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}k^3} \cdot (-) \cdot k^3 \frac{chk(\ell - x)}{chkl} = - \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}} \frac{chk(\ell - x)}{chkl}$$

2.3. Ankastre Uçtaki φ 'nin Bulunması



$$x = 0$$

$$x' = a$$

$$\bar{x} = \ell$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - shk b - chkl \cdot shkx' + (chka - 1)shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

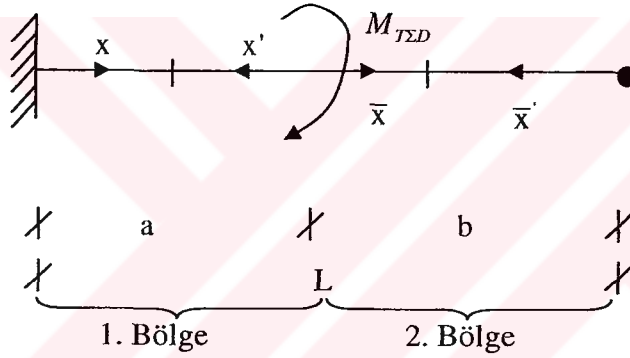
$$\varphi_I = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot 0 - \frac{shk\ell - shkb - chkl \cdot shka + (chka - 1)shk\ell}{chkl} \right]$$

$$\varphi_I = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot 0 - \frac{shk\ell - shkb - chkl \cdot shka + chka \cdot shk\ell - shk\ell}{chkl} \right]$$

$$chklshka - chklshk\ell = shk(a - \ell) = shk(-b) = -shkb$$

$$= \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[\frac{+shkb - shk\ell}{chkl} \right] = 0 \quad sh(-m) = -shm$$

2.4. Konsol ucundaki φ 'nin Bulunması



$$x = \ell$$

$$\bar{x} = b$$

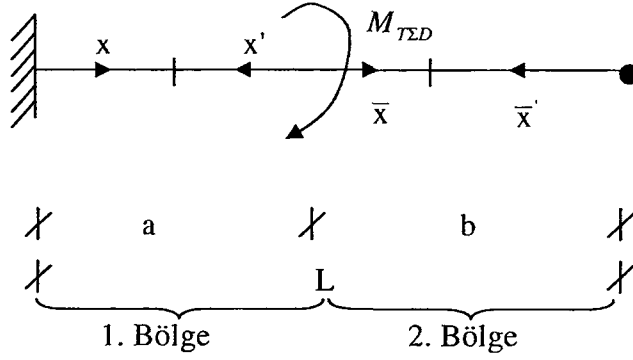
$$\bar{x}' = 0$$

$$\varphi_{II} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot a - \frac{shk\ell - shkb + (chka - 1)shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\varphi_{II} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot a - \frac{shk\ell - shkb + (chka - 1)shk0}{chkl} \right]$$

$$\varphi_{II} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot a - \frac{shk\ell - shkb}{chkl} \right]$$

2.5. Tekil Burulma Momentinin Bulunduğu Yerdeki φ' , φ'' , φ''' nun Bulunması



$$\bar{x}' = 0$$

$$\bar{x} = 0$$

$$\bar{x}' = b$$

$$x = a$$

$$b = \ell - x$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - shk b - chkl \cdot shk x' + (chka - 1)shk \bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - 0 - chkl \cdot shk(\ell - x) + (chkl - 1)shk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - chkl \cdot shk(\ell - x) + chkl \cdot shk(\ell - x) - shk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$\varphi_1 = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - shk(\ell - x)}{chkl} \right]$$

$$\varphi_{II} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot a - \frac{shk\ell - shk b + (chka - 1)shk \bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi_{II} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - shk b + chka \cdot shk 0 - shk 0}{chkl} \right]$$

$$\varphi_{II} = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{shk\ell - shk(\ell - x)}{chk\ell} \right]$$

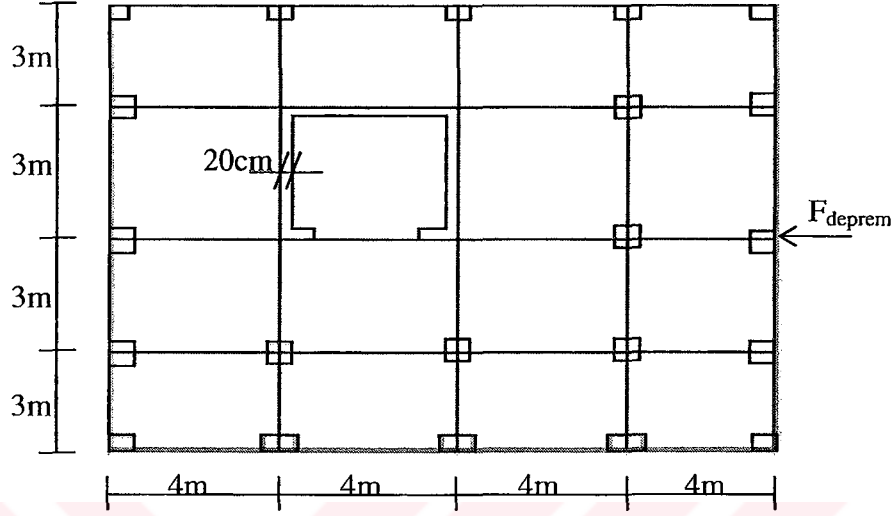
$$\varphi_I = \varphi_{II}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^3} \cdot k \cdot \left[\frac{(chka - 1) \cdot chk\bar{x}}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k^2} \cdot k \cdot \left[\frac{-k \cdot (chka - 1) \cdot shk\bar{x}}{chk\ell} \right] = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[-\frac{(chka - 1) \cdot shk\bar{x}}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega} \cdot k} \cdot k \cdot \left[\frac{k \cdot (chka - 1) \cdot chk\bar{x}}{chk\ell} \right] = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}} \cdot \left[-\frac{(chka - 1) \cdot chk\bar{x}}{chk\ell} \right]$$

3. MODEL BİNANIN ÇÖZÜMÜ



3.1.1. Döşeme ağırlığı:

$$\text{Harç} = 0,010 \cdot 20 = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Şap: } 0,030 \cdot 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva: } 0,020 \cdot 20 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{BA plak: } 0,15 \cdot 25 = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{karo kapl.: } 0,025 \cdot 22 = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$g = 5,56 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 5 \text{ kN/m}^2$$

3.1.2. Kat Ağırlıkları:

Zemin Kat: Sabit kiriş birim boy ağırlığı: $0,25 \cdot 0,50 \cdot 25 = 3,125 \text{ kN/m}$.

Toplam kiriş ağırlığı = $0,25 \cdot 0,50 \cdot 25 \cdot (4 \cdot 18 + 3 \cdot 18 + 2) = 400 \text{ kN}$

Duvar birim boy ağırlığı: $(3 - 0,50) \cdot 2,95 = 7,35 \text{ kN/m}$ (yarım = iç duvar)

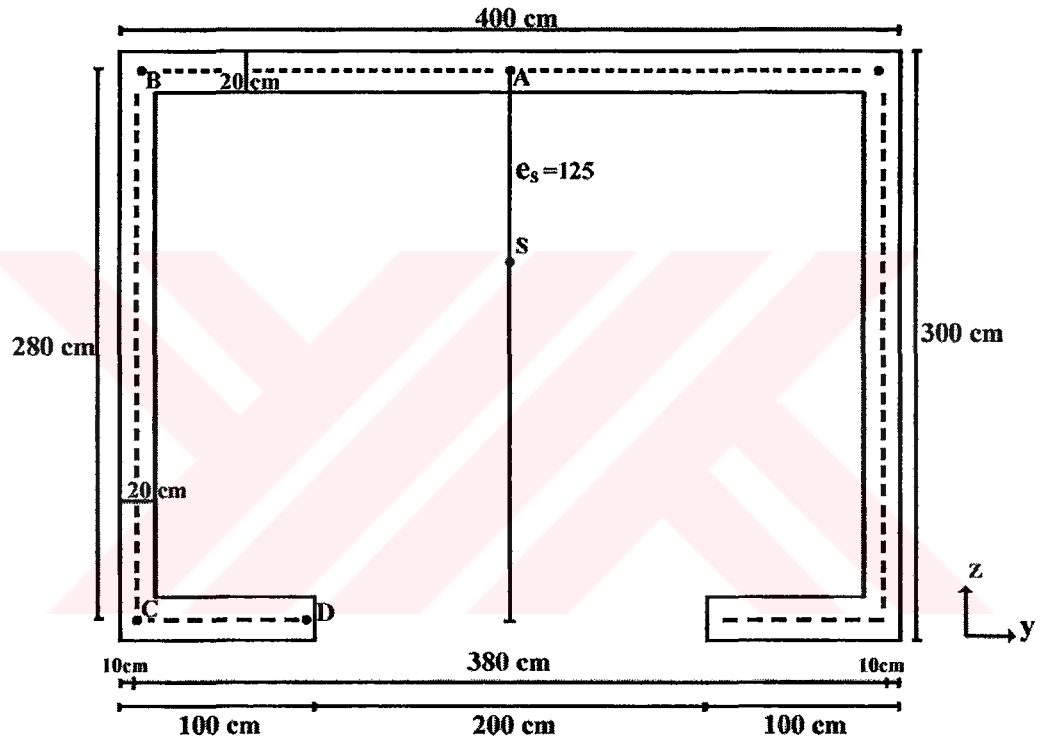
$(3 - 0,50) \cdot 4,2 = 10,5 \text{ kN/m}$ (tam = dış duvar)

Toplam duvar ağırlığı: $2,5 \cdot 4,2 \cdot (4 \cdot 8 + 3 \cdot 8) + 2,5 \cdot 2,95 \cdot (4 \cdot 10 + 3 \cdot 10)$

$$= 1104 \text{ kN.}$$

Kolon ağırlığı: $0,40 \cdot 0,40 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 21 = 252 \text{ kN}$

Döşeme ağırlığı: $5,56 \cdot 16 \cdot 12 = 1068 \text{ kN}$



Şekil 1,13 Sistem

Perde ağırlığı: $0,20 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 2 + 0,20 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 25 + 0,20 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 2$

$$= 180 \text{ kN.}$$

$$G = 3003 \text{ kN}$$

Hareketli:

$$Q = 5 \cdot 16 \cdot 12 = 960 \text{ kN}$$

$$W_Z = 3003 + 0,30 \cdot 960 = 3291 \text{ kN}$$

I.NK.

$$W_Z = W_I = 3291 \text{ kN}$$

II. NK.

$$\text{Kolon ağırlığı: } 0,35 \cdot 0,35 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 21 = 193 \text{ kN}$$

$$W_Z = 2944 + 0,30 \cdot 960 = 3232 \text{ kN.}$$

III.NK.

$$W_3 = W_Z = 3232 \text{ kN.}$$

$$\text{IV.NK.: Kolon ağırlığı} = 0,30 \cdot 0,30 \cdot 3 \cdot 25 \cdot 21 = 142 \text{ kN.}$$

$$W_4 = 2893 + 0,30 \cdot 960 = 3181 \text{ kN.}$$

$$\text{V.NK.: } W_5 = W_4 = 3181 \text{ kN.}$$

Çizelge 3.1. Kat ağırlıkları

KAT	KAT YÜKSEKLİĞİ (m)	KİRİŞ (m)	PERDE KALINLIĞI (m)	KOLON BOYUTLARI (cm)	KAT AĞIRLIĞI (kN) $W_i = G_i + n Q_i$
5NK	3	0,25/ 0,50	0,20	30 x 30	3181
4NK	3	0,25/ 0,50	0,20	30 x 30	3181
3 NK	3	0,25/ 0,50	0,20	35 x 35	3232
2 NK	3	0,25/ 0,50	0,20	35 x 35	3232
1 NK	3	0,25/ 0,50	0,20	40 x 40	3291
ZK	3	0,25/ 0,50	0,20	40 x 40	3291

Zemin sınıfı: Z1 $\Rightarrow T_A = 0,10$ sn. $T_B = 0,30$ sn. I. Derece deprem bölgesi

$$T_1 \equiv C_t \cdot H_N^{3/4} = 0,05 \cdot 18^{3/4} = 0,44 \text{ sn.}$$

$$T = 0,44 \text{ sn} > T_B = 0,30 \text{ sn} \Rightarrow S(T_1) = 2,5 \cdot \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0,8} = 2,5 \cdot \left(\frac{0,30}{0,44} \right)^{0,8} = 1,84$$

$$F_i = \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_j \cdot h_j} \cdot (V_t - \Delta_{FN}) \quad \text{Bina toplam yüksekliği : } H_N = 18m < 25m \Rightarrow \Delta F_N = 0$$

W = Toplam yapı ağırlığı

A_0 = Etkin yer ivme katsayısı (I. derece dep. Bölgesi $A_0 = 0,40$)

I = Yapı önem katsayısı = 1

S(T) = Spektral ivme katsayısı

R = deprem yükü azaltma katsayısı

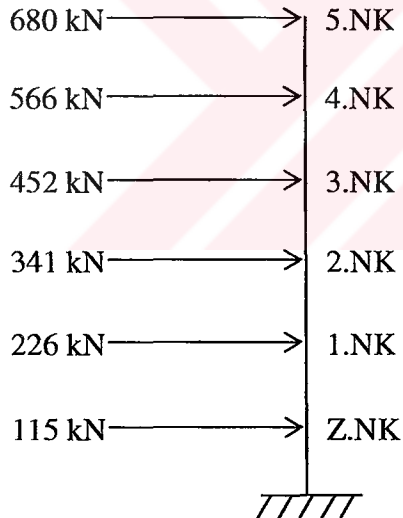
R = 6 (perdeli-çerçeve yapı)

$$V_t = \frac{W \cdot A_0 \cdot I \cdot S(T_1)}{R} = \frac{19408 \cdot 0,40 \cdot 1 \cdot 1,84}{6} = 2380 \text{ kN}$$

Çizelge 3.2. Katlara etkiyen deprem yükleri

KAT	KAT YÜKSEKLİĞİ (m)	W _i (kN)	W _i .h _i (kNm)	W _i h _i /ΣW _j h _j	F _i (kN)
5.NK	18	3291	59238	0,286	680
4.NK	15	3291	49365	0,238	566
3.NK	12	3291	39492	0,190	452
2.NK	9	3291	29619	0,143	341
1.NK	6	3291	19766	0,095	226
Z.K	3	3291	9873	0,048	115
				ΣF _i (kN)	2380

3.1.3. Katlara Etkiyen Deprem Kuvvetleri

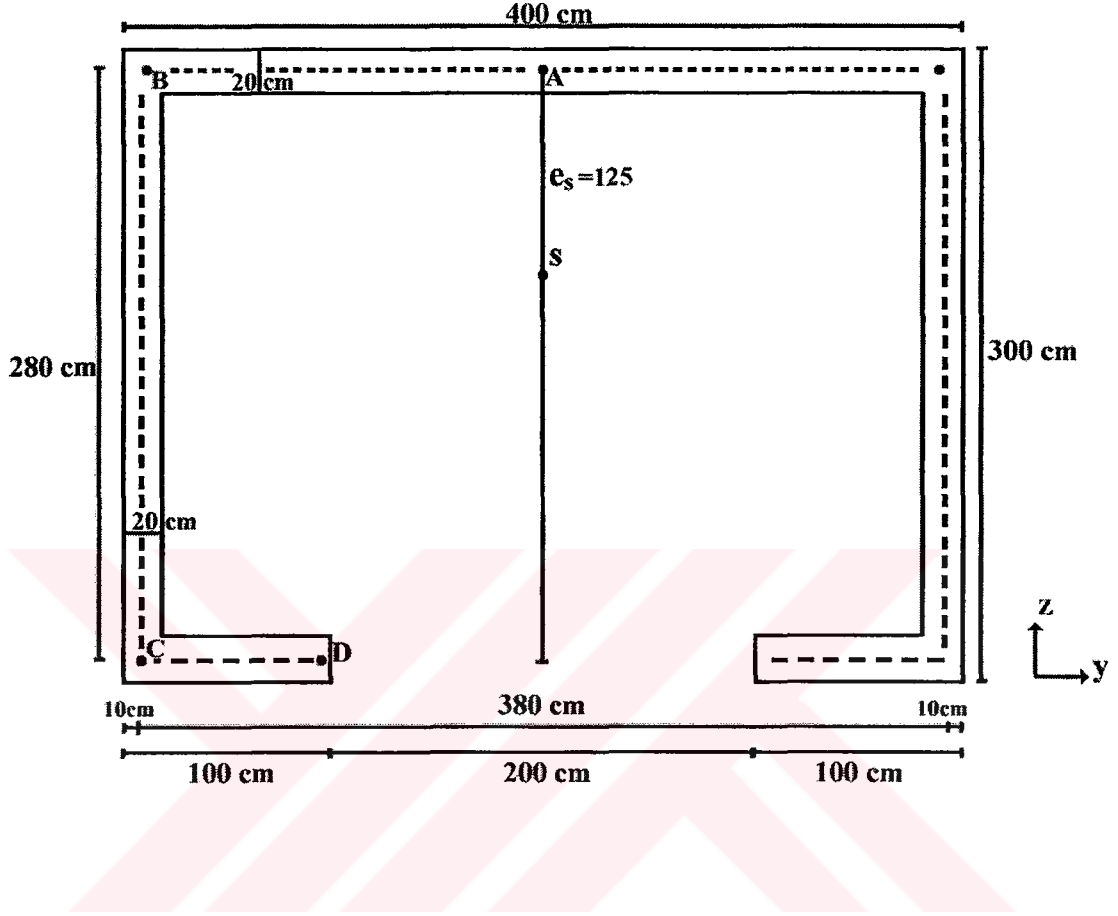


Toplam bina kütlesi:

