

MİMAR SİNAN ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

24806

KARE BİÇİMLİ TÜBÜLER UZAY KAFES KİRİŞLERİN
ELASTİK VE ELASTİK-PLASTİK DAVRANIŞI

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Hüseyin KASAP

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

Yöneten : Prof.Dr. Sadettin ÖKTEN

E.C. MİMAR SİNAN ÜNİVERSİTESİ
DOKTORA TEZİ MERKEZİ

Şubat—1992

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
SEMBOLLER	v
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖZET	xvi
SUMMARY	xviii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1. Problemin Tanımı	1
1.2. İlgili Çalışmalar	3
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
1.4. Çalışmada Geçerli Olan Varsayımlar	14
BÖLÜM 2 ELASTİK ANALİZ	16
2.1. Emniyet Gerilmeleri Yöntemine Göre Boyutlandırma	16
2.2. Eğilmede Çökme-Açıklık (δ -L) ilişkisi	28
2.3. Eğilmede Yük-Çökme-Açıklık (P- δ -L) ilişkisinin Değerlendirilmesi	35
2.4. Eğilmeli Burulmada Çökme-Açıklık (δ -L) ilişkisi	42
2.5. Eğilmeli Burulmada Dönme-Açıklık (θ -L) ve Açık Değişimi- Açıklık (γ -L) ilişkisi	46
2.6. Burulmada Dönme-Açıklık (θ -L) ve Açık Değişimi-Açıklık (γ -L) ilişkisi	53
2.7. Burulmada Çarpılma	59
2.8. Malzeme Miktarı-Açıklık (G-L) ilişkisi	64
2.9. Düzlem Kafes Kiriş Çözümü	67
BÖLÜM 3 ELASTİK-PLASTİK ANALİZ ve GÜÇME YOKU	72
3.1. Elastik-Plastik Analizde İzlenen Yolun Açıklanması	72
3.2. Elastik-Plastik Analiz Sonuçları	76
3.2.1. Eğilmede Elastik-Plastik Analiz Sonuçları	76

	<u>Sayfa</u>
3.2.1.1. Basit Plastik Teori ile Çözüm	95
3.2.2. Eğilmeli Burulmada Elastik-Plastik Analiz Sonuçları ..	99
3.2.3. Burulmada Elastik-Plastik Analiz Sonuçları	113
BÖLÜM 4 GENEL DEĞERLENDİRME	121
4.1. Eğilme Yüklemeesi	121
4.1.1. Elastik Çözüm	121
4.1.1.1. İç Diyagonallerin Etkisi	122
4.1.1.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi	123
4.1.1.3. Dikme Aralığının Etkisi	125
4.1.1.4. Kesit Büyüklüğünün Etkisi	126
4.1.1.5. Mukavemet Çözümleri ile Karşılaştırma	126
4.1.1.6. Düzlem Sistemlerle Karşılaştırma	129
4.1.2. Elastik-Plastik Çözüm	131
4.1.2.1. Basit Plastik Teori ile Karşılaştırma	136
4.2. Eğilmeli Burulma Yüklemeesi	137
4.2.1. Elastik Çözüm	137
4.2.1.1. İç Diyagonallerin Etkisi	139
4.2.1.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi	142
4.2.1.3. Dikme Aralığının Etkisi	145
4.2.1.4. Kesit Büyüklüğünün Etkisi	147
4.2.1.5. Düzlem Sistemlerle Karşılaştırma	149
4.2.2. Elastik-Plastik Analiz	150
4.3. Burulma Yüklemeesi	153
4.3.1. Elastik Çözüm	153
4.3.1.1. İç Diyagonallerin Etkisi	155
4.3.1.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi	156
4.3.1.3. Dikme Aralığının Etkisi	159
4.3.1.4. Kesit Büyüklüğünün Etkisi	161
4.3.2. Elastik-Plastik Analiz	162
4.4. Uzay Kafes Kirişlerde Toplam Malzeme Miktarının Değişimi	165
4.4.1. İç Diyagonallerin Etkisi	166
4.4.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi	167
4.4.3. Dikme Aralığının Etkisi	168
4.4.4. Kesit Büyüklüğünün Etkisi	169

	<u>Sayfa</u>
BÖLÖM 5 SONUÇLAR	171
5.1. Genel Bulgular	171
5.2. İç Diyagonallerin Etkisi	171
5.3. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi	172
5.4. Dikme Aralığının Etkisi	174
5.5. Kesit Büyüklüğünün Etkisi	175
5.6. Karşılaştırmalar	175
KAYNAKLAR	177
BEYAN	179
ÖZGEÇMİŞ	180

S E M B O L L E R

A	Çubuk enkesit alanı
A _{üst} , A _{alt}	Üst ve alt başlık kesit alanları
A _{min}	Üst ve alt başlıktan minimum alanın enkesit alanı
a	Dikme aralığı
b	Uzay kafes kirişin enkesit genişliği
d	Malzemenin özgül ağırlığı
E	Çeliğin elastisite modülü, eğilmenin kısa yazılışı
e	Eksantrisite
Elv. Y.	Elverişsiz yükleme
E. Ç.	Elverişsiz çubuk
G	Uzay kafes kirişte toplam malzeme miktarı. Ağırlık merkezi
G _i	Herbir çubuk grubu için malzeme miktarı
G'	Alanı A _{min} 'e eşit başlık parçasının ağırlık merkezi
G _{Kay.} , G _{Sab.} , G _{Ank.}	Kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerde malzeme miktarı
G _{1/1} , G _{2/1} , G _{2/2}	a/h = 1/1, 2/1, 2/2 olan kirişlerde malzeme miktarı
h	Uzay kafes kirişin enkesit yüksekliği
h _{üst} , h _{alt}	Üst ve alt başlık enkesit ağırlık merkezlerinin sistemin enkesit ağırlık merkezine uzaklıkları
I	Dört adet halka kesitten oluşan sistemin ağırlık merkezinden geçen yatay eksene göre atalet momenti
i	Çubuk atalet yarıçapı
i _ü , i _a	Üst ve alt başlığın atalet yarıçapı
K	Uzay kafes kirişlerde çökme bağıntısındaki katsayı
K'	Dolu gövdeli kirişlerde çökme bağıntısındaki sabit
L	Uzay kafes kirişin açıklığı
L ₁	Çubuk boyu

M_u	Göçmeyi oluşturan moment
m_K, n_K	K bağıntısındaki katsayılar
m_δ, n_δ	Eğilmelerde çökme bağıntısındaki katsayılar
N_{max}	Grup çubuklarda maximum normal kuvvet
N_u'', N_u'''	Göçme anında başlıklarda ve başlık parçalarında oluşan normal kuvvet
n	Bir çubuk grubundaki çubuk sayısı
P	Tekil kuvvet
P_s, P_1, P_u	Servis yükü, ilk akma anındaki ve göçme anındaki yükler
P_i	i. akmayı meydana getiren yük
P_u'	Uzay kafes girişlerde dolu gövdeli giriş varsayımıyla bulunan göçme yükü
P_{UE}, P_{UEB}, P_D	Uzay sistemlerde eğilmekteki, eğilmeli burulmadaki ve düzlem sistemdeki servis yükleri
$P.T.E.$	Plastik tarafsız eksenin yeri
$p_\delta, r_\delta, p_\theta, r_\theta, p_\gamma, r_\gamma$	Eğilmeli burulmada çökme, dönme ve açı değişimi bağıntısındaki katsayılar
X_G	Ağırlık merkezinden geçen yatay eksen
$u_\theta, v_\theta, u_\gamma, v_\gamma, u_\delta, v_\delta$	Burulmada, dönme, açı değişimi ve çarpılma bağıntısındaki katsayılar
z, z''	Manivela kolları
$[D]$	Sistem deplasman matrisi
$[d]_{ix}, [d]_{jx}$	Sistemin eksen takımına göre çubukların i ve j uçlarındaki deplasman matrisleri
$[F]$	Sisteme etkiyen uç kuvvetler matrisi
$[F]_{ix}, [F]_{jx}$	Sistemin eksen takımına göre çubukların i ve j uçlarındaki uç kuvvet matrisleri
$[K]$	Sistemin rijitlik matrisi
$[k]_{ixix}, [k]_{ixjx}$	Sistemin eksen takımına göre çubukların i ve j uçlarındaki birim deplasmandan i ucunda oluşan kuvvet matrisi
$[k]_{jxix}, [k]_{jxjx}$	Sistemin eksen takımına göre çubukların i ve j uçlarındaki birim deplasmandan j ucunda oluşan kuvvet matrisi
γ	Yatay ve dikey eksenler arasındaki açı değişimi
$\gamma_{Kay}, \gamma_{Sab}, \gamma_{Ank}$	Kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerde orta enkesitteki açı değişimi

$\gamma_{1/1}, \gamma_{2/1}, \gamma_{2/2}$	$a/h = 1/1, 2/1, 2/2$ olan sistemlerde orta enkesitteki açı değişimi
Δp	Yük artım miktarı
Δp_i	1. yük artım miktarı
δ'	Orta kesitteki alt kenardaki göçme miktarı
$\delta_{alt}, \delta_{üst}$	Dolu gövdeli kirişlerde orta kesitteki alt kenardaki çökme
$\delta_{iç d. var}$	Sistemlerin orta enkesitlerindeki alt ve üst noktalarındaki çökmeler
$\delta_{iç d. yok}$	İç diyagonalı sistemdeki çökme
$\delta_{Kay.}, \delta_{Sab.}, \delta_{Ank.}$	İç diyagonalsız sistemdeki çökme
$\delta_s, \delta_l, \delta_u$	Kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerdeki orta enkesit alt noktalarındaki çökmeler
$\delta_{sol}, \delta_{sağ}$	Servis yükündeki, ilk akma yükündeki ve göçme yükündeki orta enkesit alt noktadaki çökmeler
δ_x	Orta kesit alt kenar sol ve sağ köşedeki çökme
$\delta_{x,alt,sağ}$	Orta kesitteki yatay deplasman
$\delta_{x,alt,sol}$	Orta kesit sağ alt köşedeki yatay deplasman
$\delta_{x,üst,sağ}$	Orta kesit sol alt köşedeki yatay deplasman
$\delta_{x,üst,sol}$	Orta kesit sağ üst köşedeki yatay deplasman
δ_y	Orta kesit sol üst köşedeki yatay deplasman
$\delta_{y Kay.}, \delta_{y Sab.}$	Çarpılma miktarı
$\delta_{y1/1}, \delta_{y2/1}, \delta_{y2/2}$	Kayıcı ve sabit sistemlerde çarpılma değerleri
δ_z	$a/h = 1/1; 2/1; 2/2$ olan sistemlerdeki çarpılma değerleri
$\delta_{z,alt,sağ}$	Orta kesitteki çökme miktarı
$\delta_{z,alt,sol}$	Orta kesit sağ alt köşedeki düşey deplasman
$\delta_{z,üst,sağ}$	Orta kesit sol alt köşedeki düşey deplasman
$\delta_{z,üst,sol}$	Orta kesit sağ üst köşedeki düşey deplasman
$\delta_{1/1}, \delta_{2/1}, \delta_{2/2}$	Orta kesit sol üst köşedeki düşey deplasman
$\sigma_D \max$	$a/h = 1/1; 2/1; 2/2$ olan sistemlerdeki çökme değerleri
σ_{em}	Düzlem kafes kirişte grup çubuklardaki maximum gerilme
σ_{max}	Emniyet gerilmesi
	Grup çubuklardaki maximum gerilme

$\sigma_{UE \max}, \sigma_{UEB \max}$	Uzay sistemlerdeki eğilme ve eğilmeli burulmada çubuk gruplarında oluşan max gerilme
σ_y	Akma gerilmesi
σ_1	1. akma anında grup çubuklardaki maximum gerilmeler
$\Delta \sigma_1$	1. yük artımında grup çubuklardaki maximum gerilmeler
θ	Dönme miktarı
$\theta_{\bar{u}}, \theta_a$	Orta enkesitin üst ve alt yatay kenarındaki dönme miktarı
θ_y, θ_d	Orta enkesitin yatay ve düşey eksenindeki dönme miktarı
$\theta_s, \theta_1, \theta_u$	Servis yükündeki, ilk akma yükündeki ve göçme yükündeki orta enkesitte yatay eksenindeki dönmeler
$\theta_{sol}, \theta_{sağ}$	Orta enkesitin sol ve sağ düşey kenarındaki dönme miktarı
$\theta_{iç d. var}$	İç diyagonal sistemdeki yatay dönme
$\theta_{iç d. yok}$	İç diyagonalsiz sistemdeki yatay dönme
$\theta_{Kay.}, \theta_{Sab.}, \theta_{Ank.}$	Kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerde yatay eksenindeki dönme miktarı
$\theta_{1/1}, \theta_{2/1}, \theta_{2/2}$	a/h=1/2; 2/1; 2/2 olan sistemlerde yatay eksenindeki dönme miktarı

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. İnce cidarlı kutu kesitli tüp sistem-kutu kesitli uzay kafes sistem benzeşimi	1
1.2. Kare biçimli tübüler uzay kafes kirişlere tipik bir örnek	7
1.3. İç diyagonaller	8
1.4. Mesnetlenme şekilleri	9
1.5. Yükleme durumları	9
1.6. Deplasmanlar ve işaret kabulü	10
1.7. Dönmeler ve işaret kabulü	10
1.8. Açı değişimleri	10
1.9. Çarpılma şekli	11
1.10. Yatay, düşey ve iç diyagonaller	14
1.11. Çeliğin σ - ϵ diyagramı	14
2.1. $L=4m$, $b/h=1/1$, $a=1m$ uzay kafes sistem	17
2.2. $L=4m$, $b/h=1/1$, $a=2m$ uzay kafes sistem	17
2.3. $L=4m$, $b/h=2/2$, $a=2m$ uzay kafes sistem	17
2.4. $L=6m$, $b/h=1/1$, $a=1m$ uzay kafes sistem	18
2.5. $L=8m$, $b/h=1/1$, $a=1m$ uzay kafes sistem	18
2.6. $L=8m$, $b/h=1/1$, $a=2m$ uzay kafes sistem	19
2.7. $L=8m$, $b/h=2/2$, $a=2m$ uzay kafes sistem	19
2.8. $L=12m$, $b/h=1/1$, $a=1m$ uzay kafes sistem	20
2.9. $L=12m$, $b/h=1/1$, $a=2m$ uzay kafes sistem	20
2.10. $L=12m$, $b/h=2/2$, $a=2m$ uzay kafes sistem	21
2.11. Sistemlerin orta kesitinde oluşan deplasmanlar	28
2.12. Eğilmede δ -L (servis yükünde)	34
2.13. Kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerde oluşan çökmeler..	35
2.14. Sadece başlıklardan oluşan sürekli (mafsalsız) çubuk sistemin enkesidi	36
2.15. Eğilmede K-L	37
2.16. Eğilmeli burulmada çökme	42
2.17. Eğilmeli burulmada δ -L ($b/h=1/1$, $a=1m$)	43
2.18. Eğilmeli burulmada δ -L ($b/h=1/1$, $a=2m$)	44
2.19. Eğilmeli burulmada δ -L ($b/h=2/2$, $a=2m$)	45

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.20. Eğilmeli burulmada dönme ve açı değişimi	46
2.21. Orta kesitteki şekil değiştirme örneği	48
2.22. Eğilmeli burulmada θ -L ($b/h=1/1$)	49
2.23. Eğilmeli burulmada θ -L ve γ -L ($b/h=2/2$)	50
2.24. Eğilmeli burulmada γ -L ($b/h=1/1$, $a=1m$)	51
2.25. Eğilmeli burulmada γ -L ($b/h=1/1$, $a=2m$)	52
2.26. Burulmada dönme ve açı değişimi	53
2.27. Burulmada θ -L ($b/h=1/1$, $a=1m$)	54
2.28. Burulmada θ -L ($b/h=1/1$, $a=2m$)	55
2.29. Burulmada θ -L ve γ -L ($b/h=2/2$)	56
2.30. Burulmada γ -L ($b/h=1/1$, $a=1m$)	57
2.31. Burulmada γ -L ($b/h=1/1$, $a=2m$)	58
2.32. Burulmada çarpılma	59
2.33. Burulmada çarpılma örneği	61
2.34. Burulmada $\delta\gamma$ -L (sol mesnet düzleminin üst köşelerinde).	62
2.35. Burulmada $\delta\gamma$ -L (kayıcı sistemlerde alt köşelerde)	63
2.36. Malzeme miktarı-açıklık (G-L) ilişkisi	66
3.1. Eğilmede elastik-elastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $L=4m$, $b/h=1/1$, $a=1m$)	73
3.2. Eğilmede P- δ (elastik-plastik analiz) örneği, (iç diyagonal ankastre, $b/h=1/1$, $a=1m$)	75
3.3. Eğilmede elastik-plastik analiz	76
3.4. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal kayıcı sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	77
3.5. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal sabit sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	78
3.6. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	79
3.7. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	80
3.8. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal kayıcı sistem, $L=8m$, $a=2m$)	81
3.9. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal sabit sistem, $L=8m$, $a=2m$)	82
3.10. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $L=8m$, $a=2m$)	83
3.11. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $L=8m$, $a=2m$)	84

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.12. Eğilmede P- δ (elastik-plastik analiz) iç diyagonal kayıcı, $b/h=1/1$, $a=1m$	90
3.13. Eğilmede P- δ (elastik-plastik analiz) iç diyagonal sabit, $b/h=1/1$, $a=1m$	91
3.14. Eğilmede P- δ (elastik-plastik analiz) ankastre, $b/h=1/1$, $a=1m$	92
3.15. Eğilmede P- δ (elastik-plastik analiz) iç diyagonal, $L=8m$	93
3.16. Eğilmede P- δ (elastik-plastik analiz) ankastre, $L=8m$..	94
3.17. Diyagonalsiz, mafsalsız sürekli sistemin plastik analizi	95
3.18. Kayıcı, sabit ve ankastre kirişlerde moment diyagramları	96
3.19. Eğilmeli burulmada elastik-plastik analiz	99
3.20. Eğilmeli burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	100
3.21. Eğilmeli burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonal- siz ankastre sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	101
3.22. Eğilmeli burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $L=8m$, $a=2m$)	102
3.23. Eğilmeli burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonal- siz ankastre sistem, $L=8m$, $a=2m$)	103
3.24. Eğilmeli burulmada P- δ (elastik-plastik analiz) $b/h=1/1$, $a=1m$	109
3.25. Eğilmeli burulmada P- δ (elastik-plastik analiz) $L=8m$..	110
3.26. Eğilmeli burulmada P- θ , P- γ (elastik-plastik analiz) $b/h=1/1$, $a=1m$	111
3.27. Eğilmeli burulmada P- θ , P- γ (elastik-plastik analiz) ($L=8m$)	112
3.28. Burulmada elastik-plastik analiz	113
3.29. Burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	114
3.30. Burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonalsiz ankastre sistem, $b/h=1/1$, $a=1m$)	115
3.31. Burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonal ankastre sistem, $L=8m$, $a=2m$)	116
3.32. Burulmada elastik-plastik analiz (iç diyagonalsiz an- kastre sistem, $L=8m$, $a=2m$)	117
3.33. Burulmada P- θ (elastik-plastik analiz) $b/h=1/1$, $h=1m$.	118
3.34. Burulmada P- θ , P- γ (elastik-plastik analiz) $L=8m$	119

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.35. Burulmada P- γ (elastik-plastik analiz) $b/h=1/1$, $h=1m..$	120
4.1. Eğilmeli yüklemesi ve δ -L ilişkisi	121
4.2. Eğilmede K-L ilişkisi	127
4.3. Eğilmede P_{UE}/P_D -L ilişkisi	131
4.4. Eğilmede P- δ ilişkisi	131
4.5. Eğilmeli burulma yüklemesi	138
4.6. Eğilmeli burulmada δ -L, θ -L ve γ -L ilişkisi	138
4.7. Burulma yüklemesi	154
4.8. Burulmada θ -L, γ -L ve δ_y -L ilişkisi	154
4.9. Malzeme miktarı-açıklık (G-L) ilişkisi	165

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>		<u>Sayfa</u>
1.1.	İnceleme programı	2
2.1.	Boyutlandırma Örneği.....	22
2.2.	Boyutlandırma Sonuçları (L=4m, b/h=1/1).....	23
2.3.	Boyutlandırma Sonuçları (L=8m, b/h=1/1).....	24
2.4.	Boyutlandırma Sonuçları (L=12m, b/h=1/1).....	25
2.5.	Boyutlandırma Sonuçları (L=4m, 8, b/h=2/2)	26
2.6.	Boyutlandırma Sonuçları (L=12m, b/h=2/2) ve (L=6m, b/h=1/1)	27
2.7.	$P_S = 120$ kN için orta kesitteki deplasman, dönme ve açı değişimleri (L=4m, b/h=1/1)	29
2.8.	$P_S = 120$ kN için orta kesitteki deplasman, dönme ve açı değişimleri (L=8m, b/h=1/1)	30
2.9.	$P_S = 120$ kN için orta kesitteki deplasman, dönme ve açı değişimleri (L=12m, b/h=1/1)	31
2.10.	$P_S = 120$ kN için orta kesitteki deplasman, dönme ve açı değişimleri (L=4m, 8m, b/h=2/2)	32
2.11.	$P_S = 120$ kN için orta kesitteki deplasman, dönme ve açı değişimleri (L=12m, b/h=2/2 ve L=6m, b/h=1/1)	33
2.12.	$P_S = 120$ kN için eğilme yüklemesinde orta kesit alt kenardaki deplasmanların karşılaştırılması (L=4m)	38
2.13.	$P_S = 120$ kN için eğilme yüklemesinde orta kesit alt kenardaki deplasmanların karşılaştırılması (L=6m)	39
2.14.	$P_S = 120$ kN için eğilme yüklemesinde orta kesit alt kenardaki deplasmanların karşılaştırılması (L=8m)	40
2.15.	$P_S = 120$ kN için eğilme yüklemesinde orta kesit alt kenardaki deplasmanların karşılaştırılması (L=12m)	41
2.16.	Burulma yüklemesinde $P_S = 120$ kN için çarpılma değerleri	60
2.17.	Ağırlık hesabında kullanılacak malzeme miktarı	65
2.18.	İç diyagonalli uzay sistemlerle düzlem sistemlerin karşılaştırılması (L=4m)	68
2.19.	İç diyagonalli uzay sistemlerle düzlem sistemlerin karşılaştırılması (L=6m)	69
2.20.	İç diyagonalli uzay sistemlerle düzlem sistemlerin karşılaştırılması (L=8m)	70
2.21.	İç diyagonalli uzay sistemlerle düzlem sistemlerin karşılaştırılması (L=12m)	71

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Eğilmede elastik-plastik analiz örneği	74
3.2. Akma anlarındaki yük kapasiteleri (t) ve orta kesitteki deplasmanlar (L=4m, b/h=1/1, a=1m)	85
3.3. Akma anlarındaki yük kapasiteleri (t) ve orta kesitteki deplasmanlar (L=8m, b/h=1/1, a=1m)	86
3.4. Akma anlarındaki yük kapasiteleri (t) ve orta kesitteki deplasmanlar (L=8m, b/h=1/1, a=2m)	87
3.5. Akma anlarındaki yük kapasiteleri (t) ve orta kesitteki deplasmanlar (L=8m, b/h=2/2, a=2m)	88
3.6. Akma anlarındaki yük kapasiteleri (t) ve orta kesitteki deplasmanlar (L=12m, b/h=1/1, a=1m)	89
3.7. Eğilme yüklemesine göre farklı çözümlerdeki yük kapasiteleri ve oranları	98
3.8. Akma anlarında orta kesitteki deplasman, dönme ve açışişimleri (L=4m, b/h=1/1, a=1m)	104
3.9. Akma anlarında orta kesitteki deplasman, dönme ve açışişimleri (L=8m, b/h=1/1, a=1m)	105
3.10. Akma anlarında orta kesitteki deplasman, dönme ve açışişimleri (L=8m, b/h=1/1, a=2m)	106
3.11. Akma anlarında orta kesitteki deplasman, dönme ve açışişimleri (L=8m, b/h=2/2, a=2m)	107
3.12. Akma anlarında orta kesitteki deplasman, dönme ve açışişimleri (L=12m, b/h=1/1, a=1m)	108
4.1. m_{δ} ; n_{δ} değerleri (eğilmede)	122
4.2. $\delta_{iç}$ d. var/ $\delta_{iç}$ d. yok (eğilmede)	123
4.3. Mesnetlenme durumlarının etkisi (eğilmede)	124
4.4. $\delta_{2/1}/\delta_{1/1}$ oranları (eğilmede)	125
4.5. $\delta_{2/2}/\delta_{2/1}$ oranları (eğilmede)	126
4.6. m_k ; n_k değerleri b/h=1/1, a=1m	127
4.7. δ/δ' oranları	128
4.8. Eğilmede uzay ve düzlem sistemlerin karşılaştırılması..	130
4.9. P ve δ oranları, b/h=1/1, a=1m (eğilmede)	132
4.10. P ve δ oranları, L=8m (eğilmede)	134
4.11. P_u/P'_u oranları	136
4.12. $p_{\delta};r_{\delta}$ değerleri (eğilmeli burulmada)	139
4.13. $p_{\theta};r_{\theta}$ ve $p_{\gamma};r_{\gamma}$ değerleri (eğilmeli burulmada)	139
4.14. δ_{sol} iç d. var/ δ_{sol} iç d. yok (eğilmeli burulmada)	140
4.15. $\theta_{iç}$ d. var/ $\theta_{iç}$ d. yok (eğilmeli burulmada)	140