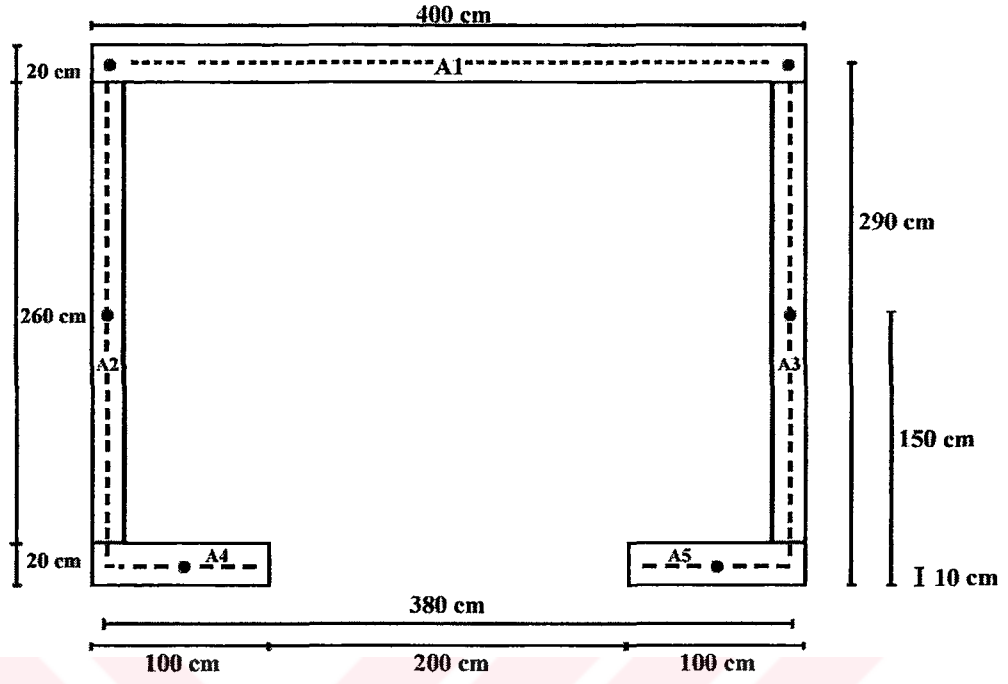
$$\sum m = \frac{\sum W}{g} = \frac{19408}{9.81} = 1978$$

Şekil 3,1. Katlara etkiyen deprem yüklerinin gösterilmesi.

3.1.4. Ağırlık merkezinin hesabı:



Şekil 3,2. Sistem

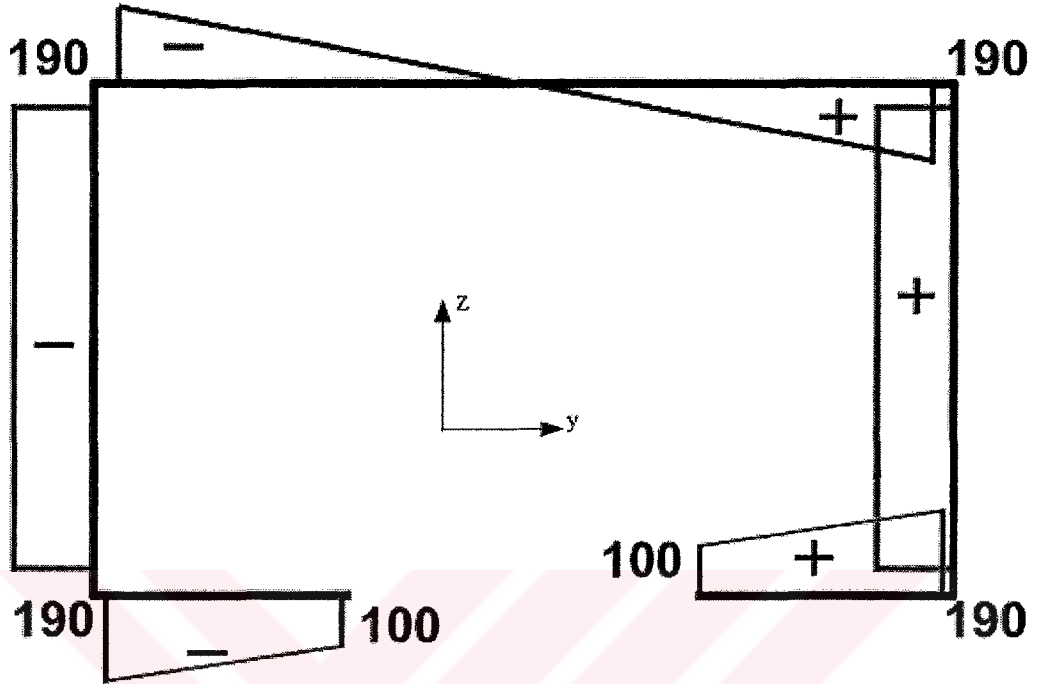


Şekil 3,3. Ağırlık merkezinin hesabı

$$Z_s = \frac{20 \cdot 400 \cdot 290 + 2 \cdot 20 \cdot 260 \cdot 150 + 2 \cdot 20 \cdot 100 \cdot 10}{20 \cdot 400 + 2 \cdot 260 \cdot 20 + 2 \cdot 100 \cdot 20} = 175 \text{ cm.}$$

$$e_s = 300 - 175 = 125 \text{ cm} = |AS|$$

3.1.5. y diyagramının çizilmesi



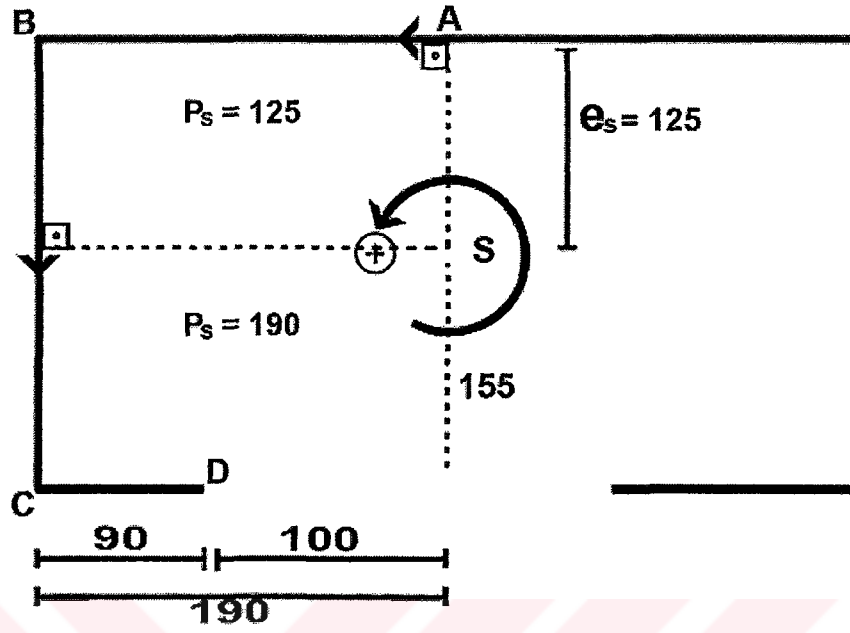
Şekil 3,4. y diyagramı

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

$$J_{zz} = 2.20. \left\{ \frac{190}{3} \cdot (-190) \cdot (-190) + 280 \cdot (-190) \cdot (-190) + \frac{90}{6} \cdot [(-190) \cdot [2 \cdot (-190) + (-100)] + \right.$$

$$\left. (-100) \cdot [2 \cdot (-100) + (-190)] \right\}$$

$$= 574. 10^6 \text{ cm}^4$$

3.1.6. ω_s diyagramı:

Şekil 3,5. Sistem

$$\omega_s = \int_0^s P_s d_s$$

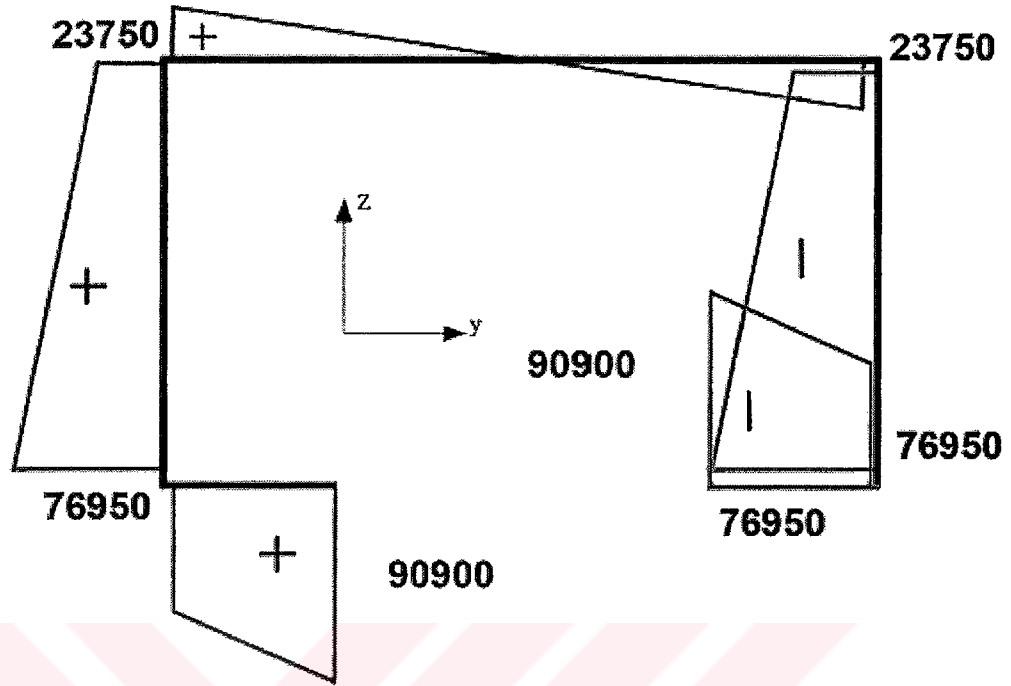
$$\omega_s(B) = 0 + 125 \cdot 190 = 23750 \text{ cm}^2$$

$$\omega_s(C) = \omega_s(B) + \Delta\omega_s = 23750 + 280 \cdot 190 = 76950 \text{ cm}^2$$

$$\int_B^C P_s d_s$$

$$\omega_s(D) = \omega_s(C) + \Delta\omega_s = 76950 + 155 \cdot 90 = 90900 \text{ cm}^2$$

$$\int_C^D P_s d_s$$

Şekil 3,6. ω_s diyagramı

3.1.7. $J_{z\omega_s}$, z_m 'nin hesabı:

$$J_{z\omega_s} = \int y \omega_s dA = t \int y \omega_s ds$$

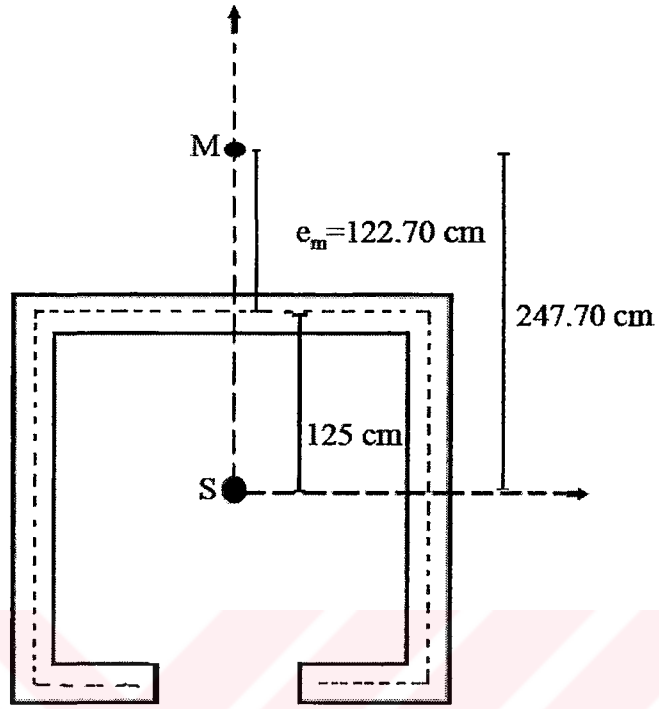
$$J_{z\omega_s} = 2 \cdot 20 \cdot \left\{ \frac{190}{3} \cdot (-190) \cdot 23750 + 280 \cdot (-190) \cdot \frac{(23750 + 76950)}{2} + \right.$$

$$\left. \frac{90}{6} \cdot [76950 \cdot \{2 \cdot (-190) + (-100)\}] + 90900 \cdot \{2 \cdot (-100) + (-190)\} \right\}$$

$$J_{z\omega_s} = 40 \cdot \{-3553902667\} = 142 \cdot 10^9 \text{ cm}^5$$

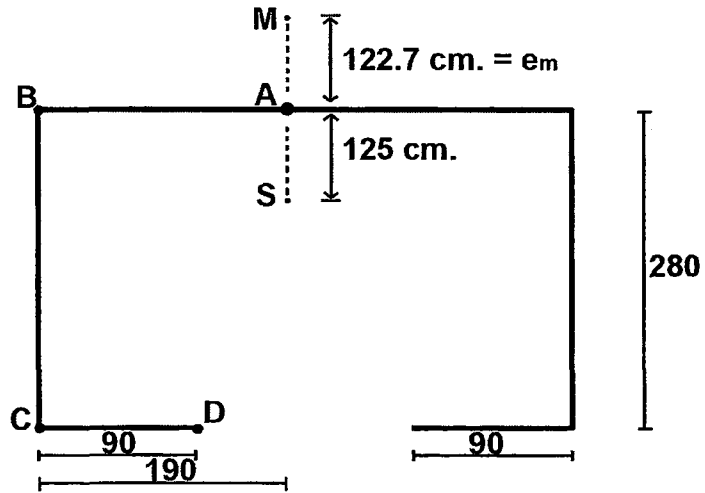
$$z_m = \frac{J_{z\omega_s}}{J_{zz}} = \frac{142 \cdot 10^9}{574 \cdot 10^6} = 247,70 \text{ cm}$$

3.1.8. ω_m diyagramı:



Sekil 3.7

Şekil 3,7. Sistem



Şekil 3,8. Sistem

$$e_m = Z_m - e_s$$

$$e_m = 247,50 - 125 = 122,70 \text{ cm.}$$

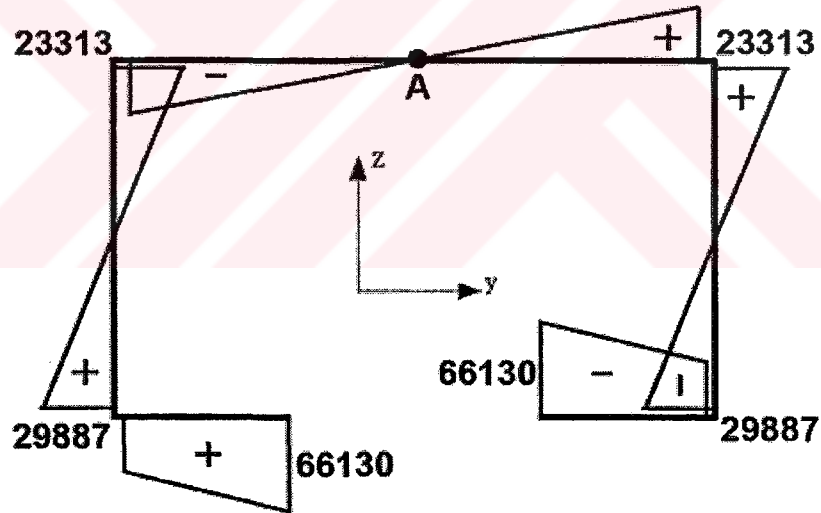
$$\omega_m = \int P_m \cdot ds$$

$$\omega_m(A) = 0$$

$$\omega_m(B) = -122,7 \cdot 190 = -23313 \text{ cm}^2$$

$$\omega_m(C) = -23313 + 190 \cdot 280 = 29887 \text{ cm}^2$$

$$\omega_m(D) = 29887 + 402,7 \cdot 90 = 66130 \text{ cm}^2$$



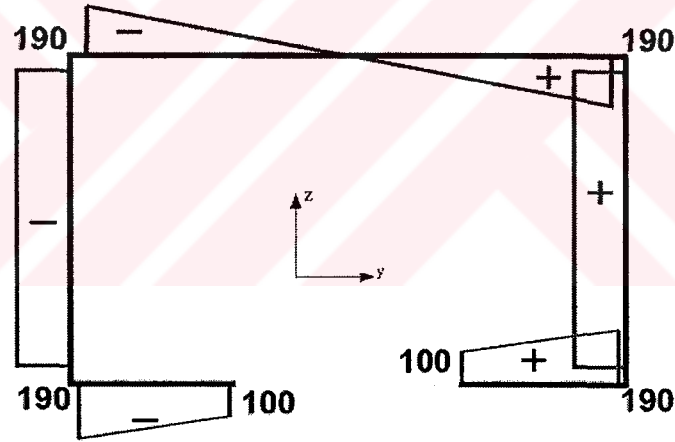
Şekil 3,9 ω_m diyagramı

$$J_{\omega\omega\omega} = \int \omega m^2 dA = t \int \omega m^2 ds = \text{Çarpılma atalet momenti}$$

$$\begin{aligned}
 J_{\omega\omega\omega} &= 2 \times 20 \left\{ \frac{190}{3} \cdot (-23313) \cdot (-23313) + \frac{280}{6} \cdot [(-23313) \cdot \{(-2 \cdot 23313) + 29887\} + \right. \\
 &\quad \left. 29887 \cdot \{(2 \cdot 29887) - 23313\}] + \right. \\
 &\quad \left. \frac{90}{6} \cdot [29887 \cdot (2 \cdot 29887 + 66130) + 66130 \cdot (2 \cdot 66130 + 29887)] \right\} \\
 &= \left\{ \frac{190}{3} \cdot 543495969 + \frac{280}{6} \cdot (390236307 + 2876175445) \right\}
 \end{aligned}$$

$$J_{\omega\omega\omega} = 1,62 \cdot 10^{14} \text{ cm}^6$$

3.1.9. Tahkikler:



Şekil 3,10.Sistem

$$J_{z\omega\omega} = 2t \int y \omega m ds \approx 0$$

$$\begin{aligned}
 J_{z\omega\omega} &= 2 \cdot 20 \cdot \left[\frac{190}{3} \cdot (-190) \cdot (-23313) + (-190) \cdot \frac{(29887 - 23313)}{2} \cdot 280 + \right. \\
 &\quad \left. \frac{90}{6} \cdot [2 \cdot (-100) \cdot 29887 + (-100) \cdot 66130 + (-190) \cdot 66130 + 2 \cdot (-190) \cdot 29887] \right]
 \end{aligned}$$

En üst katta**x yönünde**

$$M_{T\Sigma Di} = F_{Dx} \cdot e_2$$

$$F_{Dx} = \frac{1000}{4.127} = 242,30 \text{ kN}$$

y yönünde

$$M_{T\Sigma Di} = F_{Dy} \cdot e_1$$

$$F_{Dy} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ kN}$$

$e_2 = 4.127 \text{ m} > e_1 = 2 \text{ m} \Rightarrow e_2$ hesapla dikkate alınabilir.

$$M_{T\Sigma} = F \cdot e_2$$

Deprem yüklerine göre burulma momentleri (her katta)

5. kat için $F = 669 \text{ kN}$ $M_{T\Sigma} = 680 \times 4,127 = 2806 \text{ kNm}$

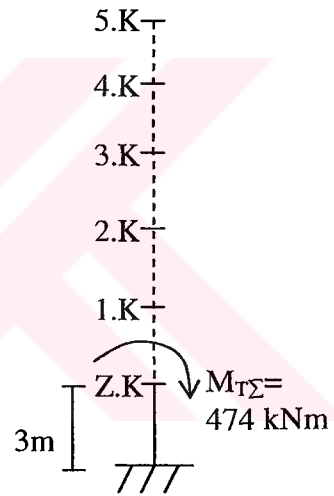
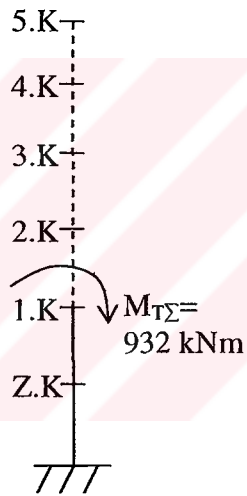
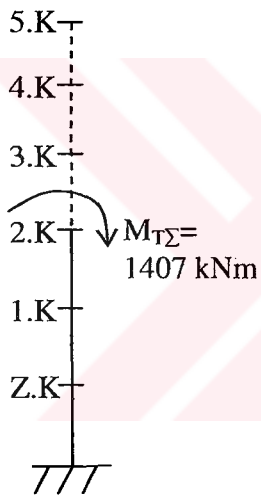
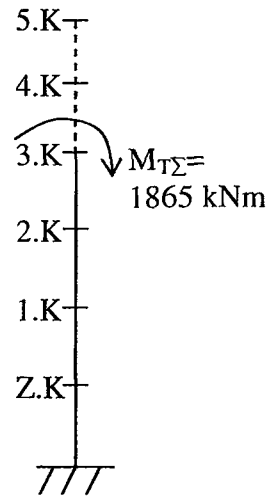
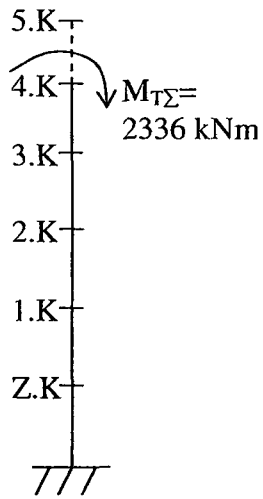
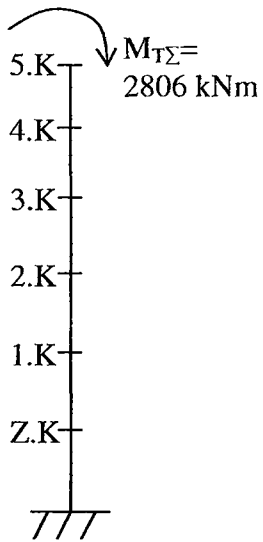
4. Kat için $F = 563 \text{ kN}$ $M_{T\Sigma} = 566 \times 4,127 = 2336 \text{ kNm}$

3. Kat için $F = 449 \text{ kN}$ $M_{T\Sigma} = 452 \times 4,127 = 1865 \text{ kNm}$

2. Kat için $F = 338 \text{ kN}$ $M_{T\Sigma} = 341 \times 4,127 = 1407 \text{ kNm}$

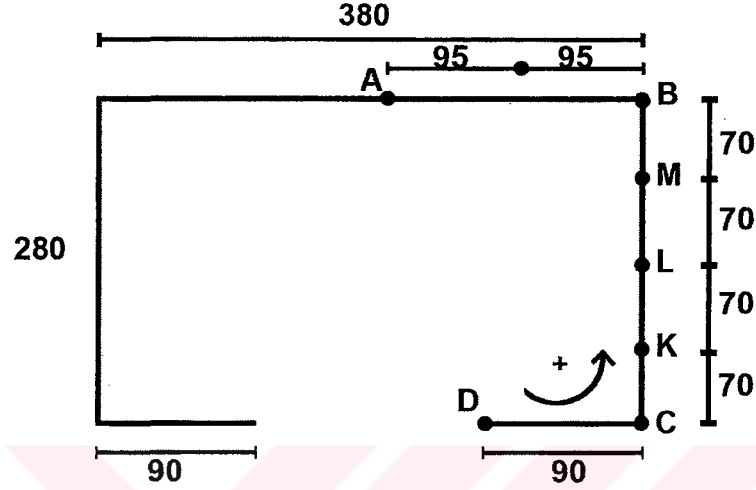
1. Kat için $F = 225 \text{ kN}$ $M_{T\Sigma} = 226 \times 4,127 = 932 \text{ kNm.}$

Z. Kat için $F = 114 \text{ kN}$ $M_{T\Sigma} = 115 \times 4,127 = 474 \text{ kNm.}$

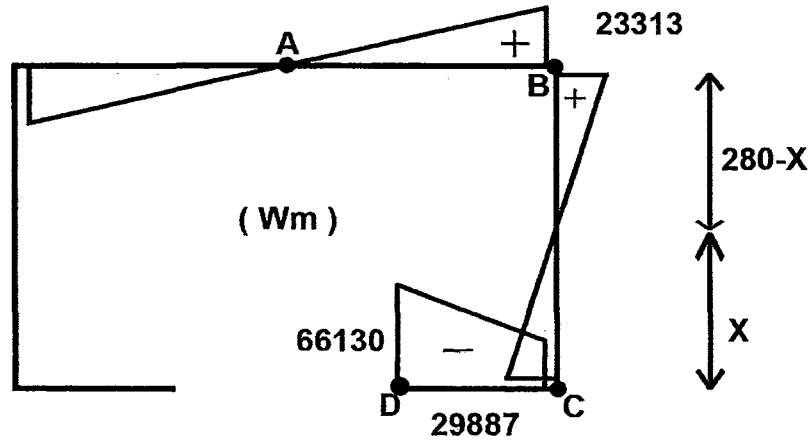


3.1.11. Sektörel Statik Moment ($S_{\omega_m(s)}$) 'in Değerinin Bulunması:

$$S_{\omega_m(s)} = \int_0^{SA} \omega_m dA = \int_0^{SA} \omega_m t ds = t \int_0^{SA} \omega_m ds$$



Şekil 3.12. Sistem



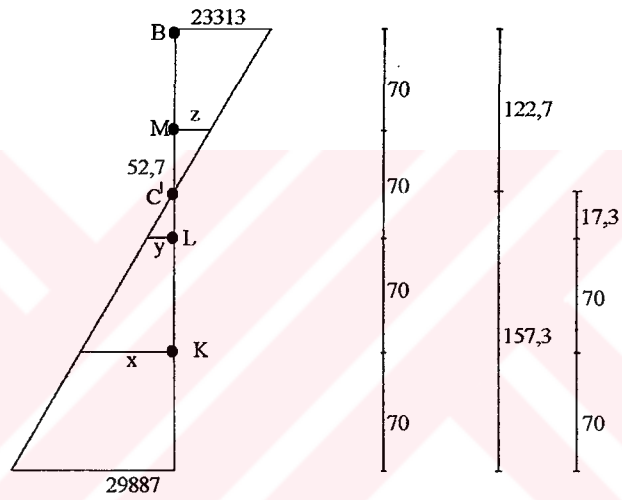
Şekil 3.13. ω_m diyagramı

$$\frac{29887}{x} = \frac{23313}{280 - x}$$

$$23313 \cdot x = 29887(280 - x)$$

$$53200 \cdot x = 29887 \cdot 280$$

$$x = 157,3$$



Şekil 3,14. Sistem

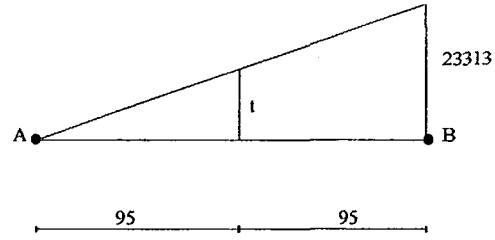
$$\frac{17,3}{157,3} = \frac{y}{29887}$$

$$y = 3287 \quad \frac{52,7}{122,7} = \frac{z}{33313}$$

$$z = 10013$$

$$\frac{87,3}{157,3} = \frac{x}{29887}$$

$$x = 16587$$

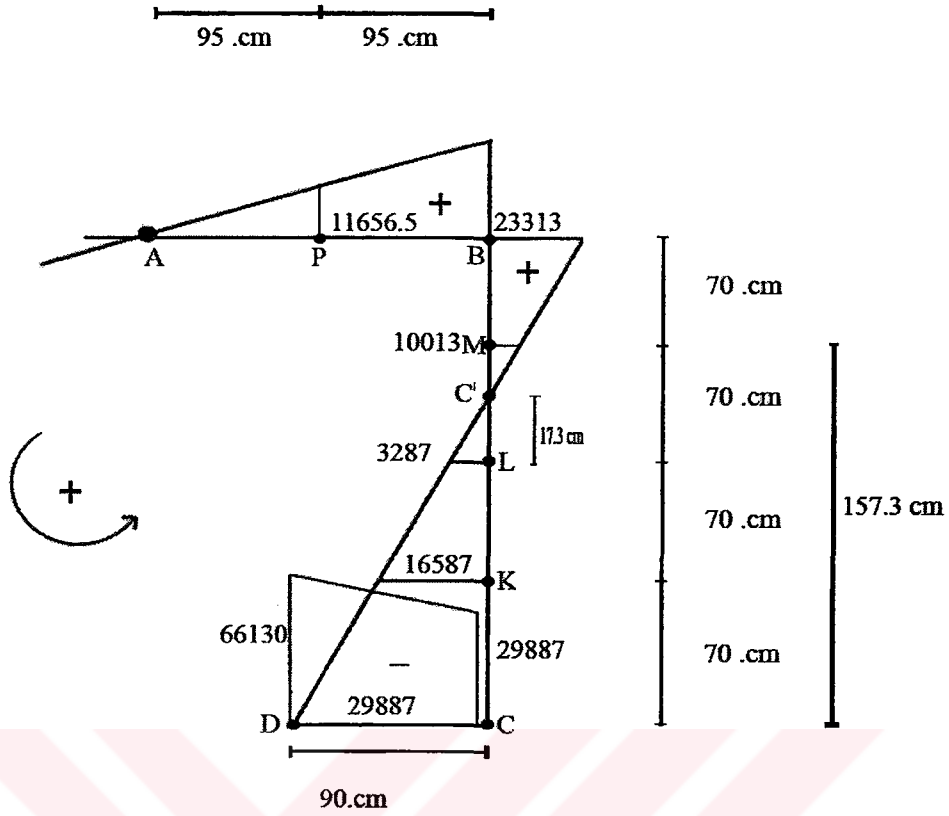


Şekil 3,15. Sistem

$$t = 11656,5$$

ω_m 'in 0 olduğu yerlerde $\sigma_x = 0$; $\tau_{\omega_{\max}}$.

$$\tau_{\omega(x)} = -\frac{1}{t} \frac{M_{\tau}}{J_{\omega_m \omega_m}} S_{\omega_m}$$



Şekil 3.16. Sistem

$$S_{am(s)} = \int_F \omega_m \cdot df$$

$$\Delta S_{am(DC)} = - \left(\frac{29887 + 66133}{2} \right) \cdot 90 \cdot 20 = -8641 \cdot 10^4 \text{ cm}^4.$$

$$S_{am(C)} = -8641 \cdot 10^4 \text{ cm}^4.$$

$$\Delta S_{am(KL)} = - \left(\frac{29887 + 16587}{2} \right) \cdot 70 \cdot 20 = -3253 \cdot 10^4 \text{ cm}^4$$

$$S_{am(K)} = -8641 \cdot 10^4 - 3253 \cdot 10^4 = -1189 \cdot 10^5 \text{ cm}^4.$$

$$\Delta S_{am(KL)} = - \left(\frac{16587 + 3287}{2} \right) \cdot 70 \cdot 20 = -1391 \cdot 10^4 \text{ cm}^4$$

$$S_{\omega(L)} = -1328.10^5 \text{ cm}^4.$$

$$\Delta S_{\omega(LC)} = -\frac{3287}{2} \cdot 17,3.20 = -56.10^4 \text{ cm}^4$$

$$S_{\omega(C)} = S_{\omega \max} = -1334.10^5 \text{ cm}^4.$$

$$\Delta S_{\omega(CM)} = \frac{10013}{2} \cdot 52,7.20 = 527.10^5 \text{ cm}^4$$

$$S_{\omega(M)} = -1281.10^5 \text{ cm}^4.$$

$$\Delta S_{\omega(MB)} = \left(\frac{10013 + 23313}{2} \right) \cdot 70.20 = 233.10^5 \text{ cm}^4$$