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
4.16. $\delta_{sağ}/\delta_{sol}$ (eğilmeli burulmada, iç diyagonalı sistemlerde)	141
4.17. Eğilmeli burulmada δ oranları	142
4.18. Eğilmeli burulmada θ oranları	143
4.19. Eğilmeli burulmada γ oranları	144
4.20. $\delta_{sol\ 2/1}/\delta_{sol\ 1/1}$ oranları (eğilmeli burulmada)	145
4.21. $\theta_{2/1}/\theta_{1/1}$ oranları (eğilmeli burulmada)	146
4.22. $\gamma_{2/1}/\gamma_{1/1}$ oranları (eğilmeli burulmada).....	146
4.23. $\delta_{sol\ 2/2}/\delta_{sol\ 2/1}$ oranları (eğilmeli burulmada)	147
4.24. $\theta_{2/2}/\theta_{2/1}$ oranları (eğilmeli burulmada)	148
4.25. $\gamma_{2/2}/\gamma_{2/1}$ oranları (eğilmeli burulmada)	149
4.26. Eğilmeli burulmada uzay ve düzlem sistemlerin karşılaştırılması	149
4.27. p , δ ve θ oranları, ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1m$ (eğilmeli burulmada)	151
4.28. p , δ ve θ oranları, ankastre, $L = 8m$ (eğilmeli burulmada)	152
4.29. $u_{\theta};v_{\theta}$ ve $u_{\gamma};v_{\gamma}$ değerleri (burulmada)	155
4.30. $u_{\delta y};v_{\delta y}$ değerleri, iç diyagonal yok (burulmada)	155
4.31. $\theta_{iç\ d.\ var}/\theta_{iç\ d.\ yok}$ (burulmada)	156
4.32. Burulmada θ oranları	157
4.33. Burulmada γ oranları	158
4.34. İç diyagonalsiz sistemlerde $\delta_{ysab}/\delta_{ykay}$ (burulmada) ...	159
4.35. $\theta_{2/1}/\theta_{1/1}$ oranları (burulmada)	159
4.36. $\gamma_{2/1}/\gamma_{1/1}$ oranları (burulmada)	160
4.37. $\delta_{y2/1}/\delta_{y1/1}$ oranları (iç diyagonal yok)	160
4.38. $\theta_{2/2}/\theta_{2/1}$ oranları (burulmada)	161
4.39. $\gamma_{2/2}/\gamma_{2/1}$ oranları (burulmada)	162
4.40. $\delta_{y2/2}/\delta_{y2/1}$ oranları (iç diyagonal yok)	162
4.41. p ve θ oranları, ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1m$ (burulmada)..	163
4.42. p ve θ oranları, ankastre, $L = 8m$ (burulmada)	164
4.43. $a;b$ değerleri	165
4.44. $G_{iç\ d.\ var}/G_{iç\ d.\ yok}$	166
4.45. Malzeme miktarı üzerinde mesnetlenme durumlarının etkisi	167
4.46. $G_{2/1}/G_{1/1}$ oranları	168
4.47. $G_{2/2}/G_{2/1}$ oranları	169

Ö Z E T

Bu çalışmada halka kesitli çubuklardan oluşan, kare biçimli tübüler uzay kafes kirişlerin elastik ve elastik-plastik analizi yapılmıştır. Çalışmanın amacı sözü edilen kirişlerin davranışı hakkında bilgi edinmek ve uzun hesaplar yapmaksızın pratikte hemen kullanılacak veriler elde etmektir. Ayrıca bu bilgiler uzay kafes kiriş olarak idealleştirilebilen ince cidarlı çubukların davranışının anlaşılmasında da yararlı olacaktır.

Tezin birinci bölümünde problemin tanımı, konu ile ilgili çalışmalar, amaç, kapsam ve varsayımlar belirtilmiştir. Tübüler uzay kafes kiriş, değişken tek açıklıklı ve kare kesitli olarak seçilmiş orta noktalarından eğilme, burulma ve eğilmeli burulma oluşacak biçimlerde ayrı ayrı düşey yüklerle yüklenmiştir. İncelemede uzay kafes kirişlerin enkesitlerinde iç diyagonallerin bulunup bulunmaması, kayıcı, sabit, ankastre mesnetlenme durumları ile dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün değişimi dikkate alınmıştır. Çalışma tanımlanan bu model ile sınırlı tutulmuştur.

İkinci bölümde, birinci bölümde tanımlanan bütün uzay kafes kirişler, yukarıda sözü edilen üç ayrı yükleme durumu için aynı servis yüklerinin etkisi altında, emniyet gerilmesi yöntemine göre çubukları halka kesitli olarak boyutlandırılmışlardır. Boyutlandırmada her çubuk grubunda $\sigma_{max} \cong \sigma_{em}$ olması sağlanarak bir dereceye kadar optimizasyona gidilmiştir. Bu şekilde boyutlandırılan uzay kafes kirişlerin servis yükü düzeyindeki çökme, dönme, açı değişimi (distorsiyon) ve çarpılma değerleri elde edilmiştir. Bu değerlere göre sözü edilen kirişlere ait çökme-açıklık, dönme-açıklık, açı değişimi-açıklık ve çarpılma-açıklık eğrileri çizilmiştir. Ayrıca boyutlandırmada elde edilen sonuçlara göre uzay kafes kirişler için gerekli toplam malzeme miktarları hesaplanarak malzeme miktarı-açıklık eğrileri de elde edilmiştir. Eğilmede, uzay kafes kirişlerin gerçek çökmelerinin, mukavemet formülleri ve dolu gövdeli kiriş varsayımıyla elde edilen çökmelerle karşılaştırılması yapılmış ve uzay kafes kirişlerde çökme

için mukavemettekine benzer bir bağıntı önerilmiştir. Dolu gövdeli kirişler için mukavemette çökme bağıntısındaki katsayı sabit iken uzay kafes kirişler için bu katsayı açıklığa bağlı bir değişken olmaktadır. Ayrıca uzay sistemlerle düzlem sistemleri karşılaştırmak için uzay kirişlerin düşey yan düzlemleri, çubuk enkesitleri değiştirmeksizin düzlem kafes kiriş gibi alınmış ve bunlara ait servis yükleri ve orta noktadaki çökmeleri bulunmuştur.

Üçüncü bölümde uzay kafes kirişlerin yük artımı yöntemiyle elastik-plastik analizi yapılmıştır. Servis yükleri arttırılarak sistemde ilk akma ($\sigma_1 \cong \sigma_y$) elde edilmiştir. Sistemden ilk akan çubuk veya çubuklar çıkarılarak sistem tekrar sıfırdan itibaren yüklenmiş, bu aşamadaki gerilme ile bir önceki gerilmenin toplamı akmaya ulaşan ($\sigma_1 + \Delta\sigma_1 \cong \sigma_y$) çubuk veya çubuklar sistemden çıkarılmış ve sistem tekrar sıfırdan itibaren yüklenerek bu işlem tekrarlanmıştır. Böylece göçme yüküne kadar ulaşılmış ve uzay kafes kirişlere ait yük-çökme, yük-dönme ve yük-açı değişimi eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca incelenen uzay kafes kirişlerin eğilmede; basit plastik teori ve dolu gövdeli kiriş varsayımıyla taşıma güçleri yeniden hesaplanmış ve bu değerler gerçek taşıma güçleri ile karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde; ikinci ve üçüncü bölümlerde elde edilen sonuçların genel değerlendirmesi yapılmıştır. Elastik analizde kirişlerin çökmesi, dönmesi, açı değişimi, çarpılması ve toplam malzeme miktarı üzerinde açıklığın, iç diyagonalin, mesnetlenme durumunun, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkileri araştırılmıştır. Elastik-plastik analizde ise adı geçen bu etkilerin kirişlerin gerçek güvenliğini, sünekliğini ve dönme yeteneğini nasıl değiştirdiği incelenmiştir. Uzay sistemlerin düzlem sistemlere göre yararı ve bu yararın; açıklığa, mesnetlenme durumuna, dikme aralığına ve kesit büyüklüğüne göre değişimi incelenmiştir. Ayrıca uzay kafes kirişlerde servis yükünde çökme, dönme, açı değişimi ve çarpılma değerleri ile toplam malzeme miktarları için açıklığa bağlı bağıntılar verilmiştir.

Beşinci bölümde ise, bu çalışmadan elde edilen sonuçlar topluca sunulmuş ve uzay kafes kirişlerin özellikleri ve davranışı ile ilgili bilgiler özetlenmiştir.

SUMMARY

In this thesis elastic and elastic-plastic analysis of tubular square space trusses consist of the bars with hollow cross section have been carried out. The main purpose of study is to obtain information useful in practice without making long calculations, and also to gain detailed informations on the behaviour of the mentioned systems in elastic region and elastic-plastic region as well. Besides, this kind of information will also be beneficial in understanding of behaviour of thin-walled box beams which can be idealized as tubular space trusses.

In the first chapter, the definition of the problem, related works, the purpose and scope of the study and finally the assumptions have been declared. Tubular truss model has been specified as of square cross section and variable single span. It has been subjected to the different loading systems at the middle points of space trusses in order to produce bending, torsion and torsional flexure which effects independently. The effects of changing the vertical bar spacing, the cross-section and inner diagonals which strengthen the cross section and the different support conditions (rolled, hinged and fixed supports) are also examined. These are the limits of the problem investigated in the thesis.

In the second chapter, the space trusses defined in the first chapter have been proportioned for three loading cases mentioned above under same the service loads using allowable stress method. The shape of bar cross sections has been chosen as hollow circular sections. In the proportioning procedure axial stresses in the groups of bars have been moreless equalized to the allowable stress, so ($\sigma \cong \sigma_y$) a limited extent of optimisation has also been realized in design. The space trusses designed in this way have been analyzed under service loads to get deflection, rotation, distortion and warping amounts. Using these amounts the curves depicting the relations between span-deflection, rotation, distortion and warping have been

drawn. Furthermore, considering the results of design procedure, the total amount of material has been computed and span-amount of material curves have been presented. In bending, real deflections of space trusses are compared with those obtained from the formula of strength of materials by assuming the truss as a solid beam. For the deflection in space truss, it is suggested a relationship similar to that used in the strength of materials (The coefficient in deflection relationship of space truss is being a variable while the corresponding coefficient in solid beam solution is a constant). Further, for comparison of space truss and planar truss, the bars in vertical planes of space trusses in both sides are not changed as though they are plane trusses, service loads and deflections at the middle points of these trusses are found.

In the third chapter, the elastic-plastic analysis of space trusses have been performed using load increment technique. Here, the service loads have been increased to reach the first yielding in the system ($\sigma_1 = \sigma_y$). The first yielded bar has been taken out from the system, and the new system has been loaded again from zero to a certain value. At this load level the incremental axial stress plus axial stress existed in the previous step in a specified bar may arrive the yield level ($\Delta\sigma_1 + \sigma_1 \cong \sigma_y$). And then this bar has also been vanished and loading is applied from zero. Repeating this procedure, the failure load of space truss has been computed after adequate steps. So, the load-deflection, rotation and distortion curves have been drawn for investigated space trusses. Besides, load carrying capacity of space trusses studied, in bending, are recalculated by the assumption of the truss with solid body using simple plastic theory, and the results obtained from this calculations are compared with real load carrying capacity.

In the fourth chapter, the results obtained in the second and third chapters are assessed in general. In the elastic analysis, effects of variable span, existence of inner diagonals, different support conditions, vertical bar spacings and cross sections on deflection, rotation, distortion, warping and total amount of material of

the space truss are examined. And, in elastic-plastic analysis, it is studied that how the effects mentioned above change real safety, ductility, rotation capability of the truss. Advantage of space truss relative to planar truss and the changing of this advantage with respect to span, support conditions, vertical bar spacing and cross-section are studied. In addition, in space truss for the service load, relationships span versus deflection, rotation, distortion, warping and total amount of material are given.

In the last, fifth, chapter the results arrived in this work have been summarized. Some informations about properties and behavior of space trusses have been presented.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

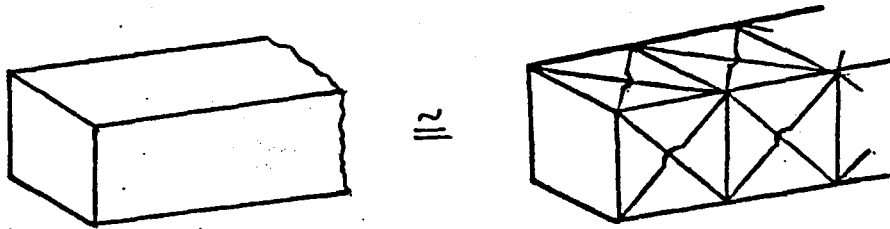
1.1. Problemin Tanımı

Uzay kafes sistemler çağımızda gelişmekte ve gündemde olan bir konudur. Bugün teknolojiye çok yaygın olarak kullanılmakta olan bu sistemler, binalarda, endüstri tesislerinde, karayolu ve demiryolu köprülerinde, anten direklerinde, enerji nakil hatlarında, büyük vinçlerde, açık deniz platformlarında ve uzay yapılarında geniş uygulama alanı bulmuştur [7]; [8]; [25].

Uzay kafes kirişlerde, düzlem kafes kirişlere ve dolu gövdeli kirişlere göre daha küçük kesitlerle daha az malzeme kullanarak daha büyük açıklıkların geçilmesi mümkün olmaktadır.

Uzay kafes kirişlerin düzlem kafes kirişlere ve dolu gövdeli kirişlere göre daha yüksek dayanımlı ve hafif oluşu tercih edilmesinin nedenlerindedir.

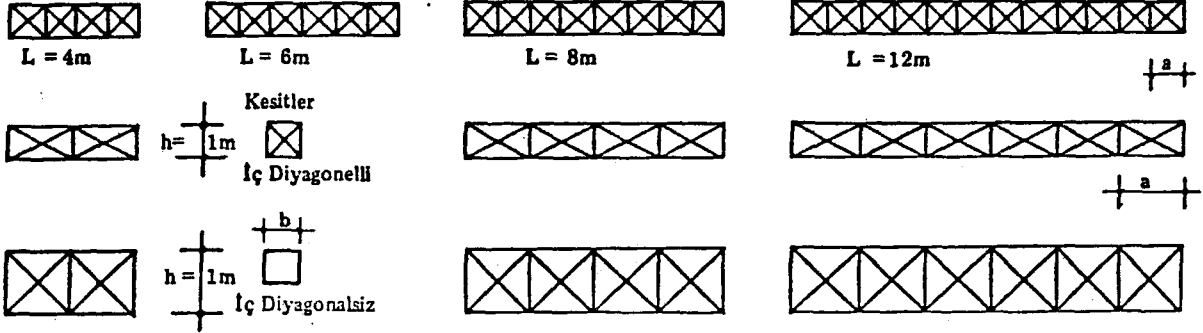
Uzay kafes kirişler, ince cidarlı çubukların uzay kafes kiriş olarak modellenerek çözümünde de karşımıza çıkmaktadır [16]. İnce cidarlı çubuklara benzeyen uzay kafes kirişler üretilip bunlar incelendiğinde hem uzay kafes kirişler hem de ince cidarlı çubuklar hakkında bilgi sahibi olunabilir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1.

Bu çalışmada bu düşüncelerden hareket edilmek suretiyle aşağıda Tablo 1.1 de verilen program dahilinde halka kesitli çubuklardan oluşan kare biçimli tübüler uzay kafes kirişlerin davranışı incelenmiştir.

Tablo :1.1. İnceleme Programı



Çözüm Şekli	L m	b/h m/m	a m	Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	Yükleme Durumu	İncelenen Konular		
Elastik	4 6 8 12	1/1	1	Kayıcı	Var	Eğilme	Orta kesitteki çökme, dönme ve açı değişimi ve bunların değişimi Burulmada mesnet düzlemlerinde ve orta kesitteki çarpılma değerleri ve bunların değişimi Toplam malzeme miktarlarının değişimi Düzlem sistemlerle karşılaştırma Eğilmelerde, çökmelerin mukavemet çözümleriyle karşılaştırılması		
								Sabit	Eğilmeli Burulma
				Ankastre		Burulma			
								4 8 12	1/1 2/2
	Elastik-Plastik	4 8 12	1/1	1	Kayıcı	Var		Eğilme	Göçme yüklerinin elde edilmesi Orta kesitteki yük-çökme, yük-dönme, ve yük-açı değişimi diyagramlarının elde edilmesi Gerçek güvenlik ve değişimi Süneklik ve dönme yetenekleri ve bunların değişimi Eğilmelerde gerçek taşıma güçlerinin, basit plastik teori yardımıyla elde edilen değerlerle karşılaştırılması.
					Sabit				
Ankastre					Burulma				
							4 8	1/1 2/2	
Kayıcı		Var	Eğilme						
Sabit				Eğilmeli Burulma					
Ankastre			Burulma						
				4 8	1/1 2/2	1 2			
Kayıcı		Var	Eğilme						
Sabit				Eğilmeli Burulma					
Ankastre			Burulma						
				4 8	1/1 2/2	1 2			
Kayıcı	Var	Eğilme							
Sabit			Eğilmeli Burulma						
Ankastre		Burulma							
			4 8	1/1 2/2	1 2				
Kayıcı	Var	Eğilme							
Sabit			Eğilmeli Burulma						
Ankastre		Burulma							

1.2. İlgili Çalışmalar

Avent ve Issa tarafından çapraz diyagonalli kafes kirişlerin birim deplasman sabitleri bulunmuştur. Bunlar lineer elastik kiriş analizlerinde kesin sonuçlar vermektedir. Bu birim deplasman sabitleri yaklaşık çözümlerle karşılaştırıldığında belli açıklık değerleri için %100'e varan değişiklik görülmüştür. Bu birim deplasman sabitleri kullanılarak bir sistemin içinde yer alan çapraz diyagonalli kafes kiriş, dolu gövdeli gibi alınabilir. Çapraz diyagonalli kafes kiriş ile dolu gövdeli kiriş varsayımıyla elde edilen kirişin karşılaştırılması da yapılmıştır. | 2 |.

Durfee tarafından 1987'de özellikle otoyol köprü kirişleri için üçgen kesitli uzay kafes kirişlerin lineer elastik analizi yapılmıştır. Çubuklar gruplandırılmış ve en az ağırlık kriterine göre ardışık çözümlerle $\sigma_{max} \cong \sigma_{em}$ olacak şekilde boyutlandırma yapılarak bir dereceye kadar optimizasyona gidilmiştir. | 7 |.

Haroun ve Shepherd tarafından 1986'da çapraz (x) diyagonalli elemanların histeretik davranışının belirlenmesini sağlayan bir sayısal işlem anlatılmıştır. Burkulma ve akmayı içeren yük-yerdeğiştirme şartlarına karşı gelen farklı durumları göz önüne alarak aksel yükler ve deformasyonlar arasındaki ilişkiler hesaplanmıştır. Diyagonal elemanları temsili olarak elastik rijit bağlı düzlem çerçevelerle birleştirilerek deprem şartlarında diyagonallerin dış yük direncine katkısı nümerik integrasyon teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Diyagonallen sistemlerde hem yer değiştirmeler hem de ana çerçevede doğan yükler, diyagonalli olmayan eşdeğer yapıya göre daha az olduğu gösterilmiştir | 9 |.

Issa ve Avent | 11 | tarafından parçacık alan analizi teknikleri bir sınıf boyuna yönelmiş uzay kafes kirişleri analiz etmek için kullanılmıştır. Üçgen kesitli uzay kafes kirişin yüzeylerini teşkil eden üç düzlem kafes kirişten üç tip konfigürasyon ele alınmıştır. (1) çapraz diyagonalli; (2) Warren tipi diyagonalli; ve (3) Vierendeel tipi kirişli. Burada kullanılan yaklaşım süper eleman olarak panellerin keyfi bir sayısı üzerinde, düzenli tekrarlanabilir özelliklere sahip

kafes kiriş parçasını ele almaktır. Yukarıda belirtilen üç kafes konfigürasyonunun her biri için fark denklemleri çıkarılmış ve sonlu fark serileri kullanılarak çökmeler bulunmuş ve bu çözümlere dayanarak rijitlik katsayıları çıkarılmıştır.

Kırgız, kafes sistemler üzerindeki çevre koşullarını dikkate alarak statik analiz yapan bir bilgisayar programı yazmış, optimizasyon ve grafik teknikleri uygulamış, düzlem ve uzay kafes sistemlerin karşılaştırılmasını örnek yapı üzerinde yapmıştır | 12 | .

Kirsch | 13 | tarafından, kuvvet yöntemi analizinin formüle edildiği farzedilerek kafes sistemlerin optimal tasarımı üzerindeki uygunluk şartlarının etkisi incelenmiştir. Tek bir yükleme durumunun etkisinde kalan yapılar için lineer programlama alt sınır çözümünün son optimum çözüm olduğu gösterilmiştir. Ayrıca belirli şartlar altında değişik yüklemeler için farklı gruplardaki önerilme kuvvetleri tatbik etmek suretiyle lineer programlamada uygunluk durumlarının sağlanabildiği gösterilmiştir.

Krpan ve Collins | 14 | tarafından burulma yüklemesine maruz, ince cidarlı açık, betonarme yapıların yük-deformasyon davranışının belirlenmesinin mümkün olduğu, betonun çatlayacağı, burulma momentinin makul bir hassasiyetle belirlenebilmesinin mümkün olduğu, transvers çeliğin iki ayağındaki zorlanmaları hassas olarak belirlemek için, çarpılma burulması ve dairesel burulma arasındaki etkileşimi göz önüne alınmanın gerekli olduğu, boyuna donatıların şekildeğişmeler değişimi belirlenebilir, fakat cidar kalınlığına dik doğrultuda boyuna şekil değiştirme değişiminin belirlenmesinin daha zor olduğu gösterilmektedir.

McCallen ve Romstad tarafından kiriş benzeri hücreli yapıların nonlineer analizi için eşdeğer basit bir sürekli ortam modeli geliştirilmiştir | 15 | . Sürekli ortam modeli için sayısal çözümler elde etmek üzere ortam, sonlu elemanlara ayrılmıştır. Hücreli yapının sonlu eleman sonuçlarının karşılaştırılmasından sürekli ortam metodolojisinin hem stabil hem de dinamik problemler için hassasiyeti gösterilmiştir.

Megson | 16 | da ince cidarlı yapı konstrüksiyonlarının prensiplerini, çubuk sistem ve kafes sistem olarak idealleştirme esaslarını, eğilmeye ait genel mühendislik teorisini, açık ve kapalı kesitli kirişlerde kesme ve burulma hesabını, yapı idealleştirmesinin etkisini, birim yük metoduyla çökmelerin tayinini vermiştir. Ayrıca ince cidarlı çok gözlü kesitlerin hesabını vermiş ve aksenal kuvvetin etkisini incelemiştir.

Miura ve Furuya tarafından uzay uygulamaları için geometrisi değişebilen kafes sistemler (adaptif yapılar) araştırılmıştır | 17 |.

Noor ve Peters tarafından bileşik yükler etkisindeki malzeme ve geometri yönünden nonlineer olan uzay kafes kirişler için indirgeme metodları ve hesaplama işlemleri sunulmuştur | 18 |.

Onoda tarafından iki boyutlu açılabilir kafes kiriş yapılarının iki çeşidi sunulmuştur | 19 |. Bunlardan biri, bazı elemanlarının uzamasıyla katlanabilen değişken uzunluklu diyagonal elemanlı VDF kafes kiriştir. Diğeri de düğüm noktalarının kaymasıyla katlanabilen kayan mafsallı çift kat SHDF kafes kiriştir.

Renton tarafından uzay kafes kirişlerin tüm elastik davranışını belirlemek için genel bir yaklaşım geliştirilmiştir | 21 |. Bu kafes çubuklarının matris denklemlerini uygun bir cebirsel formda toplayarak ve onları incelenen kafesin sonlu farklar denklemini kurmak için kullanarak yapılmıştır. Bu denklemlerin homojen formunun karakteristik çözümleri basit polinom fonksiyonlar cinsinden bulunmuştur.

Schmidt ve Hanaor tarafından uzay kafes kirişlerin limit yükler altındaki davranışı araştırılmış ve fazla bağlı sistemlerin göçmesi incelenmiştir | 22 |.

Sheu ve Schmit tarafından çok sayıda statik yükleme altında fazla bağlı elastik kafes kirişlerin minimum ağırlık tasarımı yapılmıştır | 23 |. Ana bir konfigürasyondan çeşitli eleman kombinasyonlarının çıkarılmasıyla elde edilen bir alt küme konfigürasyonlarından elde edilen minimum ağırlıklı bir kafes kirişin otomatik olarak seçimini yapan

bir yöntem sunulmuştur.