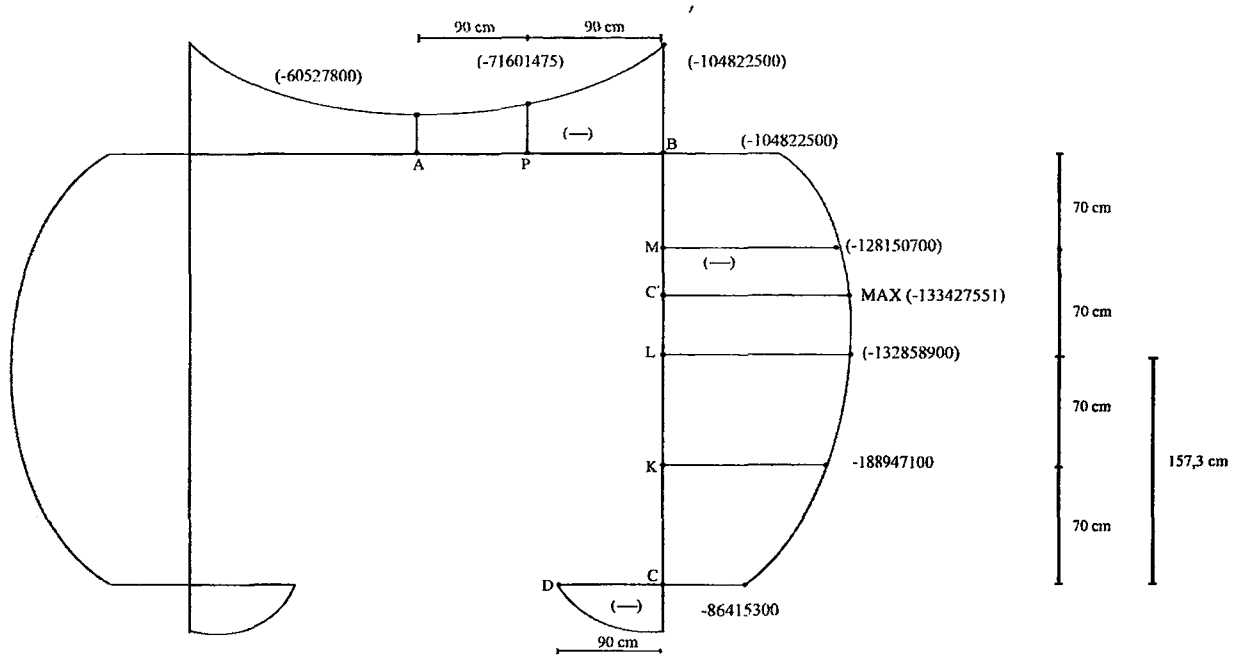
$$S_{\omega(B)} = -1048.10^5 \text{ cm}^4.$$

$$\Delta S_{\omega(BP)} = \left(\frac{11656,5 + 23313}{2} \right) \cdot 95.20 = +332.10^5 \text{ cm}^4$$

$$S_{\omega(P)} = -716.10^5 \text{ cm}^4.$$

$$\Delta S_{\omega(PA)} = +\frac{11656,5}{2} \cdot 95.20 = +110.10^5 \text{ cm}^4$$

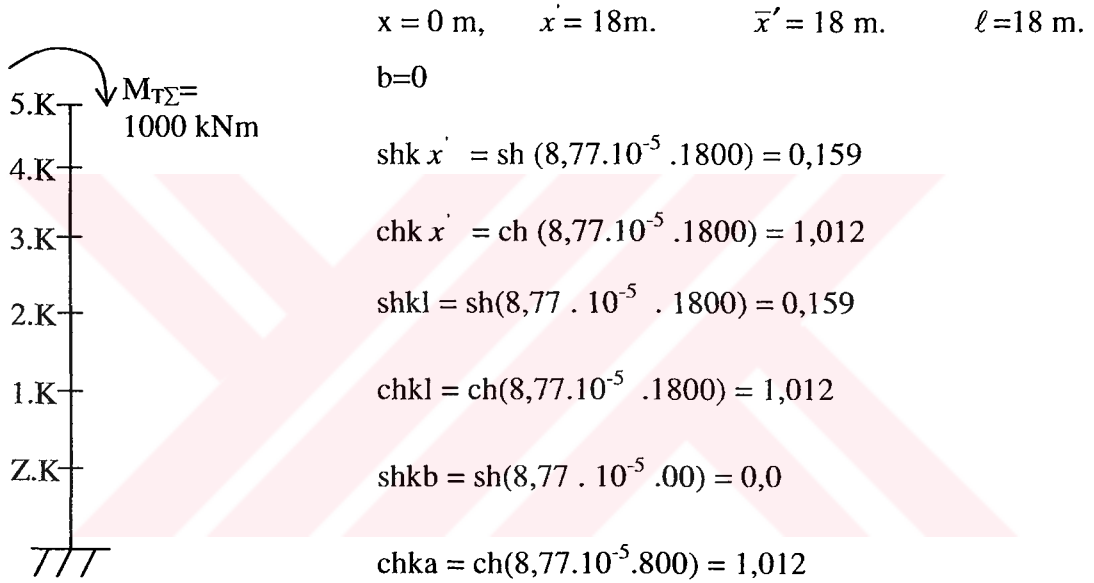
$$S_{\omega(A)} = -605.10^5 \text{ cm}^4.$$



4. BURULMA MOMENTLERİNİN HESABI

4.1. Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

4.1.1. Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması



$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} x k^3} \cdot \left[k \cdot x - \frac{\text{shkl} - \text{shkx}'}{\text{chkl}} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 0 - \frac{0,159 - 0,159}{1,012} \right] = 0 \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} x k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chkx}'}{\text{chkl}} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \cdot \left[1 - \frac{1,012}{1,012} \right] = 0 \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega\omega} x k} \cdot \left[+ \frac{shkx'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000.100}{2850.1,62.10^{14} \cdot (8,77.10^{-5})} \cdot \left[\frac{0,159}{1,012} \right] = 3,88.10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chkx'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000.100}{2850.1,62.10^{14}} \cdot \left[\frac{-1,012}{1,012} \right] = -2,16 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = 1187,5.2986666,7.(\varphi') = 0 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -2850.1,62 \times 10^{14} \cdot (\varphi''') = 999,27 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -2850.1,62.10^{14} \cdot \varphi'' = -17913,49 \text{ kNm}^2$$

$$\Rightarrow M_T + M_\tau \approx 1000 \text{ kNm} \quad .$$

$$\sigma_x(A) = 0$$

$$\sigma_x(B) = \frac{-179134986.(-23313)}{1,62.10^{14}} = 257,79 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{-179134986.(29887)}{1,62.10^{14}} = -330,46 \text{ kN/m}^2$$

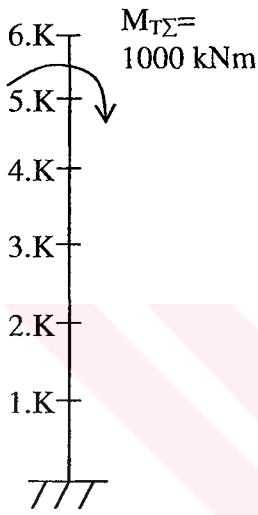
$$\sigma_x(D) = \frac{-179134986.(66130)}{1,62.10^{14}} = -731,19 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega \text{ m(s)}$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,160 \cdot 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 41,1 \text{ kN/m}^2$$

4.1.2. Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_t , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları



$$x = 0 \text{ m}, \quad x' = 15 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 18 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 3$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,026$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk} \ell \cdot \text{shk} x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk} \bar{x}'}{\text{chk} \ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} x \left[0 - \frac{0,159 - 0,026 - 1,012 \cdot 0,132 + (1,009 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] = 0 \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega} \cdot k^2} \left[1 - \frac{\text{chk} \ell \cdot \text{chk} x' - (\text{chka} - 1) \cdot \text{chk} \bar{x}'}{\text{chk} \ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} x \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,009 - (1,009 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = 0 \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell.shkx' + (chka - 1).shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})} \cdot x \left[\frac{1,012 \cdot 0,132 + (1,009 - 1) \cdot 0,0159}{1,012} \right] = 3,263 \cdot 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell.chk\bar{x}' + (chka - 1).chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} \cdot x \left[\frac{-1,012 \cdot 1,009 + (1,009 - 1) \cdot 1,0012}{1,012} \right] = -2,166 \cdot 10^{-13}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 1000,106 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -15069,991 \text{ kNm}^2$$

} $\Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-150699919,7 \cdot (23313)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -216 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-150699919,7 \cdot (29887)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -278 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-150699919,7 \cdot (66130)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -615 \text{ kN/m}^2$$

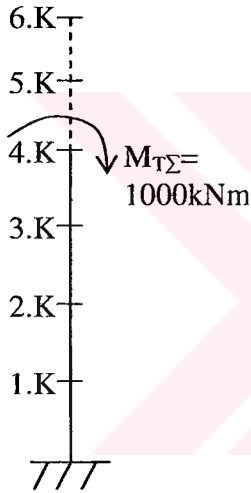
$$\tau(s) = -\frac{1}{I} x E x \varphi''' m x s a m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,166 \times 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 41,1 \text{ kN/m}^2$$

4.1.3. Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_r , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları

$$x = 0 \text{ m}, \quad x' = 12 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 18 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 6$$



$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 0,105$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 1,0055$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chk l} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 600) = 0,0526$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 1,0055$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega \omega \omega} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk l} \cdot \text{shk } x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk } \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} x \left[0 - \frac{0,159 - 0,0526 - 1,012 \cdot 0,105 + (1,0055 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] =$$

$$0 \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega \omega \omega} \cdot k^2} \left[1 - \frac{\text{chk l} \cdot \text{chk } x' - (\text{chka} - 1) \cdot \text{chk } \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,0055 - (1,0055 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = 0 \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \cdot \left[\frac{1,012 \cdot 0,105 + (1,0055 - 1) \cdot 0,0159}{1,012} \right] = 2,607 \cdot 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \cdot 1,055 + (1,0055 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = -2,166 \cdot 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 1000,654 \text{ kNm} \quad \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot x \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -12036,58 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-120365852,6 \cdot (-23313)}{1,62 \cdot 10^{14}} = 173 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-120365852,6 \cdot (29887)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -222 \text{ kN/m}^2$$

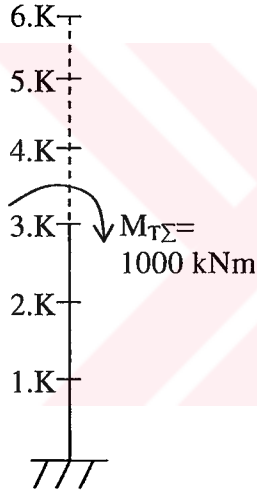
$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-120365852,6 \cdot (66130)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -491 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,166 \cdot 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 41,1 \text{ kN/m}^2$$

4.1.4. Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

$$x = 0 \text{ m}, \quad x' = 9 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 18 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 9$$



$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 0,079$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 1,003$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 0,079$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 1,003$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega m} \cdot k^3} \cdot \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk}\ell \cdot \text{shk}x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \cdot \left[0 - \frac{0,159 - 0,079 - 1,012 \cdot 0,079 + (1,003 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] = 0 \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega m} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chk}\ell \cdot \text{chk}x' - (\text{chka} - 1) \cdot \text{chk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850.1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,003 - (1,003 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = 0 \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850.1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \times \left[\frac{1,012 \cdot 0,079 + (1,003 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] = 1,963 \cdot 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850.1,62 \cdot 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \cdot 1,003 + (1,003 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = -2,15 \cdot 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850.1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 1000,654 \text{ kNm} \quad \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -9019,16 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-90191618,61 \cdot (-23313)}{1,62 \cdot 10^{14}} = 129 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-90191618,61 \cdot (29887)}{1,62 \times 10^{14}} = -166 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m}} = \frac{-90191618,61 \cdot (66130)}{1,62 \times 10^{14}} = -368 \text{ kN/m}^2$$

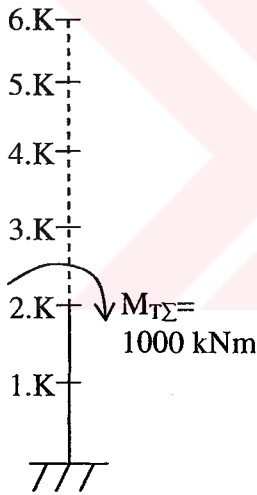
$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,199 \times 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 41,1 \text{ kN/m}^2$$

4.1.5. Burulma Momentinin 2. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_r , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

$$x = 0 \text{ m}, \quad x' = 6 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 18 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}.$$

$$b = 12$$



$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 600) = 0,05264$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 600) = 1,001$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 0,1054$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 1,001$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk} \ell \cdot \text{shk} x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk} \bar{x}'}{\text{chk} \ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} x \left[0 - \frac{0,159 - 0,1054 - 1,012 \cdot 0,05264 + (1,001 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] =$$

0 rad

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chk\bar{x}' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \cdot \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,001 - (1,001 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = 0 \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})} \cdot \left[\frac{1,012 \cdot 0,05264 + (1,001 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] = 1,301 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} \cdot \left[\frac{-1,012 \cdot 1,012 + (1,001 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = -2,165 \cdot 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 1000,01 \text{ kNm} \quad \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -6009,73 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-60097301,34 \cdot (-23313)}{1,62 \times 10^{14}} = 86 \text{ kN/m}^2$$

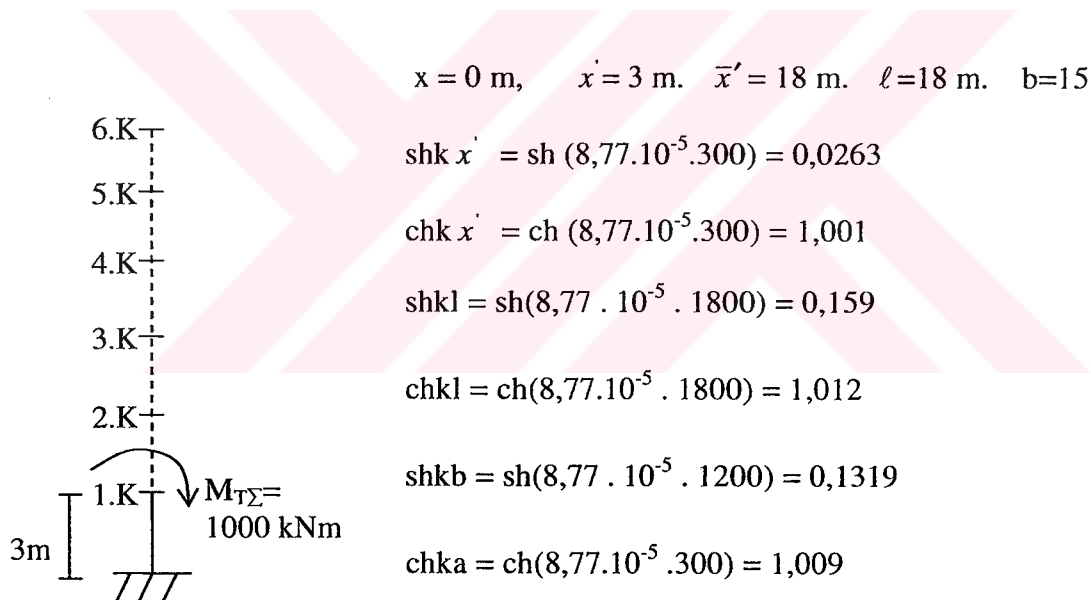
$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m \omega m}} = \frac{-60097301,34x(29887)}{1.62x10^{14}} = -110kN/m^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m m}} = \frac{-60097301,34 \cdot (66130)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -245 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m } x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,166 \cdot 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 41,1 \text{ kN/m}^2$$