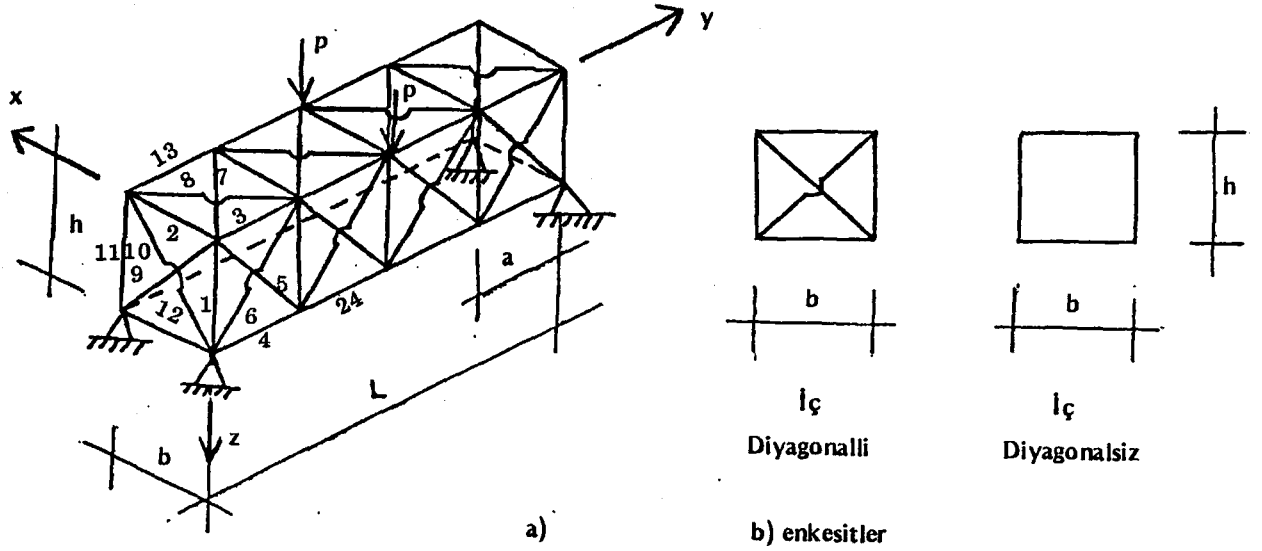
Smith tarafından çift tabakalı ızgara uzay kafes sistemlerde bir ya da birkaç çubuğun taşıma gücünü yitirmesiyle ortaya çıkan ardışık göçme olayı incelenmiştir [24]. Sistemde bulunan kritik bir çubuğun akması ya da burkulması sonucu yerel olarak başlayan göçme umulmadık bir biçimde süratle yayılıp tüm sistemin göçmesine neden olduğundan basınç elemanları ve kolon çizgisini ve kolon çizgisi boyunca diyagonal elemanlarının tedrici göçmeye direncini arttırmak için halen kullanılmakta olan emniyet faktörlerinden daha yüksek faktörler (özellikle açıklık ortasında) önerilmiştir.

Reinhold, Tieleman ve Maher tarafından artan ihtiyaçlar yüzünden kullanım hacmi yetersiz fakat sağlam bir yapının yanına, aynı tipte ikinci bir yapı yapılması durumunda, bu iki yapı arasındaki optimum mesafe araştırılmıştır. Araştırmada ağır ve yüzeysel bir kafes giriş modeli kullanılmıştır. Kafes giriş modeline ek olarak 3/1 genişlik-derinlik oranında basit bir kutu girişi görevi yapan bir dikdörtgen eleman, dolu gövdeli elemanın etkisini belirlemek için benzer koşullar altında test edilmiştir [20].

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, kare biçimli tübüler uzay kafes girişlerin aşağıda belirtilen üç ayrı yükleme durumunun etkisi altında elastik ve elastik-plastik analizdeki davranışlarının belirlenmesidir.

İncelenen uzay kafes girişlere ait tipik bir örnek, Şekil 1.2 de verilmiş, şekil üzerinde koordinat eksenleri, geometrik ölçüler ve yükler gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi giriş eksenine dik yatay eksen x , yatay giriş eksenine y , giriş eksenine dik düşey eksen z ile adlandırılmıştır.



Şekil 1.2

İncelenen kafes kirişin geometrisi:

Açıklık : $L = 4m; 6m; 8m; 12m$

Sistemin kesiti: $b/h = 1m/1m; 2m/2m$

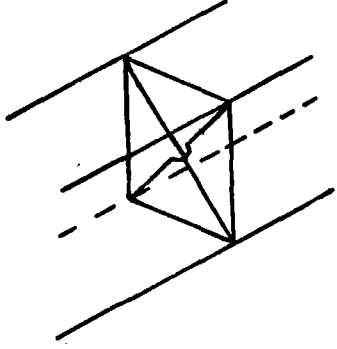
Dikme aralığı : $a = 1m; 2m$

olarak seçilmiştir.

Uzay kafes kiriş, grup çubuklardan meydana gelmektedir [7]. Bunlar;
 Dikmeler (1, 11, ... no.lu çubuklar),
 Enlemeler (2, 12, ... no.lu çubuklar),
 Üst başlıklar (3, 13, ... no.lu çubuklar),
 Alt başlıklar (4, 14, ... no.lu çubuklar),
 Düşey diyagonaller (5, 15, ... ve 6, 16, ... no.lu çubuklar),
 Yatay diyagonaller (7, 17, ... ve 8, 18, ... no.lu çubuklar),
 İç diyagonaller (9, 19, ... ve 10, 20, ... no.lu çubuklar) dır.

Uzay kafes kirişin çubukları halka kesit olarak seçilmiştir.
 Çubuklarda kullanılan malzeme, St 37 çeliğidir.

Uzay kafes kirişlerin enkesitlerinde iç diyagonaller bulunup bulunmaması durumları ayrı ayrı dikkate alınmıştır. İç diyagonaller kirişlerin enkesitlerinde, birbirlerinden bağımsız çapraz olarak bulunurlar (Şekil 1.3) | 20 |.



Şekil 1.3

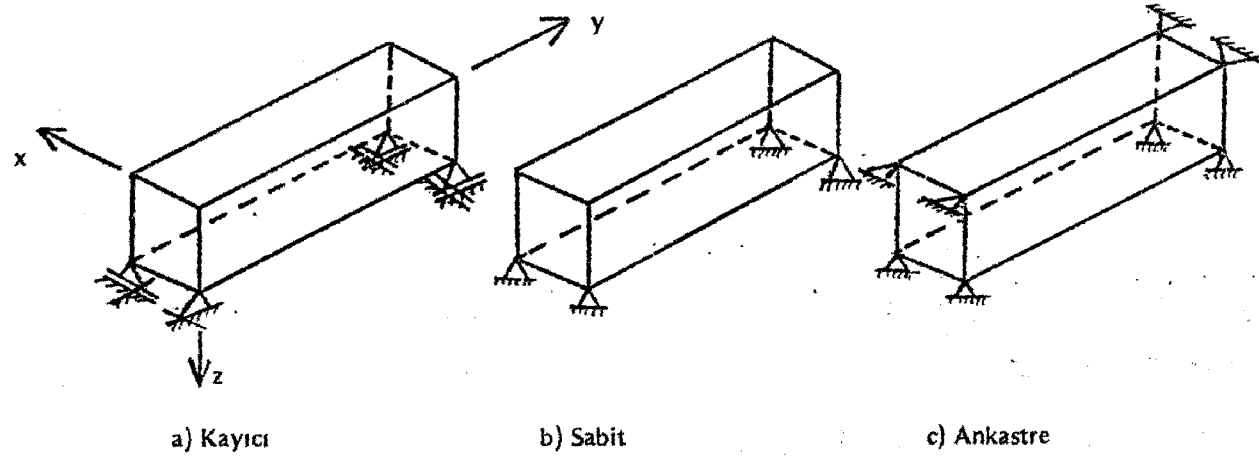
Uzay kafes kirişin Şekil 1.4 de görüldüğü gibi kayıcı, sabit ve ankastre olmak üzere üç farklı mesnetleme durumu için inceleme yapılmıştır. | 2 | ve | 13 |.

Kayıcı sistem: Alt uçlarından dört noktada mesnetli olup, sağ uçtaki mesnetlerin her ikisi de her iki doğrultuda kayıcıdır. Sol uçtaki mesnetin biri sabit diğeri ise x doğrultusunda kayıcı, diğeryatay doğrultuda sabittir.

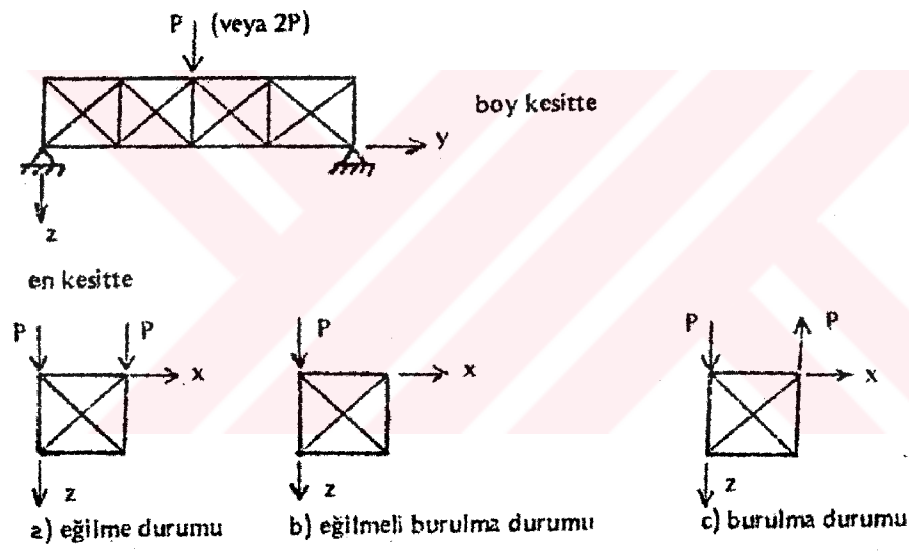
Sabit sistem: Alt uçlarından dört noktada mesnetli olup, bu mesnetler her doğrultuda sabittir.

Ankastre sistem: Alt ve üst uçlarından 8 noktada mesnetli olup, bu mesnetler her doğrultuda sabittir.

Yükleme durumları: Uzay kafes kirişlere, | 14 | nolu kaynaktakine benzer şekilde üç tür yükleme yapılmıştır (Şekil 1.5). Yükleme, düğüm noktalarından orta enkesite uygulanan bir veya eşit değerli iki düşey tekil kuvvet veya bir kuvvet çiftinden oluşmaktadır.



Şekil 1.4.

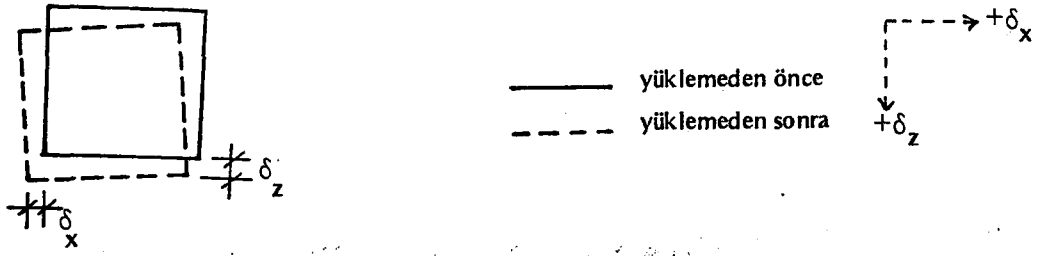


Şekil 1.5

Uzay kafes kirişlere etkileyen servis yükleri, bütün kirişler için $P_s = 120$ kN alınmıştır.

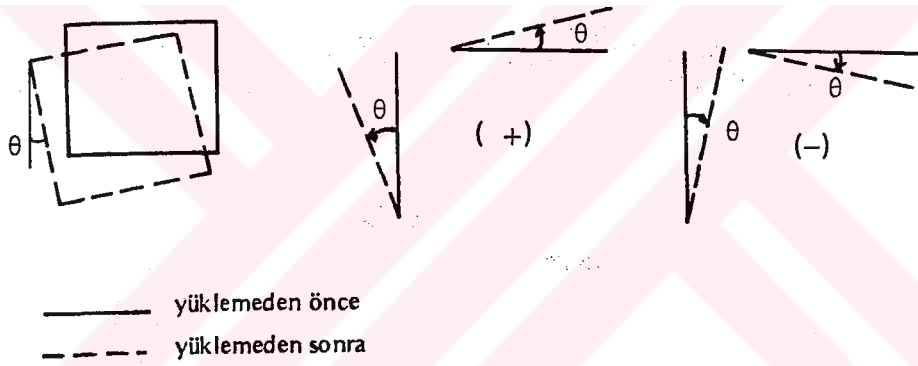
İncelenen konular:

Deplasmanlar (kirişin orta enkesitinde): Şekil 1.6 da görüldüğü gibi yatay deplasman δ_x , düşey deplasman δ_z olarak alınmıştır.



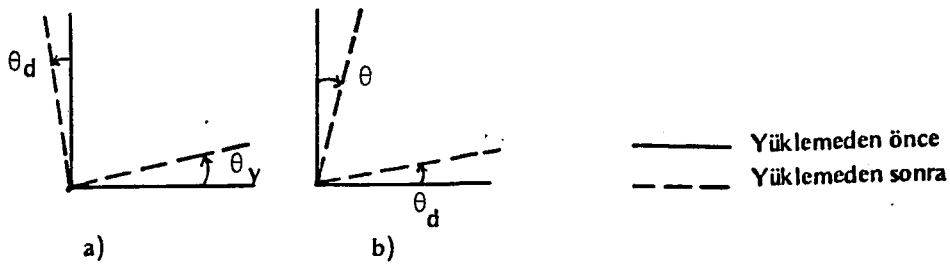
Şekil 1.6

Dönmeler (θ): Şekil 1.7 de gösterildiği gibi düşey veya yatay düzlemin veya eksenin dönüşü saat ibrelerinin tersi yönde ise pozitif, aynı yönde ise negatif kabul edilmiştir.



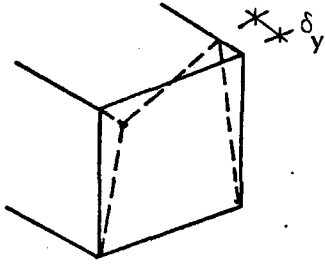
Şekil 1.7

Açı değişimleri (distorsiyon) (γ): Şekil 1.8(a) daki gibi ise $\gamma = |\theta_y - \theta_d|$, Şekil 1.8(b) deki gibi ise $\gamma = |\theta_y + \theta_d|$ olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1.8

Çarpılma (δ_y): Düğüm noktalarında sistem eksenini doğrultusunda oluşan yerdeğiştirme çarpılma olarak adlandırılmıştır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9

Gerçek güvenlik (P_U/P_S): Göçme yükünün servis yüküne oranıdır.

Süneklik (δ_U/δ_1): Göçme anındaki çökmenin ilk akma anındaki çökmeye oranıdır.

Dönme yeteneği (θ_U/θ_1): Göçme anındaki dönmenin ilk akma anındaki dönmeye oranıdır.

Elastik analizde kirişlerin eğilme ve eğilmeli burulmada orta kesitteki çökmeleri, eğilmeli burulma ve burulmada orta kesitteki dönme ve açı değişimi değerleri bulunmuştur. Burulmada, sabit sistemlerde mesnet düzlemindeki çarpılma değerleri, kayıcı sistemlerde ise, hem mesnet düzlemlerinde hem de orta kesitteki çarpılma değerleri elde edilmiştir. Ayrıca açıklığa bağlı olarak kirişlerin toplam malzeme miktarları da hesaplanmıştır. Bu çökme, dönme, açı değişimi ve çarpılma değerleri ile toplam malzeme miktarları üzerinde, açıklığın iç diyagonalin, mesnetlenme durumunun, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkileri araştırılmıştır. Ayrıca eğilmeye, burada elde edilen gerçek çökmelerin, mukavemet formülleri ve dolu gövdeli kiriş varsayımıyla elde edilen çökmelerle karşılaştırılması yapılmış ve uzay kafes kirişlerde çökme için mukavemetine benzer bir bağıntı önerilmiştir.

Eğilme ve eğilmeli burulma yüklemesine göre iç diyagonalin uzay kirişlerin servis yükleri ve orta kesitteki çökmeleriyle, uzay kirişlerin düşey düzlemlerinde bulunan çubuklardan oluşan düzlem kafes kirişlerin servis yükleri ve orta kesitteki çökmeleri karşılaştırılmıştır. Buradan uzay kirişlerin düzlem kirişlere göre yararı

araştırılmıştır. Bu yararın açıklığı, iç diyagonalin bulunup bulunmamasına, dikme aralığının değişimine ve kesit büyüklüğüne göre değişimi incelenmiştir.

Elastik-plastik analizde adım adım yükleme yapılarak ankastre sistemlerle, iç diyagonalı kayıcı ve sabit sistemlerin taşıma güçleri bulunmuştur. Ayrıca kayıcı ve sabit sistemler için eğilme ve eğilmeli burulmada orta kesitteki yük-çökme ($P-\delta$), ankastre sistemler için eğilmeli burulma ve burulmada orta kesitteki yük-dönme ($P-\theta$) ve yük-açı değişimi ($P-\gamma$), diyagramları elde edilmiştir. Buradan uzay kafes girişlerin gerçek güvenlikleri, süneklilikleri ve dönme yetenekleri bulunmuş ve bunlar üzerinde iç diyagonalin, mesnetlenme durumunun, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkileri araştırılmıştır. Bundan başka eğilmede, uzay kafes girişlerin burada bulunan gerçek taşıma güçleri ile dolu gövdeli giriş varsayımıyla basit plastik teoriden elde edilen taşıma güçleri karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, İnş.Yük.Müh. Ahmet BABALIOĞLU tarafından matris deplasman yöntemine göre hazırlanan bilgisayar programından da yararlanılmıştır. Programın giriş bilgileri ve hesapta izlenen yol aşağıda verilmiştir |3| ; |4| ; |5| .

Giriş Bilgileri:

1. Düğüm noktalarının rakam atlamadan sırayla numaralandırılması
2. Çubukların numaralandırılması (grup çubuklar için periyodik numaralama)
3. Sistem boyut kriterinin yazılması (uzay sistemlerde, 3)
4. En büyük deplasmanlı nokta numarasının yazılması (bu numaradan daha büyük numaralı noktalar sabit mesnet kabul edilir.)
5. Özel mesnetlerin düğüm nokta numaralarının ve hareketin hangi doğrultularda engellendiğinin belirtilmesi
6. Yükleme sayısının belirtilmesi (en fazla 5 yükleme yapılabilir)
7. Süperpozisyonu yapılacak yükleme sayılarının belirtilmesi
8. Düğüm noktalarının deplasmanlarının istenip istenmediğinin belirtilmesi

9. Çubukların numaraları, her iki ucundaki düğüm noktalarının numaraları, orijini küçük numaralı uçta bulunan sistem koordinat takımına paralel koordinat takımına göre koordinatları, enkesit alanları ve atalet yarıçapları verilir. Burada benzer çubuklar (grup çubuklar) için kopyalama işlemi yapılır.
10. Her bir yükleme için yükün bulunduğu düğüm nokta numarası ve yükün sistem koordinat takımına göre bileşenleri verilir.
11. İsteniyorsa süperpozisyon yapılacak yüklemelerin sırayla belirtilmesi

Hesapta İzlenen Yol:

1. Uzay kafes kirişi teşkil eden bütün çubukların herbirinin sıra ile birim deplasman matrisleri tayin edilerek sisteme ait $[K]$ rijitlik matrisinde yerine yerleştirilir. Bu matriste çeşitli elemanlardan aynı yere gelen matrisler üst üste toplanır. Burada önce çubukların, kendi çubuk ekseninden geçen koordinat sistemine göre rijitlik (birim deplasman) matrisleri tayin edilmekte, daha sonra doğrultu kosinüsleri yardımıyla düğüm noktalarının koordinat sistemine dönüştürülmektedir.

2. Her düğüm noktasına etkiyen verilmiş dış kuvvetlerin ortak koordinat eksenlerine ait bileşenlerinden oluşan yükleme matrisleri, sisteme ait $[F]$ matrisinde yerlerine yerleştirilir.

$$3. \quad [K] [D] = [F] \quad (1.1)$$

denklemlerini çözülerek bilinmeyen $[D]$ deplasman matrisi elde edilir.

4. Geometrik uygunluk (bir düğüm noktasındaki eleman uç deplasmanlarının düğüm noktası deplasmanlarına eşit olması) şartından, çubukların uç deplasman bileşenleri bulunur, daha sonra,

$$[F]_{ix} = [k]_{ixix} [d]_{ix} + [k]_{ixjx} [d]_{jx} \quad (1.2)$$

$$[F]_{jx} = [k]_{jxix} [d]_{ix} + [k]_{jxjx} [d]_{jx} \quad (1.3)$$

bağıntıları ile ortak eksenlere ait uç kuvvetleri tayin edilir. Daha sonra da doğrultu kosinüsleri yardımıyla çubukların kendi eksenlerine göre uç kuvvetleri (çubuk kuvvetleri) bulunur.

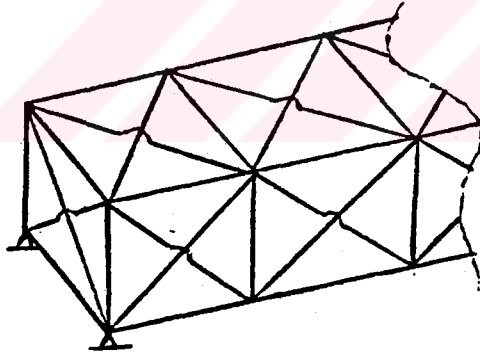
5. Çekme çubuklarında gerilme, basınç çubuklarında da ω sayıları metoduyla burkulma hesabı yapılır.

1.4. Çalışmada Geçerli Olan Varsayımlar

- Malzemenin,
Emniyet gerilmesi : $\sigma_{em} = 140 \text{ N/mm}^2$,
Akma gerilmesi : $\sigma_y = 240 \text{ N/mm}^2$
Elastisite modülü : $E = 21000 \text{ kN/cm}^2$

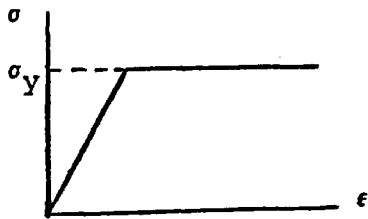
olarak alınmıştır.

- Düğüm noktaları ideal mafsallıdır.
- Yükler düğüm noktalarına etki etmektedir.
- Yatay ve düşey düzlemlerde, kirişin enkesitlerinde, çapraz olarak bulunan yatay, düşey ve iç diyagonallerin birbirlerini kesmedikleri varsayılmıştır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10

- Çeliğin $\sigma - \epsilon$ diyagramı ideal elastik-plastik kabul edilmiştir (Şekil 1.11)



Şekil 1.11

- Çubuk enkesit alanlarının, teorik olarak her değerde olabileceği kabul edilmiştir.
- Standart boru kesitlerden, et kalınlığı en büyük olan kesitlerin, alanları ve atalet yarıçapları esas alınarak, aradaki kesit alanları için atalet yarıçapları lineer enterpolasyonla bulunmuştur | 6 |.
- Sistemin yanıl burkulma yapmadığı varsayılmıştır.



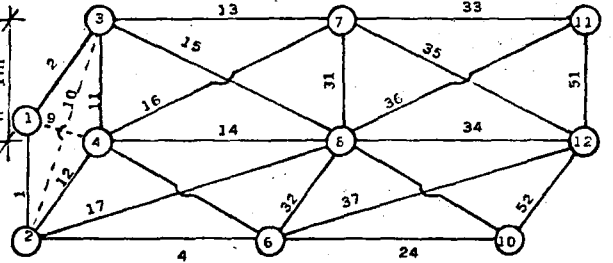
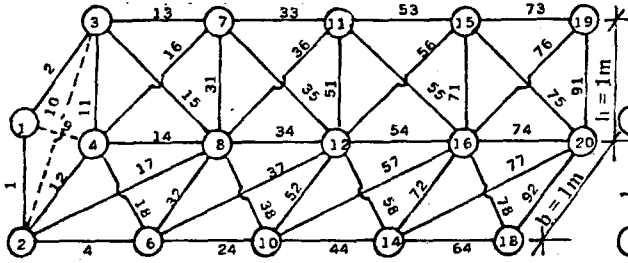
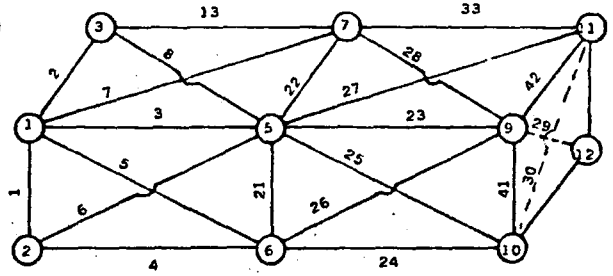
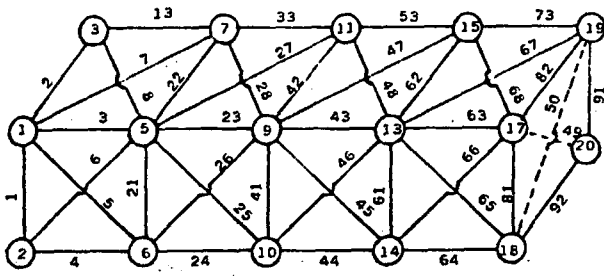
BÖLÜM 2 ELASTİK ANALİZ

2.1. Emniyet Gerilmeleri Yöntemine Göre Boyutlandırma

Bölüm 1.3 ve Tablo 1.1 de tanımlanan ve Şekil 2.1.-2.10 da gösterilen kare biçimli tübüler uzay kafes kirişler, orta kesitlerinden etkileyen herbiri $P_s = 120$ kN değerindeki servis yükleri altında üç ayrı yükleme durumunu da (eğilme, eğilmeli burulma, burulma) güvenle taşıyacak biçimde emniyet gerilmesi yöntemine göre boyutlandırılmışlardır. Önce her bir çubuk grubuna (çubuk grupları: dikmeler, enlemeler, üst başlıklar, alt başlıklar, yatay diyagonaller, dikey diyagonaller ve iç diyagonallerdir) değişik ve keyfi bir enkesit değeri (A_i) verilerek sistem bölüm 1.3 de sözü edilen bilgisayar programı ile elastik olarak çözülmüştür. Grup çubuklarının kesitleri elde edilen çubuk kuvvetlerine göre $\sigma_{max} = \sigma_{em}$ olacak biçimde yeniden boyutlandırılmış ve sistem bu yeni boyutlara göre tekrar çözülmüştür. Bu ardışık yaklaşım işlemi tüm grup çubuklarda $0.9 \sigma_{em} \leq \sigma_{max} \leq 1.05 \sigma_{em}$ koşulu sağlanıncaya kadar sürdürülmüş, bu koşulu sağlayan grup çubuklara ait enkesit değerleri her üç yükleme için geçerli boyutlar olarak alınmıştır[7]. Bu boyutlara göre tüm grup çubuklarda σ_{max} σ_{em} 'e çok yakın olduğu için kafes sistem bir dereceye kadar optimum olarak boyutlandırılmış olmaktadır. Bu şekilde yapılan boyutlandırmaya ait bir örnek Tablo 2.1 de verilmiştir.