4.1.6. Burulma Momentinin 1. Katta 1000 kNm Olduğu Anda Z. Kattaki ϕ , ϕ' , ϕ'' , ϕ''' ve M_T , M_r , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması



$$\varphi = \frac{M_{\tau SD}}{E.J_{\text{geom}}.k^3} \cdot \left[kx - \frac{shkl - shkb - chkl.shkx' + (chka - 1).shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \times \left[0 - \frac{0,159 - 0,1319 - 1,012 \cdot 0,0263 + (1,001 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] = 0$$

rad

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k_2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,001 - (1,009 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = 0 \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})} \left[\frac{1,012 \cdot 0,0263 + (1,009 - 1) \cdot 0,159}{1,012} \right] = 0,65 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \cdot 1,012 + (1,009 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = -2,146 \cdot 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 999,63 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -3002,58 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 0,0 \text{ kNm} \\ M_\tau = 999,63 \text{ kNm} \\ M_\omega = -3002,58 \text{ kNm}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega x \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-30025817,35 \cdot (-23313)}{1.62 \cdot 10^{14}} = 43 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-30025817,35 \cdot (29887)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -55 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-30025817,35 \cdot (66130)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -123 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,146 \cdot 10^{-13}) \cdot (133427551) = 40 \text{ kN/m}^2$$



Çizelge 4.1 $x=0$ m İken Tüm Katlardaki Burulma Momentinin 1000 kNm Olduğunda φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_t , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=0	6.K.	5.K.	4.K.	3.K.	2.K.	1.K.
φ (rad)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
φ' (rad/cm ⁻¹)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
φ'' (rad/cm ⁻²)	$3,88 \times 10^{-10}$	$3,263 \times 10^{-10}$	$2,607 \times 10^{-10}$	$1,963 \times 10^{-10}$	$1,301 \times 10^{-10}$	$0,65 \times 10^{-10}$
φ''' (rad/cm ⁻³)	$-2,170 \times 10^{-13}$	$-2,170 \times 10^{-13}$	$-2,164 \times 10^{-13}$	$-2,165 \times 10^{-13}$	$-2,165 \times 10^{-13}$	$-2,146 \times 10^{-13}$
M_T (kNm)	0	0	0	0	0	0
M_t (kNm)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
M_ω (kNm ²)	-17913,49	-15069,99	-12033,58	-9019,16	-6009,73	-3002,58
$M_{T2}=1000$ kNm için	$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0	0	0
	$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	257,79	216	173	129	86
	$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	-330,46	-278	-222	-116	-110
	$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	-731,29	-615	-491	-368	-245

Çizelge 4.2 $x=0$ m İken Tüm Katlardaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=0	6.K. $M_{T\Sigma}=2806$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2336$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1865$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1407$ kNm	2.K. $M_{T\Sigma}=932$ kNm	1.K. $M_{T\Sigma}=474$ kNm	$\Sigma\sigma$ (kN/m ²)
$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	721	504	323	244	80	20	1874
$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	-927	-651	-414	-164	-102	-26	-2260
$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	-2052	-1437	-916	-518	-227	-58	-5208

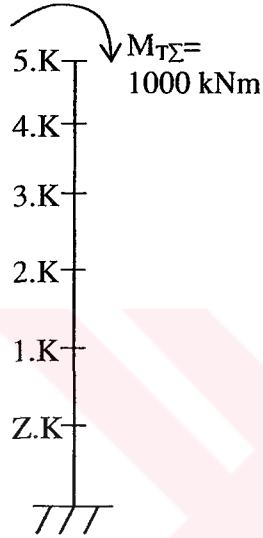
Çizelge 4.3 $x=0$ m. için τ Değerleri

X=0	6.K. $M_{T\Sigma}=2806$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2336$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1865$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1407$ kNm	2.K. $M_{T\Sigma}=932$ kNm	1.K. $M_{T\Sigma}=474$ kNm	$\Sigma\tau$ (kN/m ²)
τ (kN/m ²)	41	41	41	41	41	40	245
τ (kN/m ²)	114	95	76	57	38	19	399

4.2. Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

4.2.1. Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

$$x = 3 \text{ m}, \quad x' = 15 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 15 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 0$$



$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chk l} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0) = 0,0$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\text{amam}} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk l} \cdot \text{shk } x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk } \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \left[8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300 - \frac{0,159 - 0,0 - 1,012 \cdot 0,132 + (1,012 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right]$$

$$= -1,19 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\text{amam}} \cdot k^2} \left[1 - \frac{\text{chk l} \cdot \text{chk } x' - (\text{chka} - 1) \cdot \text{chk } \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \times 10^{-5})^2} \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,009 - (1,012 - 1) \cdot 1,009}{1,012} \right] = 8,34 \times 10^{-8} \text{ rad / cm}^{-1}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})} \cdot \left[\frac{1,012 \cdot 0,132 + (1,012 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right] = 3,298 \times 10^{-10} \text{ rad / cm}^{-1}$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} \cdot \left[\frac{-1,012 \cdot 1,009 + (1,012 - 1) \cdot 1,009}{1,012} \right] = -2,159 \cdot 10^{-13} \text{ rad / cm}^{-2}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 2,85 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 997,14 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot x \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -15069,991 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 2,85 \text{ kNm} \\ M_\tau = 997,14 \text{ kNm} \\ M_\omega = -15069,991 \text{ kNm}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-150699919,7 \cdot (-23313)}{1,62 \times 10^{14}} = 216 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-150699919,7 \cdot (29887)}{1,62 \times 10^{14}} = -278 \text{ kN / m}^2$$

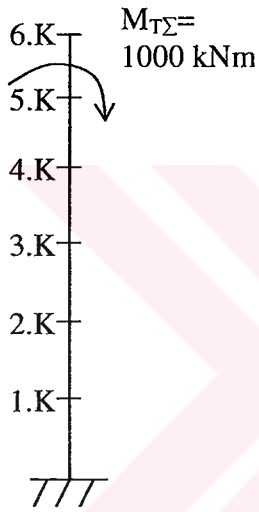
$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-150699919,7 \cdot (66130)}{1,62 \times 10^{14}} = -615 \text{ kN / cm}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,159 \cdot 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 41 \text{ kN/m}^2$$

4.2. 2. Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları



$$x = 3 \text{ m}, \quad x' = 12 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 15 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 3$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 0,105$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 1,0055$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,026$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega \omega \omega} \cdot k^3} \cdot \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk} \ell \cdot \text{shk} x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk} \bar{x}'}{\text{chk} \ell} \right]$$

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{1000 \times 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \times 10^{-5} \cdot 300 - \frac{0,159 - 0,026 - 1,012 \cdot 0,105 + (1,009 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right] \\ &= -4,14 \times 10^{-4} \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\varphi' = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega \omega \omega} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chk} \ell \cdot \text{chk} x' - (\text{chka} - 1) \cdot \text{chk} \bar{x}'}{\text{chk} \ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} x \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,0055 - (1,009 - 1) \cdot 1,009}{1,012} \right] = 14,68 \cdot 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} x \left[\frac{1,012 \cdot 0,105 + (1,009 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right] = 2,63 \cdot 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} x \left[\frac{-1,012 \cdot 1,009 + (1,009 - 1) \cdot 1,009}{1,012} \right] = -2,153 \cdot 10^{-13} \text{ rad / cm}^{-3}$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 4,86 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 994,23 \text{ kNm} \quad \left. \vphantom{M_\tau} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot x \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -11987,49 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-119874936,2 \cdot (-23313)}{1,62 \cdot 10^{14}} = 172 \text{ kN / m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-119874936,2 \cdot (29887)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -222 \text{ kN / m}^2$$

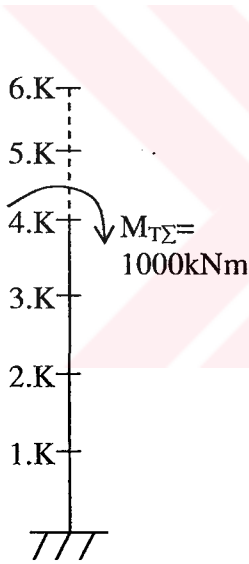
$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m m}} = \frac{-119874936,2 \cdot (66130)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -489 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,158 \cdot 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 40 \text{ kN/m}^2$$

4.2.3. Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_{τ} , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları



$$x = 3 \text{ m}, \quad x' = 9 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 15 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m} \quad b = 6.$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 0,079$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 1,003$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chk l} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 600) = 0,0526$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 1,0055$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega m m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk l} \cdot \text{shk } x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk } \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300 - \frac{0,159 - 0,0526 - 1,012 \cdot 0,079 + (1,0055 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right] \\ &= -2,24 \cdot 10^{-3} \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \cdot \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,003 - (1,0055 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = 27,04 \cdot 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})} \cdot \left[\frac{1,012 \cdot 0,079 + (1,0055 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right] = 1,97 \cdot 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} \cdot \left[-\frac{1,012 \cdot 1,012 + (1,0055 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = -2,45 \cdot 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 7,43 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 990,55 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot x \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -9019,16 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 7,43 \text{ kNm} \\ M_\tau = 990,55 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-90191618,61 \cdot (-23313)}{1,62 \cdot 10^{14}} = 129 \text{ kN/m}^2$$

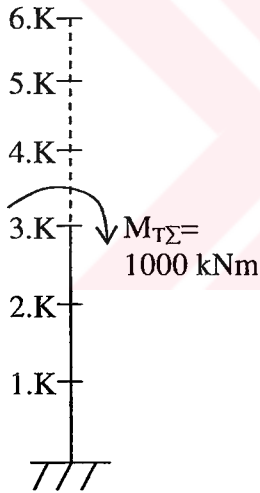
$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-90191618,61 \cdot (29887)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -166 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-90191618,61 \cdot (66130)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -368 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega m(s) \quad \tau_{\max} = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,454 \cdot 10^{-13}) \cdot (-133427551) = 30 \text{ kN/m}^2$$

4.2.4. Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_{τ} , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin

$$x = 3 \text{ m}, \quad x' = 6 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 15 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 9$$



$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 600) = 0,05264$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 600) = 1,001$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chk l} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 0,079$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 900) = 1,003$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk l} \cdot \text{shk } x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk } \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300 - \frac{0,159 - 0,079 - 1,012 \cdot 0,05264 + (1,003 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right] \\ &= -1,59 \cdot 10^{-4} \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k_2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} x \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,001 - (1,003 - 1) \cdot 1,009}{1,012} \right] = 32,14 \cdot 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} x \left[\frac{1,012 \cdot 0,079 + (1,0055 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right] = 1,32 \cdot 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} x \left[\frac{-1,012 \cdot 1,012 + (1,003 - 1) \cdot 1,012}{1,012} \right] = -2,14 \cdot 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 12,33 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 987 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot x \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -6009,73 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 12,33 \text{ kNm} \\ M_\tau = 987 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-60097301,34 \cdot (-23313)}{1,62 \cdot 10^{14}} = 86 \text{ kN/m}^2$$

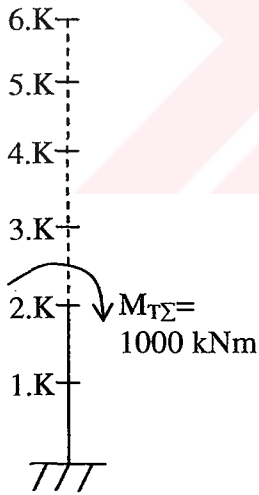
$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-60097301,34 \cdot (29887)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -111 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-60097301,34 \cdot (66130)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -245 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau(A) = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,14 \cdot 10^{-13}) \cdot (-60527800) = 39 \text{ kN} / \text{m}^2$$

4.2.5. Burulma Momentinin 2. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması



$$x = 3 \text{ m}, \quad x' = 3 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 15 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 12$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 0,02631$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 1,00$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1200) = 0,1054$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 600) = 1,001$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk}\ell \cdot \text{shk}x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000.100}{2850.1,62.10^{14} (8,77.10^{-5})^3} \cdot \left[8,77.10^{-5} \cdot 300 - \frac{0,159 - 0,1054 - 1,012.0,02631 + (1,001 - 1).0,132}{1,012} \right]$$

$$= -1,51.10^{-4} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega m \omega m} \cdot k_2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000.100}{2850.1,62.10^{14} (8,77.10^{-5})^2} \cdot \left[1 - \frac{1,012.1,00 - (1,001 - 1).1,009}{1,012} \right] = 41,7.10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega m \omega m} \cdot k} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000.100}{2850.1,62.10^{14} (8,77.10^{-5})} \cdot \left[-\frac{1,012.0,0263 + (1,001 - 1).0,132}{1,012} \right] = 6,51.10^{-11} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega m \omega m}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000.100}{2850.1,62.10^{14}} \cdot \left[\frac{-1,012.1,012 + (1,001 - 1).1,009}{1,012} \right] = -2,136.10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$\left. \begin{aligned} M_T &= G.J_T \cdot \varphi' = (1187,5.2986666,7 \cdot \varphi') = 15 \text{ kNm} \\ M_\tau &= -E.J_{\omega m \omega m} \cdot \varphi''' = (-2850.1,62.10^{14} \cdot \varphi''') = 985,01 \text{ kNm} \\ &\text{kNm} \end{aligned} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000$$

$$M_\omega = -ExJ_{\omega m \omega m} \cdot \varphi'' = -3002,58 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega x \omega_m}{J_{\omega m \omega m}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-30025817,35 \cdot (-23313)}{1.62 \cdot 10^{14}} = 43 \text{ kN/m}^2$$

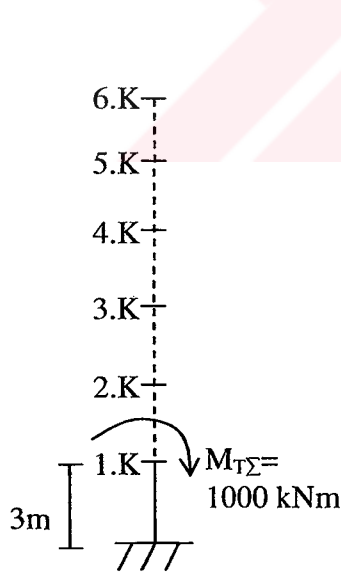
$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-30025817,35 \cdot (29887)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -55 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-30025817,35 \cdot (66130)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -143 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega \text{ m(s)}$$

$$\tau(A) = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,136 \cdot 10^{-13}) \cdot (-60527800) = 39 \text{ kN/m}^2$$

4.2.6. Burulma Momentinin 1. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 1. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması



$$x = 3 \text{ m}, \quad x' = 0 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 15 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 15$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0) = 0,0$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0) = 1,00$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,1319$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 300) = 1,00$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 1,009$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \cdot 10^{-5} \cdot 1500) = 0,132$$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk}\ell \cdot \text{shk}x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} x \left[0 - \frac{0,159 - 0,1319 - 1,012 \cdot 0,0 + (1,009 - 1) \cdot 0,132}{1,012} \right]$$

$$= -1,642 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k_2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} x \left[1 - \frac{1,012 \cdot 1,00 - (1,009 - 1) \cdot 1,009}{1,012} \right] = 42,28 \cdot 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})} x \left[\frac{1,012 \cdot 0,0 + (1,009 - 1) \cdot 0,1319}{1,012} \right] = 2,89 \cdot 10^{-12} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} x \left[\frac{-1,012 \cdot 1,0 + (1,00 - 1) \cdot 1,009}{1,012} \right] = -2,134 \cdot 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \cdot 2986666,7 \cdot \varphi') = 15,89 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = 984,11 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = 135,53 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 15,89 \text{ kNm} \\ M_\tau = 984,11 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m}} = \frac{-1355271,778 \cdot (-23313)}{1.62 \cdot 10^{14}} = 1,9 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m}} = \frac{-1355271,778 \cdot (29887)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -2,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m}} = \frac{-1355271,778 \cdot (66130)}{1.62 \cdot 10^{14}} = -5,53 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega m(s)$$

$$\tau(A) = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-2,134 \cdot 10^{-13}) \cdot (-60527800) = 39 \text{ kN/m}^2$$