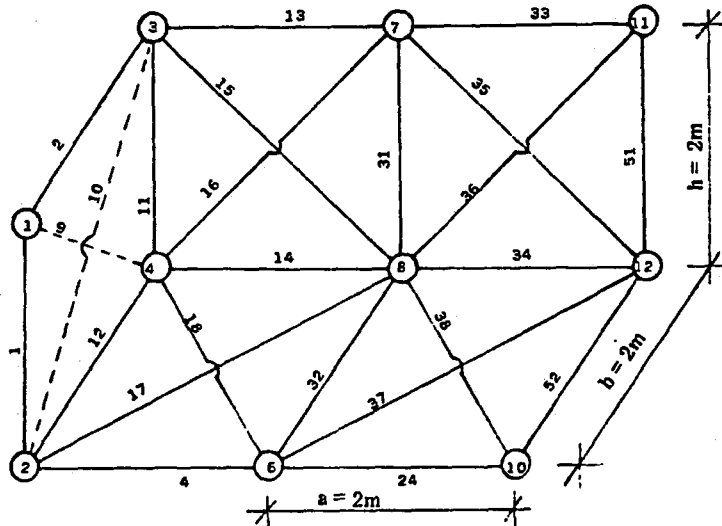
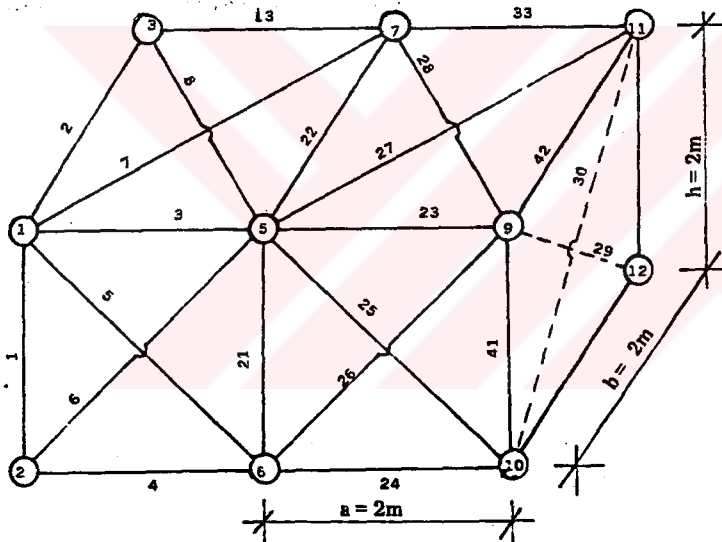
Tablo 2.1 deki örnekte olduğu gibi diğer bütün uzay kafes kirişler, emniyet gerilmeleri yöntemiyle boyutlandırılmış ve sonuçlar Tablo 2.2-2.6 da sunulmuştur. Tablolarda çubukların enkesit alanları (A), atalet yarıçapları (i), hertip çubuklara ait çubuk boyları, benzer çubuk sayıları ve benzer çubukların toplam boyları, çubuklarda meydana gelen elverişsiz yüklemenin hangi yükleme türü olduğu, elverişsiz yüklemenin meydana geldiği çubuklardan bir tanesinin numarası ve o çubuklarda meydana gelen çubuk kuvveti ve normal gerilmeler verilmiştir (basınc kuvveti ve basınc gerilmeleri - işareti ile gösterilmiştir).

Tablolarda elverişsiz yükleme Elv.Y, elverişsiz çubuklar E.Ç., eğilme E, burulma B ve eğilmeli burulma EB olarak kısaltılmıştır.

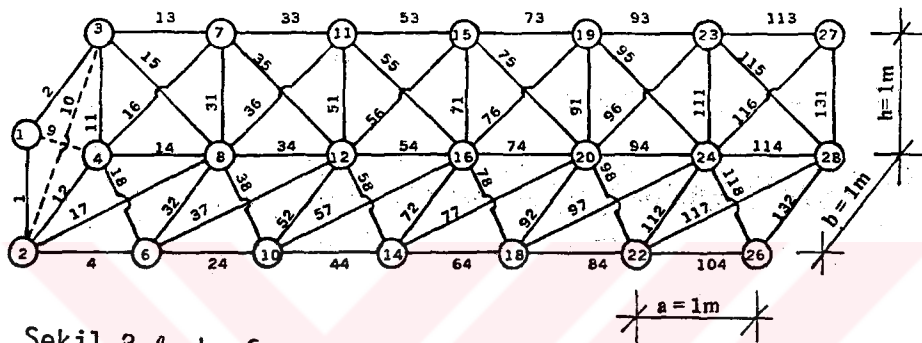
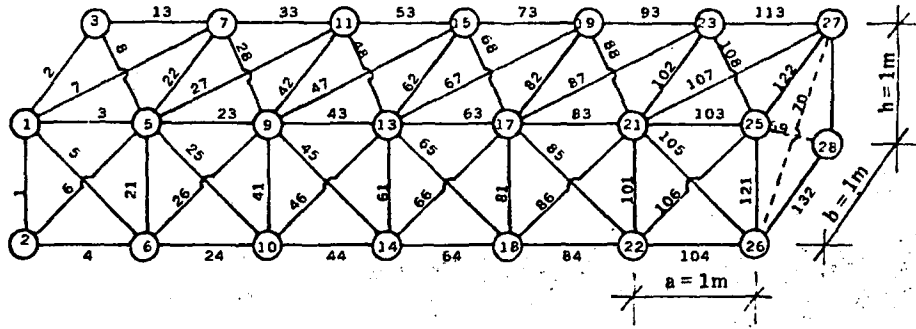


Şekil 2.1. $L = 4m$

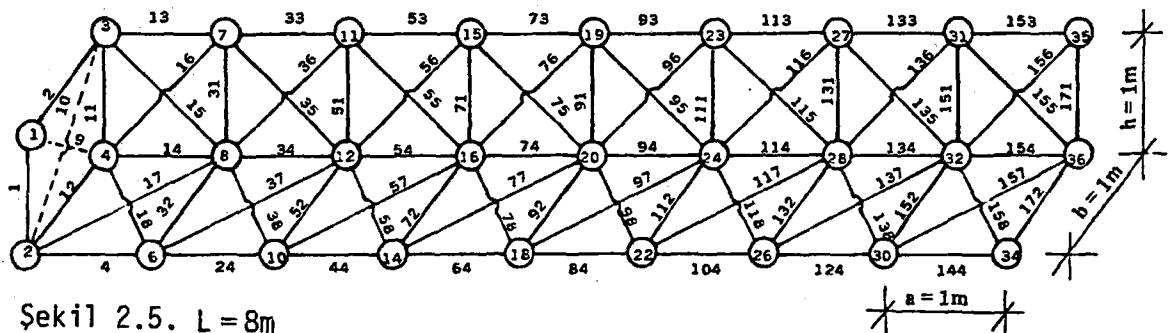
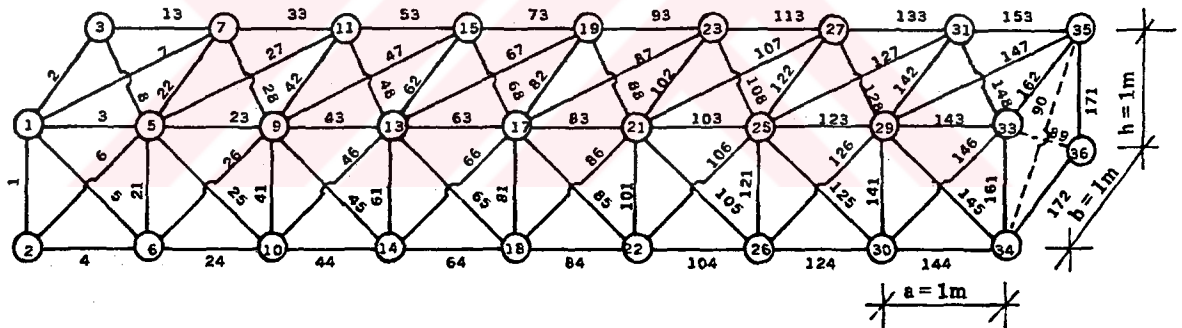
Şekil 2.2. $L = 4m$



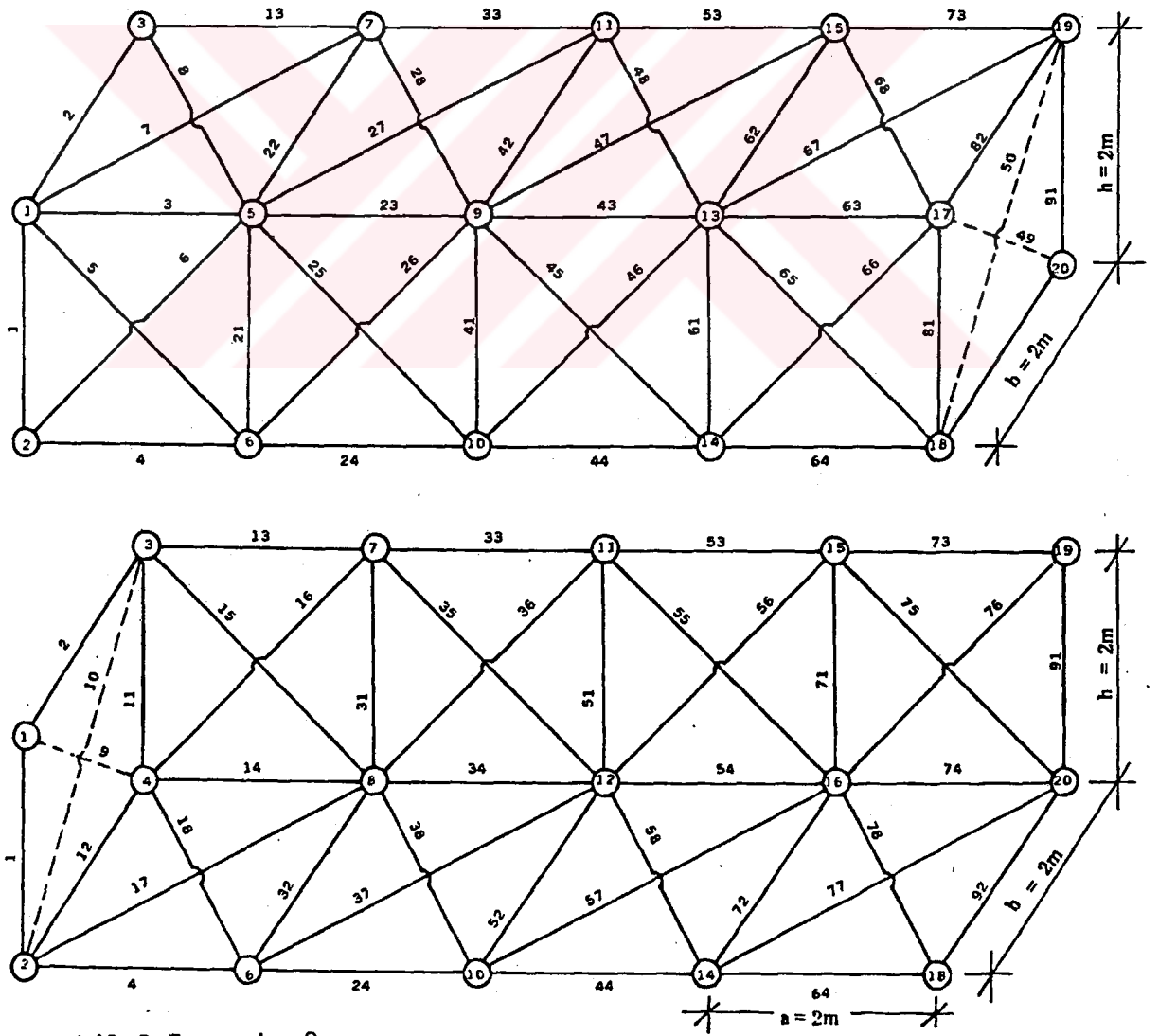
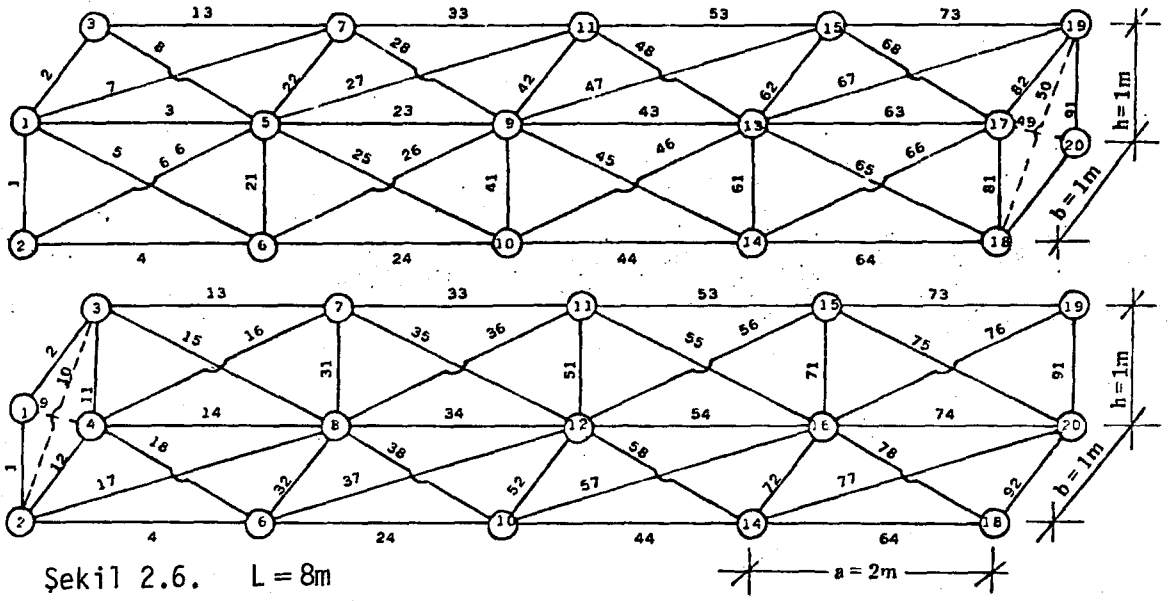
Şekil 2.3. $L = 4m$