Çizelge 4,4. $x=3$ m İken Tüm Katlardaki Burulma Momentinin 1000 kNm Olduğunda φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_t , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=3	6.K.	5.K.	4.K.	3.K.	2.K.	1.K.
φ (rad)	$-1,19 \times 10^{-4}$	$-4,14 \times 10^{-4}$	$-2,24 \times 10^{-3}$	$-1,59 \times 10^{-4}$	$-1,51 \times 10^{-4}$	$-1,65 \times 10^{-4}$
φ' (rad/cm ⁻¹)	$8,34 \times 10^{-8}$	$14,68 \times 10^{-8}$	$27,8 \times 10^{-8}$	$32,14 \times 10^{-8}$	$41,7 \times 10^{-8}$	$42,28 \times 10^{-8}$
φ'' (rad/cm ⁻²)	$3,29 \times 10^{-10}$	$2,63 \times 10^{-10}$	$1,97 \times 10^{-10}$	$1,32 \times 10^{-10}$	$6,51 \times 10^{-11}$	$2,89 \times 10^{-12}$
φ''' (rad/cm ⁻³)	$-2,159 \times 10^{-13}$	$-2,153 \times 10^{-13}$	$-2,145 \times 10^{-13}$	$-2,14 \times 10^{-13}$	$-2,136 \times 10^{-13}$	$-2,134 \times 10^{-13}$
M_T (kNm)	3	5	10	12	15	16
M_t (kNm)	997	994	990	987	985	984
M_ω (kNm ²)	—15070	—11988	—9020	—6010	—3003	—135,53
$M_{T\Sigma}=1000$ kNm için	$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0	0	0
	$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	216	172	129	86	43
	$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	—278	—222	—166	—111	—55
	$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	—615	—489	—368	—245	—143

Çizelge 4.5 $x=3$ m İken Tüm Katlardaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=3	6.K. $M_{T\Sigma}=2866$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2336$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1865$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1407$ kNm	2.K. $M_{T\Sigma}=932$ kNm	1.K. $M_{T\Sigma}=474$ kNm	$\Sigma\sigma$ (kN/m ²)
$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	596	400	239	120	40	0,92	1396
$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	-768	-516	-306	-155	-51	-1,18	-1797
$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	-1698	-1136	-682	-342	-133	-2,59	—3994

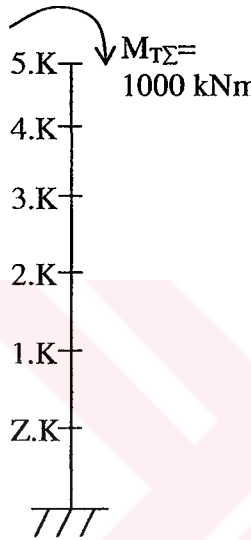
Çizelge 4.6 $x=3$ m. için τ Değerleri

X=3	6.K. $M_{T\Sigma}=2806$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2336$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1865$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1407$ kNm	2.K. $M_{T\Sigma}=932$ kNm	1.K. $M_{T\Sigma}=474$ kNm	$\Sigma\tau$ (kN/m ²)
τ (kN/m ²)	41	40	39	39	39	39	237
τ (kN/m ²)	113	93	73	54	36	18	387

4.3. Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

4.3.1. Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları



$x = 6 \text{ m}, \quad x' = 9 \text{ m}, \quad b = 0, \quad \bar{x}' = 12 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}.$

$M_{T\Sigma} = 1000 \text{ kNm}$

$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$

$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 1,003$

$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$

$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$

$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 0,0) = 0,0$

$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$

$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 1,005$

$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 0,105$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk}\ell \cdot \text{shk}x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^3} \left[8,77 \times 10^{-5} \times 600 - \frac{0,159 - 0,0 - 1,012 \times 0,079 + (1,012 - 1) \times 0,105}{1,012} \right]$$

$$= -8,59 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^2} \left[1 - \frac{\text{chk}\ell \cdot \text{chk}x' - (\text{chka} - 1) \cdot \text{chk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,003 - (1,012 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = 12,52 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[\frac{1,012 \times 0,079 + (1,012 - 1) \times 0,105}{1,012} \right] = 2,63 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,005 + (1,012 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = -2,152 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 5,89 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 993 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -11987 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-119874936,2 \times (-23313)}{1,62 \times 10^{14}} = 172 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-119874936,2 \times (29887)}{1,62 \times 10^{14}} = -222 \text{ kN/m}^2$$

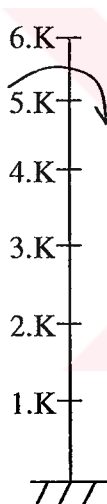
$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m}} = \frac{-119874936,2x(66130)}{1.62x10^{14}} = -489 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega \text{ m(s)}$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850 x (-2,153x10^{-13}) x (-133427551) = 40 \text{ kN/m}^2$$

4.3.2. Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_{τ} , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları

	$M_{T\Sigma} = 1000 \text{ kNm}$ $x = 6\text{m}, \quad x' = 9\text{m}, \quad \bar{x}' = 12\text{m}, \quad \ell = 18\text{m}, \quad b = 3$ $\text{shk } x' = \text{sh}(8,77x10^{-5}x900) = 0,079$ $\text{chk } x' = \text{ch}(8,77x10^{-5}x900) = 1,003$ $\text{shkl} = \text{sh}(8,77x10^{-5}x1800) = 0,159$ $\text{chkl} = \text{ch}(8,77x10^{-5}x1800) = 1,012$ $\text{shkb} = \text{sh}(8,77x10^{-5}x300) = 0,026$ $\text{chka} = \text{ch}(8,77x10^{-5}x1500) = 1,009$ $\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77x10^{-5}x1200) = 1,005$ $\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77x10^{-5}x1200) = 0,105$
--	---

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk}\ell \cdot \text{shk}x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000x100}{2850x1,62x10^{14} x (8,77x10^{-5})^3} \cdot \left[8,77x10^{-5} x 600 - \frac{0,159 - 0,026 - 1,012x0,079 + (1,009 - 1)x0,105}{1,012} \right]$$

$$= -2,38x10^{-4} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot k_2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chk\bar{x}' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,003 - (1,009 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = 16,6 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[\frac{1,012 \times 0,079 + (1,009 - 1) \times 0,105}{1,012} \right] = 1,96 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,005 + (1,009 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = -2,145 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 8,82 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 990 \text{ kNm}$$

} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} \times \varphi'' = -9021 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-90191618,61 \times (-23313)}{1,62 \times 10^{14}} = 129 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-90191618,61x(29887)}{1.62x10^{14}} = -166kN / m^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-90191618,61x(66130)}{1.62x10^{14}} = -368kN / m^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850x(-2,145x10^{-13})x(-133427551) = 39 \text{ kN/m}^2$$

4.3.3. Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları

$$x = 6m, \quad x' = 6 \text{ m.} \quad \bar{x}' = 12 \text{ m.} \quad \ell = 18 \text{ m.} \quad b = 6$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77x10^{-5}x600) = 0,0526$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77x10^{-5}x600) = 1,001$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77x10^{-5} \times 1800) = 1,012$$

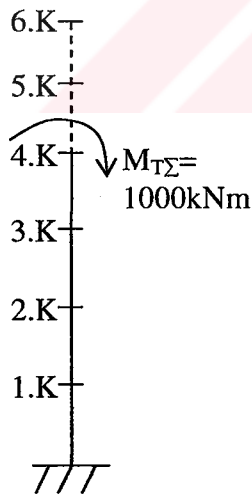
$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 600) = 0,0526$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77x10^{-5} \times 1200) = 1,0055$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77x10^{-5}x1200) = 1,005$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77x10^{-5}x1200) = 0,105$$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk}\ell \cdot \text{shk}x' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$



$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \times 10^{-5} \times 600 - \frac{0,159 - 0,0526 - 1,012 \times 0,0526 + (1,0055 - 1) \times 0}{1,012} \right]$$

$$= -3,63 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega \omega \omega} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,001 - (1,0055 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = 30,09 \times 10^{-8}$$

rad/cm

$$\varphi'' = \frac{M_{\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega \omega \omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})} \times \left[\frac{1,012 \times 0,0526 + (1,0055 - 1) \times 0,105}{1,012} \right] = 1,3 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega \omega \omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,005 + (1,0055 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = -2,140 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 12,90 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega \omega \omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 987 \text{ kNm}$$

kNm

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 12,90 \text{ kNm} \\ M_\tau = 987 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega \omega \omega} \times \varphi'' = -6005 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_{\omega} x \omega_m}{J_{\omega \omega m}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega \omega m}} = \frac{-60051634,68 x (-23313)}{1.62 x 10^{14}} = 86 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega \omega m}} = \frac{-60051634,68 x (29887)}{1.62 x 10^{14}} = -111 \text{ kN} / \text{m}^2$$

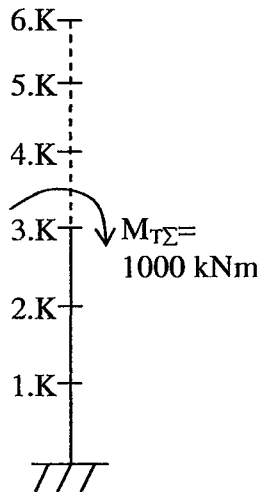
$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega \omega m}} = \frac{-60051634,68 x (66130)}{1.62 x 10^{14}} = -247 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m x s } \omega \text{ m}(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850 x (-2,140 x 10^{-13}) x (-133427551) = 39 \text{ kN} / \text{m}^2$$

4.3.4. Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_r , M_{ω} ve $\sigma_x(A)$, $\sigma_x(B)$, $\sigma_x(C)$, $\sigma_x(D)$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları



$$x = 6 \text{ m}, \quad x' = 3 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 12 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 9$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 300) = 0,026$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 300) = 1,00$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$$

$$chka = ch(8,77 \times 10^{-5} \times 300) = 1,003$$

$$chk \bar{x}' = ch(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 1,005$$

$$shk \bar{x}' = sh(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 0,105$$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega\omega\omega}.k^3} \left[kx - \frac{shk\ell - shk b - chkl.shkx' + (chka - 1).shk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^3} \left[8,77 \times 10^{-5} \times 600 - \frac{0,159 - 0,079 - 1,012 \times 0,026 + (1,003 - 1) \times 0,105}{1,012} \right]$$

$$= -2,41 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\dot{\varphi} = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega\omega\omega}.k^2} \left[1 - \frac{chkl.chkx' - (chka - 1).chk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\dot{\varphi} = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,00 - (1,003 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = 40,03 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega\omega\omega}.k} \left[\frac{chkl.shkx' + (chka - 1).shk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})} \times \left[\frac{1,012 \times 0,026 + (1,003 - 1) \times 0,105}{1,012} \right] = 6,51 \times 10^{-11} \text{ rad/cm}^2$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{M_{TSD}}{E.J_{\omega\omega\omega}} \left[\frac{-chkl.chk\bar{x}' + (chka - 1).chk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,005 + (1,003 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = -2,135 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G.J_T.\dot{\varphi} = (1187,5 \times 2986666,7 \times \dot{\varphi}) = 14,3 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E.J_{\omega\omega\omega}.\ddot{\varphi} = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \ddot{\varphi}) = 985 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 14,3 \text{ kNm} \\ M_\tau = 985 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$M_{\omega} = -ExJ_{\omega\omega\omega\omega} x\varphi'' = -3002 \text{ kNm}^2$$

$$\sigma(x) = \frac{M_{\omega} x \omega_m}{J_{\omega\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-30025817,35 x (-23313)}{1.62 x 10^{14}} = 43 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-30025817,35 x (29887)}{1.62 x 10^{14}} = -55 \text{ kN/m}^2$$

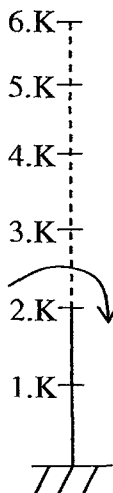
$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega\omega}} = \frac{-30025817,35 x (66130)}{1.62 x 10^{14}} = -123 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' \text{ m } x s \omega_m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850 x (-2,135 x 10^{-13}) x (-133427551) = 39 \text{ kN/m}^2$$

4.3.5. Burulma Momentinin 2. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_{τ} , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları



$$x = 6\text{m}, \quad x' = 0 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 12 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 12$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} x 0,0) = 0,$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} x 0,0) = 1,00$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 1,003$$

$$\text{chk} \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 1,005$$

$$\text{shk} \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 0,105$$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E.J_{amam}.k^3} \cdot \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk}\ell.\text{shk}\bar{x}' + (\text{chka} - 1).\text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \times 10^{-5} \times 600 - \frac{0,159 - 0,105 - 1,012 \times 0,0 + (1,003 - 1) \times 0,105}{1,012} \right]$$

$$= -1,44 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{amam}.k^2} \cdot \left[1 - \frac{\text{chk}\ell.\text{chk}\bar{x}' - (\text{chka} - 1).\text{chk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,00 - (1,003 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = 43,14 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{amam}.k} \cdot \left[\frac{\text{chk}\ell.\text{shk}\bar{x}' + (\text{chka} - 1).\text{shk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})} \times \left[\frac{1,012 \times 0,0 + (1,003 - 1) \times 0,105}{1,012} \right] = 2,58 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{amam}} \cdot \left[\frac{-\text{chk}\ell.\text{chk}\bar{x}' + (\text{chka} - 1).\text{chk}\bar{x}'}{\text{chk}\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,005 + (1,003 - 1) \times 1,005}{1,012} \right] = -2,136 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$\begin{aligned}
 M_T &= G \cdot J_T \cdot \dot{\varphi} = (1187,5 \times 2986666,7 \times \dot{\varphi}) = 16 \text{ kNm} \\
 M_\tau &= -E \cdot J_{\omega m \omega m} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 984 \text{ kNm} \\
 M_\omega &= -E \cdot J_{\omega m \omega m} \cdot \varphi'' = -11,89 \text{ kNm}^2
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} M_T \\ M_\tau \\ M_\omega \end{aligned}} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m}{J_{\omega m \omega m}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m \omega m}} = \frac{-118904,75 \times (-23313)}{1,62 \times 10^{14}} = 0,17 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m \omega m}} = \frac{-118904,75 \times (29887)}{1,62 \times 10^{14}} = -0,22 \text{ kN} / \text{m}^2$$

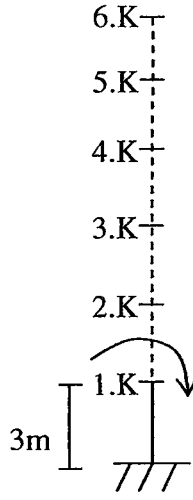
$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m \omega m}} = \frac{-118904,75 \times (66130)}{1,62 \times 10^{14}} = -0,49 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} \times E \cdot \varphi''' \times s \cdot \omega_m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} \times 2850 \times (-2,136 \times 10^{-13}) \times (-133427551) = 39 \text{ kN/m}^2$$

4.3.6. Burulma Momentinin 1. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 2. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

II. bölge sınır koşulları



$a=3 \text{ m}$ $b=15 \text{ m}$ $\ell=18 \text{ m}$ $\bar{x}=3 \text{ m}$ $\bar{x}'=12 \text{ m}$

$shkl = sh(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$

$chkl = ch(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$

$shkb = sh(8,77 \times 10^{-5} \times 1500) = 0,1319$

$chka = ch(8,77 \times 10^{-5} \times 300) = 1,0003$

$chk \bar{x}' = ch(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 1,005$

$shk \bar{x}' = sh(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 0,105$

$$\varphi = \frac{1}{EJ_{\omega\omega}} \cdot \frac{M_{T\Sigma D}}{k^3} \left[ka - \frac{shkl - shkb + (chka - 1) \cdot shk \bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \times 10^{14} \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^3} \times \left[8,77 \cdot 300 \cdot 10^{-5} - \frac{0,159 - 0,1319 + (1,0003 - 1) \cdot 0,10543}{1,012} \right]$$

$$= -0,26 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$$

$$\varphi' = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega\omega} k^2} \cdot \left[\frac{(chka - 1) \cdot chk \bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 1014 \cdot (8,77 \cdot 10^{-5})^2} \times \left[\frac{(1,0003 - 1) \cdot 1,005}{1,012} \right] = 88,136 \cdot 10^{-8}$$

$$\varphi'' = \frac{1}{GJ_{\omega\omega}} \cdot \frac{M_{T\Sigma D}}{k} \cdot \left[\frac{-(chka - 1) \cdot shk \bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot 8,77 \cdot 10^{-5}} x \left[\frac{-(1,0003 - 1) \cdot 0,10543}{1,012} \right] = 7,72 \cdot 10^{-14}$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{EJ_{\omega\omega}} \left[-\frac{(chka - 1) \cdot chk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \cdot 100}{2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14}} x \left[\frac{(1,0003 - 1) \cdot 1,0055}{1,012} \right] = 6,46 \cdot 10^{-16}$$

$$\left. \begin{aligned} M_T &= G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 0,29 \text{ kNm} \\ M_\tau &= -E \cdot J_{\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \cdot 1,62 \cdot 10^{14} \cdot \varphi''') = -2,98 \text{ kNm} \\ M_\omega &= -ExJ_{\omega\omega} \cdot \varphi'' = -0,79 \text{ kNm}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 0$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega}}, \quad \sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega}} = \frac{-7941,24 \cdot (-23313)}{1,62 \cdot 10^{14}} = 0,011 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega}} = \frac{-7941,24 \cdot (29888)}{1,62 \times 10^{14}} = -0,014 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega}} = \frac{-7941,24 \cdot (66130)}{1,62 \cdot 10^{14}} = -0,031 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x Ex \varphi''' \text{ m x s } \omega m(s)$$

$$\tau(A) = -\frac{1}{20} \cdot 2850 \cdot (-6,46 \times 10^{-16}) \cdot (-60527800) = 0,05 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Çizelge 4.7 $x=6$ m İken Tüm Katlardaki Burulma Momentinin 1000 kNm Olduğunda φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=6	6.K.	5.K.	4.K.	3.K.	2.K.	1.K.
φ (rad)	$-8,59 \times 10^{-3}$	$-2,38 \times 10^{-4}$	$-3,63 \times 10^{-3}$	$-2,41 \times 10^{-4}$	$-1,44 \times 10^{-4}$	$-0,26 \times 10^{-4}$
φ' (rad/cm ⁻¹)	$12,52 \times 10^{-8}$	$16,68 \times 10^{-8}$	$30,09 \times 10^{-8}$	$40,03 \times 10^{-8}$	$43,14 \times 10^{-8}$	$88,14 \times 10^{-8}$
φ'' (rad/cm ⁻²)	$2,63 \times 10^{-10}$	$1,96 \times 10^{-10}$	$1,3 \times 10^{-10}$	$6,51 \times 10^{-11}$	$2,58 \times 10^{-13}$	$7,72 \times 10^{-14}$
φ''' (rad/cm ⁻³)	$-2,152 \times 10^{-13}$	$-2,145 \times 10^{-13}$	$-2,14 \times 10^{-13}$	$-2,136 \times 10^{-13}$	$-2,136 \times 10^{-13}$	$-6,46 \times 10^{-14}$
M_T (kNm)	6	9	13	15	16	0,29
M_τ (kNm)	993	990	987	985	984	-2,98
M_ω (kNm ²)	-11987	-9016	-6005	-3002	-11,89	-0,79
$M_{T\tau}=1000$ kNm için	$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0	0	0
	$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	172	129	86	43	0,17
	$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	-222	-166	-111	-55	-0,22
	$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	-489	-368	-247	-123	-0,49

Çizelge 4.8 $x=6$ m İken Tüm Katlardaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=6	6.K. $M_{T\Sigma}=2806$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2336$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1865$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1407$ kNm	2.K. $M_{T\Sigma}=932$ kNm	1.K. $M_{T\Sigma}=474$ kNm	$\Sigma\sigma$ (kN/m ²)
$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0	0	0	0	0
$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	475	300	159	60	0,16	0,006	994
$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	-613	-386	-206	-77	-0,2	-0,007	-1212
$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	-1350	-855	-458	-172	-0,46	-0,014	-2835

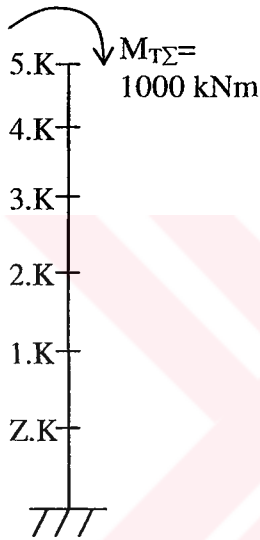
Çizelge 4.9 $x=6$ için τ Değerleri

X=0	6.K. $M_{T\Sigma}=2806$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2336$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1865$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1407$ kNm	2.K. $M_{T\Sigma}=932$ kNm	1.K. $M_{T\Sigma}=474$ kNm	$\Sigma\tau$ (kN/m ²)
τ (kN/m ²)	40	39	39	39	39	0,05	196
τ (kN/m ²)	110	91	73	54	36	0,02	364

4.4. Burulma Momentinin Tüm Katlarda 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

4.4.1. Burulma Momentinin 6. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları



$$x = 9 \text{ m}, \quad x' = 9 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 9 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 0$$

$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 1,003$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$$

$$\text{chk l} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 0,0) = 0,0$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 1,003$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E.J_{amam}.k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chk l} \cdot \text{shkx}' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk} \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^3} \left[8,77 \times 10^{-5} \times 900 - \frac{0,159 - 0,0 - 1,012 \times 0,079 + (1,012 - 1) \times 0,079}{1,012} \right]$$

$$= -3,89 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E.J_{amam}.k^2} \left[1 - \frac{\text{chk l} \cdot \text{chkx}' - (\text{chka} - 1) \cdot \text{chk} \bar{x}'}{\text{chk l}} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,003 - (1,012 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = 12,3 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})} \times \left[\frac{1,012 \times 0,079 + (1,012 - 1) \times 0,079}{1,012} \right] = 1,96 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,003 + (1,012 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = -2,147 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 6 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 991 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -9019 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 6 \text{ kNm} \\ M_\tau = 991 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-90191618,62 \times (-23313)}{1,62 \times 10^{14}} = 130 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-90191618,62 \times (29887)}{1,62 \times 10^{14}} = -166 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m}} = \frac{-90191618,62x(66130)}{1.62x10^{14}} = -375 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850 x (-2,147x10^{-13}) x (-133427551) = 39 \text{ kN/m}^2$$

4.4.2. Burulma Momentinin 5. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_{τ} , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları

6.K	$M_{T\Sigma} = 1000 \text{ kNm}$	$x = 9 \text{ m}, \quad x' = 6 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 9 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 3$
5.K		$shk x' = sh(8,77x10^{-5}x600) = 0,0526$
4.K		$chk x' = ch(8,77x10^{-5}x600) = 1,001$
3.K		$shkl = sh(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$
2.K		$chkl = ch(8,77x10^{-5} \times 1800) = 1,012$
1.K		$shkb = sh(8,77 \times 10^{-5} \times 300) = 0,026$
		$chka = ch(8,77x10^{-5} \times 1500) = 1,009$
		$chk \bar{x}' = ch(8,77x10^{-5}x900) = 1,003$
		$shk \bar{x}' = sh(8,77x10^{-5}x900) = 0,079$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{shk\ell - shkb - chkl \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chkl} \right]$$

$$\begin{aligned} \varphi &= \frac{1000x100}{2850x1,62x10^{14} x (8,77x10^{-5})^3} \left[8,77x10^{-5} x 900 - \frac{0,159 - 0,026 - 1,012x0,0526 + (1,009 - 1)x0,079}{1,012} \right] \\ &= -4,98x10^{-4} \text{ rad} \end{aligned}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,001 - (1,009 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = 23,4 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})} \times \left[\frac{1,012 \times 0,0526 + (1,009 - 1) \times 0,079}{1,012} \right] = 1,28 \times 10^{-10} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,001 + (1,009 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = -2,142 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 9 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 989 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -5925 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 9 \text{ kNm} \\ M_\tau = 989 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \text{ (simetriden)}$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega\omega}} = \frac{-59249535,3 \times (-23313)}{1,62 \times 10^{14}} = 85 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m m}} = \frac{-59249535,3x(29887)}{1.62x10^{14}} = -109 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega m m}} = \frac{-59249535,3x(66130)}{1.62x10^{14}} = -242 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850 x (-2,142x10^{-13}) x (-133427551) = 39 \text{ kN/m}^2$$

4.4.3. Burulma Momentinin 4. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_{τ} , M_{ω} ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları

$x = 9 \text{ m}, \quad x' = 3 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 9 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 6$

$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 300) = 0,026$

$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 300) = 1,00$

$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$

$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$

$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 600) = 0,0526$

$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1200) = 1,006$

$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 1,003$

$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$

$$\varphi = \frac{M_{T\Sigma D}}{E \cdot J_{\omega m m} \cdot k^3} \left[kx - \frac{\text{shkl} - \text{shkb} - \text{chkl} \cdot \text{shkx}' + (\text{chka} - 1) \cdot \text{shk}\bar{x}'}{\text{chkl}} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \times 10^{-5} \times 900 - \frac{0,159 - 0,0526 - 1,012 \times 0,026 + (1,006 - 1) \times 0,079}{1,012} \right]$$

$$= -1,94 \times 10^{-5} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{chk\ell \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \times \left[1 - \frac{1,012 \times 1,00 - (1,006 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = 37,4 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chk\ell \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})} \times \left[\frac{1,012 \times 0,026 + (1,006 - 1) \times 0,079}{1,012} \right] = 6,43 \times 10^{-11} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chk\ell \cdot chk\bar{x}' + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}'}{chk\ell} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \times \left[\frac{-1,012 \times 1,003 + (1,006 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = -2,139 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 13 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 994 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \times \varphi'' = -2968 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 13 \text{ kNm} \\ M_\tau = 994 \text{ kNm} \\ M_\omega = -2968 \text{ kNm}^2 \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \times \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-29683317,52x(-23313)}{1.62x10^{14}} = 43 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-29683317,52x(29887)}{1.62x10^{14}} = -55 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_\omega \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega\omega m}} = \frac{-29683317,52x(66130)}{1.62x10^{14}} = -121 \text{ kN/m}^2$$

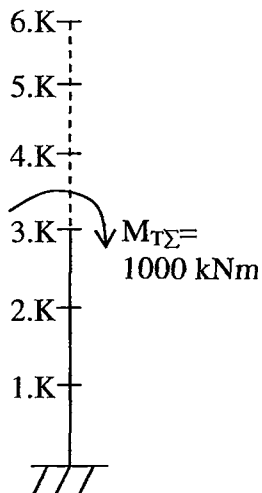
$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850 x (-2,139x10^{-13}) x (-133427551) = 39 \text{ kN/m}^2$$

4.4.4. Burulma Momentinin 3. Katta 1000 kNm Olduğu Anda 3. Kattaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω ve $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Bulunması

I. bölge sınır koşulları

$$x = 9 \text{ m}, \quad x' = 0 \text{ m}, \quad \bar{x}' = 9 \text{ m}, \quad \ell = 18 \text{ m}, \quad b = 9$$



$$\text{shk } x' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 0,0) = 0,0$$

$$\text{chk } x' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 0,0) = 1,00$$

$$\text{shkl} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 0,159$$

$$\text{chkl} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 1800) = 1,012$$

$$\text{shkb} = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$$

$$\text{chka} = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 1,003$$

$$\text{chk } \bar{x}' = \text{ch}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 1,003$$

$$\text{shk } \bar{x}' = \text{sh}(8,77 \times 10^{-5} \times 900) = 0,079$$

$$\varphi = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^3} \left[kx - \frac{shk\ell - shk b - chkl \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\varphi = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^3} \cdot \left[8,77 \times 10^{-5} \times 900 - \frac{0,159 - 0,079 - 1,012 \times 0,0 + (1,003 - 1) \times 0,079}{1,012} \right]$$

$$= -3,55 \times 10^{-4} \text{ rad}$$

$$\varphi' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k^2} \cdot \left[1 - \frac{chkl \cdot chkx' - (chka - 1) \cdot chk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\varphi' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})^2} \cdot \left[1 - \frac{1,012 \times 1,00 - (1,003 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = 41,36 \times 10^{-8} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi'' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot k} \cdot \left[\frac{chkl \cdot shkx' + (chka - 1) \cdot shk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\varphi'' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times (8,77 \times 10^{-5})} \cdot \left[\frac{1,012 \times 0,0 + (1,003 - 1) \times 0,079}{1,012} \right] = 5,79 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^2$$

$$\varphi''' = \frac{M_{TSD}}{E \cdot J_{\omega\omega\omega}} \cdot \left[\frac{-chkl \cdot chk\bar{x} + (chka - 1) \cdot chk\bar{x}}{chkl} \right]$$

$$\varphi''' = \frac{1000 \times 100}{2850 \times 1,62 \times 10^{14}} \cdot \left[\frac{-1,012 \times 1,00 + (1,003 - 1) \times 1,003}{1,012} \right] = -2,133 \times 10^{-13} \text{ rad/cm}^3$$

$$M_T = G \cdot J_T \cdot \varphi' = (1187,5 \times 2986666,7 \times \varphi') = 15 \text{ kNm}$$

$$M_\tau = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi''' = (-2850 \times 1,62 \times 10^{14} \times \varphi''') = 984 \text{ kNm}$$

$$M_\omega = -E \cdot J_{\omega\omega\omega} \cdot \varphi'' = -26,73 \text{ kNm}^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M_T = 15 \text{ kNm} \\ M_\tau = 984 \text{ kNm} \end{array} \right\} \Rightarrow M_T + M_\tau = 1000 \text{ kNm}$$

$$\sigma(x) = \frac{M_\omega \cdot x \cdot \omega_m}{J_{\omega\omega\omega}},$$

$$\sigma_x(A) = 0 \quad (\text{simetriden})$$

$$\sigma_x(B) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega \omega m}} = \frac{-267366,46x(-23313)}{1,62x10^{14}} = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(C) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega \omega m}} = \frac{-29683317,52x(29887)}{1,62x10^{14}} = -0,48 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_x(D) = \frac{M_{\omega} \cdot \omega_m(x)}{J_{\omega \omega m}} = \frac{-29683317,52x(66130)}{1,62x10^{14}} = -1,08 \text{ kN/m}^2$$

$$\tau(s) = -\frac{1}{t} x E x \varphi''' m x s \omega m(s)$$

$$\tau_{\max} = -\frac{1}{20} x 2850x(-2,133x10^{-13})x(-133427551) = 38 \text{ kN/m}^2$$

Çizelge 4.10. . $x=9$ m İken Tüm Katlardaki Burulma Momentinin 1000 kNm Olduğunda φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=9	6.K.	5.K.	4.K.	3.K.
φ (rad)	$-3,89 \times 10^{-5}$	$-4,89 \times 10^{-4}$	$-1,94 \times 10^{-5}$	$-3,55 \times 10^{-4}$
φ' (rad/cm ⁻¹)	$12,3 \times 10^{-8}$	$23,4 \times 10^{-8}$	$37,4 \times 10^{-8}$	$41,36 \times 10^{-8}$
φ'' (rad/cm ⁻²)	$1,96 \times 10^{-10}$	$1,28 \times 10^{-10}$	$6,43 \times 10^{-11}$	$5,79 \times 10^{-11}$
φ''' (rad/cm ⁻³)	$-2,147 \times 10^{-13}$	$-2,142 \times 10^{-13}$	$-2,139 \times 10^{-13}$	$-2,133 \times 10^{-13}$
M_T (kNm)	6	10	13	15
M_τ (kNm)	991	989	986	984
M_ω (kNm ²)	-9019	-5925	-2968	-26,73
$M_{T\tau}=1000$ kNm için	$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0
	$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	130	85	43
	$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	—166	—109	—55
	$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	—375	—242	—121

Çizelge 4.11. $x=9$ m İken Tüm Katlardaki φ , φ' , φ'' , φ''' ve M_T , M_τ , M_ω , $\sigma_{x(A)}$, $\sigma_{x(B)}$, $\sigma_{x(C)}$, $\sigma_{x(D)}$ Değerlerinin Gösterilmesi

X=9	6.K. $M_{T\Sigma}=2806$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2324$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1853$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1395$ kNm	$\Sigma\sigma$ (kN/m ²)
$\sigma_{x(A)}$ (kN/m ²)	0	0	0	0	0
$\sigma_{x(B)}$ (kN/m ²)	359	198	77	0,53	1396
$\sigma_{x(C)}$ (kN/m ²)	—458	—253	—102	—0,67	—814
$\sigma_{x(D)}$ (kN/m ²)	—1035	—562	—224	—1,51	—1823

Çizelge 4.12. $x=6$ m. için τ Değerleri

X=0	6.K. $M_{T\Sigma}=2761$ kNm	5.K. $M_{T\Sigma}=2324$ kNm	4.K. $M_{T\Sigma}=1853$ kNm	3.K. $M_{T\Sigma}=1395$ kNm	$\Sigma\tau$ (kN/m ²)
τ (kN/m ²)	39	39	39	38	155
τ (kN/m ²)	108	91	73	53	325

5. DÜŞEY YÜKTEN DOLAYI ORTAYA ÇIKAN GERİLME

Döşeme ağırlığı:

$$\text{Harç: } 0,010 \times 20 = 0,20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Şap: } 0,030 \times 22 = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Sıva: } 0,020 \times 20 = 0,40 \text{ kN/m}^2$$

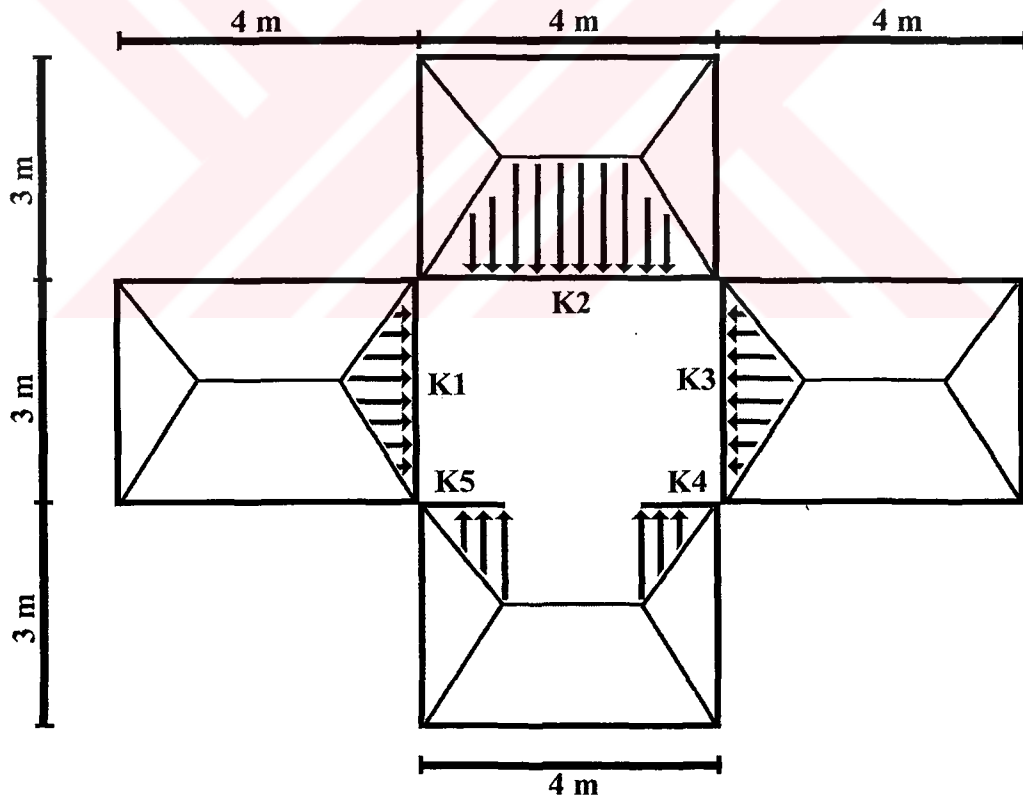
$$\text{BA plak: } 0,15 \times 25 = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Karo kapl: } 0,025 \times 22 = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$+ \text{_____}$$

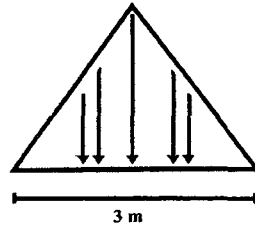
$$g = 5,56 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 5,0 \text{ kN/m}^2$$



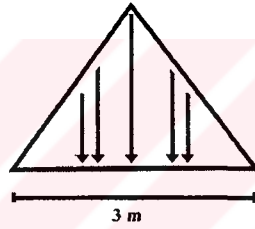
Şekil 5,1 Perdelere Gelen Yüklerin Gösterilişi

K1 perdesi için, K3 perdesi:



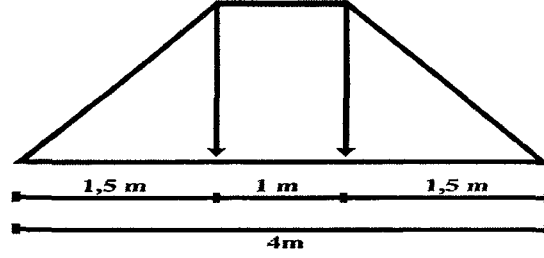
Şekil 5.2 K1 ve K3 Perdesi İçin Döşeme Sabit Yükleri

$$\text{Döşeme sabit yükü} = g \cdot \frac{l_K}{2} = 5,56 \cdot \frac{3}{2} = 8,34 \text{ kN/m}$$



Şekil 5.3 K1 ve K3 Perdesi İçin Döşeme Hareketli Yükleri

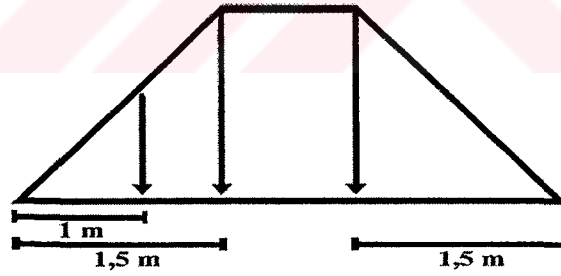
$$\text{Döşeme hareketli yük} = q \cdot \frac{l_K}{2} = 5 \cdot \frac{3}{2} = 7,5 \text{ kN/m.}$$

K2 Perdesi

Şekil 5.4 K2 Perdesine Gelen Yükler

$$g \cdot \frac{l_K}{2} = 5,56 \cdot \frac{3}{2} = 8,34 \text{ kN/m}$$

$$q \cdot \frac{l_K}{2} = 7,5 \text{ kN/m.}$$

K4 ve K5 perdeleri:

Şekil 5.5 K4 ve K5 Perdelerine Gelen Yükler

$$g_x \rightarrow \frac{1}{1,5} = \frac{x}{8,34} \rightarrow \frac{8,34}{1,5} = x \Rightarrow g_x = 5,56 \text{ kN/m.}$$

$$\frac{1}{1,5} = \frac{x}{7,5} \rightarrow \frac{7,5}{1,5} = x \Rightarrow q_x = 5 \text{ kN/m.}$$

Döşeme ağırlığı:

$$G = \left(5,56 \cdot \frac{3}{2} \right) \cdot 2 + 5,56 \cdot 1 = 13,9 \text{ kN}$$

$$Q = \left(5,00 \cdot \frac{3}{2} \right) \cdot 2 + 5,00 \cdot 1 = 12,5 \text{ kN}$$

$$W = G + Q = (13,9 + 0,30 \cdot 12,5) \cdot 6 = 212 \text{ kN}$$

Kiriş ağırlığı:

$$W = (4 \cdot (0,38 \cdot 0,25 \cdot 25 \cdot 2) + 4 \cdot (0,38 \cdot 0,25 \cdot 25 \cdot 1,5)) \cdot 6 = 199,5 \text{ kN}$$

Duvar ağırlığı:

$$W = (4 \cdot (2,5 \cdot 2 \cdot 2,95) + (4 \cdot (2,5 \cdot 1,5 \cdot 2,95))) \cdot 6 = 619,5 \text{ kN}$$

$$A_{\text{perde}} = 4 \cdot 0,2 + 2 \cdot 2,60 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,8 \cdot 0,2$$

$$A_{\text{perde}} = 2,16 \text{ m}^2$$

$$\text{Perde zati ağırlığı} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2,16 \text{ m}^2 \cdot 18 \text{ m} = 1080 \text{ kN} \quad \gamma_{\text{beton}} = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$F_{\text{perde}} = 212 + 199,5 + 619,5 + 1080 = 2110 \text{ kN}$$

$$\sigma_{F_{\text{perde}}} = \frac{F_{\text{perde}}}{A_{\text{perde}}}$$

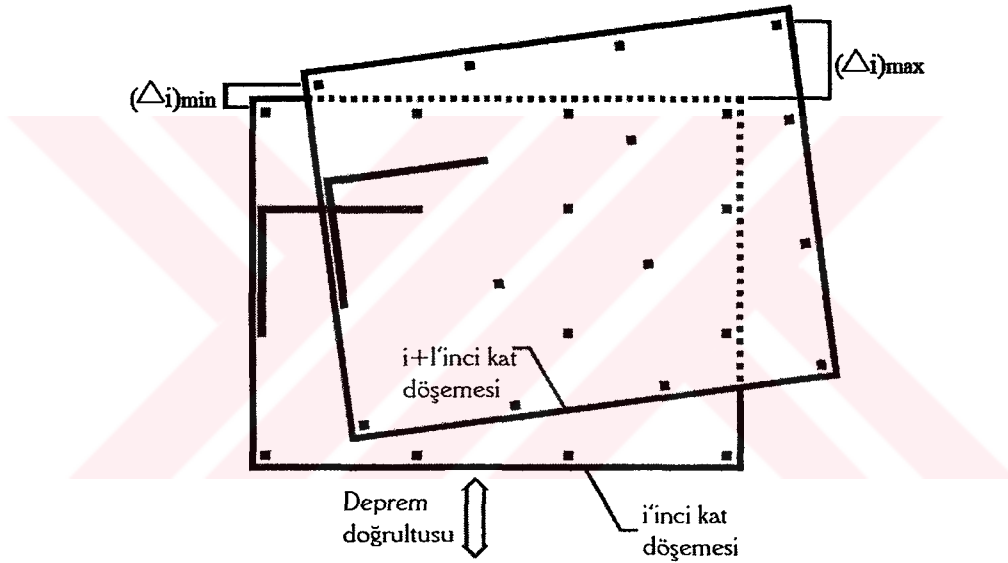
$$\sigma_{F_{\text{perde}}} = \frac{F_{\text{perde}}}{A_{\text{perde}}} = \frac{2110}{2,16} = 978 \text{ kN/m}^2.$$

Eksantriste sonucu oluşan en yüksek gerilme değeri olan $\sigma = 5208 \text{ kN/m}^2$ (Çizelge 4,2) olarak bulunmuştur. Deprem yükünün %25'nin kolonlar, %75'nin ise perde tarafından alındığına öngörürsek bulduğumuz σ değeri 3906 kN/m^2 olur. Bu değer burada bulunan düşey yükten dolayı ortaya çıkan gerilme değeri olan 978 kN/m^2 'den büyük çıkmıştır.

$$\sigma > \sigma_{F_{\text{perde}}}$$

Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkındaki Yönetmelikçe burulma düzensizliği Bölüm 6,3.'de Düzensiz Binalar A1-Burulma Düzensizliği'ne göre;

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden *Burulma Düzensizliği Katsayısı* η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumunda (Şekil 6,1). Görelî kat ötelemelerinin hesabı, $\pm$ %5 ek dışmerkezlilik etkileri de göz önüne alınarak Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi uygulanılarak hesaplamaların yapılması gerektiği belirtilmiştir.



Şekil 6.1 Burulma düzensizliği durumu

Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta i)_{ort} = \frac{1}{2} [(\Delta i)_{max} + (\Delta i)_{min}]$$

$$\text{Burulma düzensizliği katsayısı : } \eta_{bi} = (\Delta i)_{max} / (\Delta i)_{ort}$$

Burulma düzensizliği durumu $\eta_{bi} > 1,2$ olarak tarif edilmiştir.

Çözüm yöntemi olarak ince cidar teorisi kullanılmış ve yönetmelikte belirtilen burulma düzensizliği ile ilgili değerler gözetilmeksizin değerler seçilmiş yapıda eksantriliğin etkisi daha etkin biçimde gösterilmek istenmiştir. Yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin burada kontrolü yapılmış ve belirtilen koşulların üzerinde değerler bulunmuştur.



6. SONUÇLAR

Taşıyıcı sistemlerin sadece burulma momentine maruz olması çok enderdir. Çoğunlukla eğilme momenti, kesme kuvvetleri ile burulma momenti birlikte etki eder. Malzemeyi lineer elastik kabul ederek bu etkileri ayrı ayrı ele alıp sonra her bir etkiyi süperpoze etmek suretiyle tüm tesirlerden oluşan gerilmeler bulunmuş olur. Kayma merkezinden geçmeyen yüklerin burulma momentine sebep olduğu bilinmektedir.

Bu tezde perdeli çerçeveli bir yapı alınmıştır; bu yapıya gelecek deprem yükleri belirlenmiştir. Burada perde bir konsol kiriş olarak alınmıştır. Bu yapıda burulma etkisine sebep olacak şey çekirdek yani betonarme perde idi. Perdeye gelen gerilmeler perdenin A, B, C, D noktalarında hesaplanmıştır.

Deprem yüklerini direkt eksantirik olarak etkittilmiş, dışmerkezliliğin dikkate alındığı durumda kayma ve normal gerilmeleri incelenmiştir. Yapıya etkitilen deprem kuvvetleri uygulanması neticesinde yapıda ek burulma etkilerinin ortaya çıkmıştır. Burulma etkilerinin de ince cidarlı kesitler teorisindeki kuramlarla perdedeki gerilme değerleri elde edilmiştir.

Bu hesaplamalarda ince cidarlı teorinin uygulanması sonucunda dış merkezlilik etkisindeki burulma etkilerinin hesabında daha net ve açık sonuçları ortaya çıkarmıştır. Konsol kirişlerde tekil dış burulma momenti uygulanmasında ince cidar teorisinde kullanılan 1.Bölge ve 2.Bölge formülleriyle yapılan hesaplamalarda 2.Bölgede gerilme çok düşük çıktığından; 2.Bölgedeki gerilmeler göz önüne alınmamıştır. Bir örnek olması amacıyla $x=6'$ da 2.Bölgede yapılan hesaplar tez içerisinde gösterilmiştir.

Eksantiriste sonucu oluşan en yüksek gerilme değeri olan Çizelge 4,2 de bulunan σ değeri 5208 kN/m^2 kolonlarında çektiği yük gözönüne alınarak %25 azaltılmış ve 3906 kN/m^2 olarak hesap edilmiştir. Bu değer 5. Bölümde bulunan düşey yükten dolayı ortaya çıkan gerilme değeri olan 978 kN/m^2 ile karşılaştırıldığında ise yüksek çıkmıştır. Tezin konusu olan eksantistenin etkisi burada açıkça görülmüş ve gerilme değeri yüksek çıkmıştır.

Tezde eksantiristenin etkisinin açık bir şekilde anlaşılabilmesi için eksantiriste değerleri alınırken Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkında Yönetmelikte belirtilen koşullar gözetilmemiştir. Bundan dolayı bulduğumuz gerilme ve diğer değerler çok yüksek çıkmıştır. Çözüm yolu olarak da yönetmelikteki yöntemden farklı olarak ince cidar teorisi kullanılmıştır. Sonuç olarak dış merkezlilik etkisinde gerilmeler yüksek çıkmıştır. Böylece hiçbir şekilde istenmeyen ve tercih edilmeyen eksantiristenin etkisi açıkça anlaşılmıştır. Buradan çıkan sonuç yapılarda mümkün olduğunca burulma etkisi; yani planda burulma düzensizliği oluşturmeyen yapı taşıyıcı sistemleri tasarlanmalıdır.



KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılan Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998

KOLBRUNNER C.F./N.Hajdın,(1972), “Dünvandige Stabe Band I Springer-Verlag Berlin Heidelberg”, New York

ÖZTÜRK A. Zafer(1979), “İnce Cidarlı Çubukların Çarpılmalı Burulmaya Göre Hesabı ve Stabilite Problemleri” Doçentlik Tezi, İSTANBUL

Roik.K./ Carl,J./ Lindner ,J., (1972) , “Biegetorsionsprobleme gerader dünwan Stabe Verlag von Wilhelm Ernst u.Sohn”, Berlin

Yücefer, N. ,(2004), “İnce Cidarlı Taşıyıcılar”,Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, İSTANBUL

Yücefer, N.(1988) , “Köprü Statiği (Özel Yöntemler) “Yıldız Teknik Üniversitesi”, İSTANBUL

Yücefer, N.(1977) , “İnce Cidarlı Açık Kesitleri Burulması” İSTANBUL İ.D.P.M.A.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.04.1976	
Doğum yeri	Çankırı	
Lise	1987-1994	İstek Vakfı Kaşgarlı Mahmut Özel Deneme Lisesi
Lisans	1995-1999	Trakya Üniversitesi
Yüksek Lisans	2002-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı