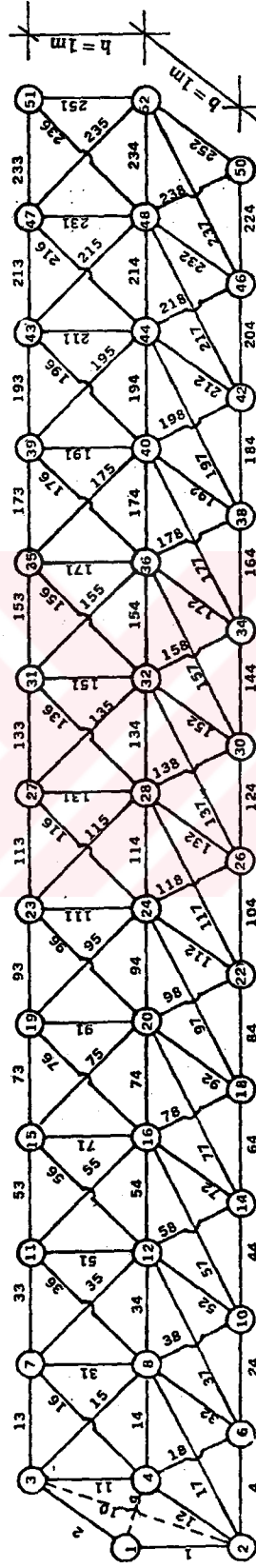
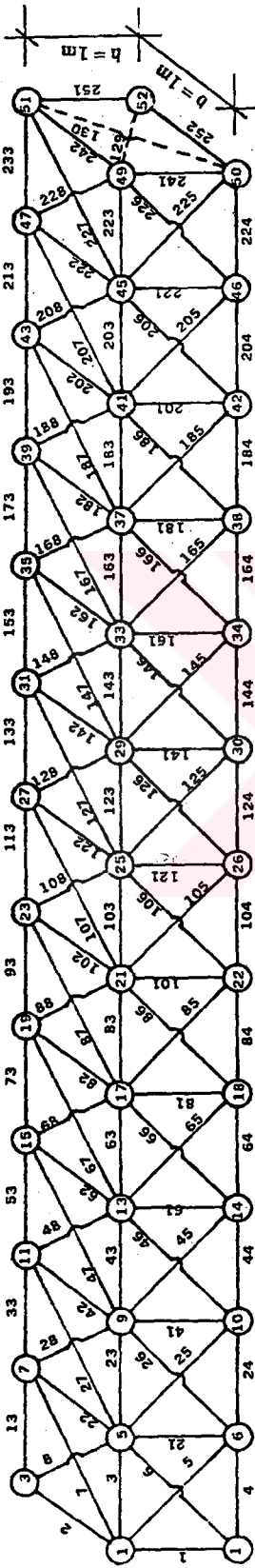


Şekil 2.4. $L = 6m$

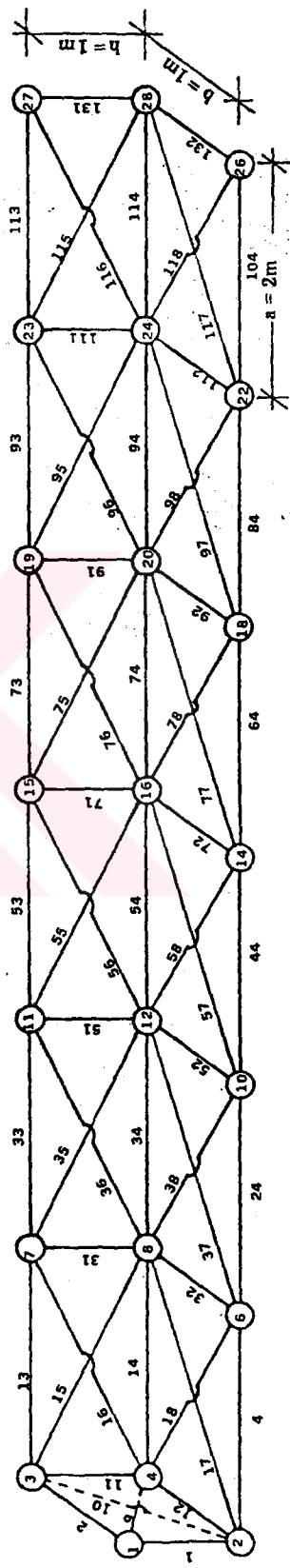
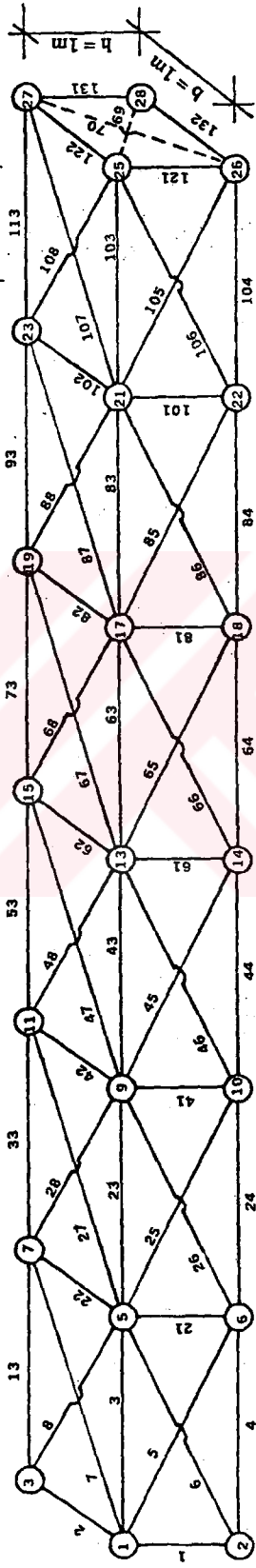


Şekil 2.5. $L = 8m$

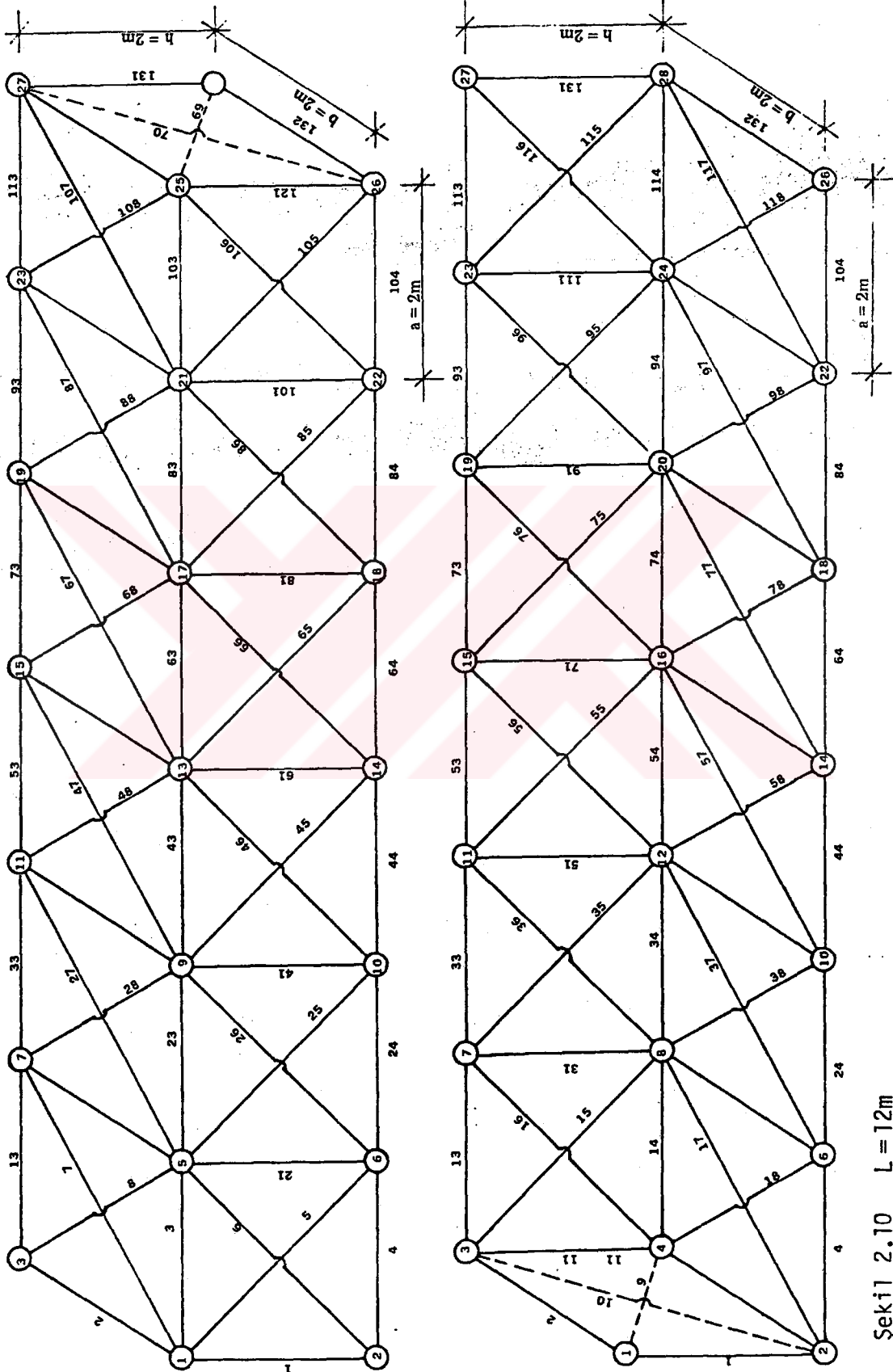




Şekil 2.8. $L = 12m$



Şekil 2.9. $L = 12m$



Şekil 2.10 $L = 12\text{m}$

Tablo 2.1 Boyutlandırma Örneği

		L = 4	b/h = 1/1	a = 1	$P_s = 120 \text{ kN}$					
		Mesnetleme Durumu : Kayıcı				İç Diagonal Var				
İterasyon Sayısı		1	2	3	4	5	6	7	8	
Dikmeler	1, 11, ...	A	10.00	6.00	5.40	5.34	5.16	5.13	5.13	5.13
		i	2.50	1.50	1.35	1.49	1.44	1.43	1.43	1.43
		Elv.Y.	B	B	B	B	B	B	B	B
		E.Ç.	41	41	41	41	41	41	41	41
		N_{\max}	-49.21	-48.40	-42.65	-48.42	-48.53	-48.44	-48.44	-48.44
		σ_{\max}	-58	-115	-137	-130	-138	-139	-139	-139
Enlemeler	2, 12, ...	A	10.00	4.5/3.0	2.4/3.6	3.12	3.00	2.91	2.70	2.58
		i	2.5	1.13/0.75	0.6/0.9	0.87	0.84	0.92	0.89	0.87
		Elv.Y.	B	E/E	E/E	E	E		E	E
		E.Ç.	42	42/32	42/32	32	32	32	32	32
		N_{\max}	40.55	27.9/-15.7	21.8/-16.9	-17.14	-16.00	-15.79	-15.32	-15.03
		σ_{\max}	40	61 /-161	90 /-105	-129	-132	-118	-129	-137
Üst Başlıklar	3, 13, ...	A	10.00	9.00	8.40	7.80	7.50	7.44	7.44	7.44
		i	2.50	2.25	2.10	1.95	1.88	1.90	1.90	1.89
		Elv.Y.	E	E	E	E	E	E	E	E
		E.Ç.	23	23	23	23	23	23	23	23
		N_{\max}	-70.52	-80.15	-81.03	-79.25	-79.55	-79.16	-79.46	-79.64
		σ_{\max}	-83	-108	-120	-129	-137	-137	-137	-139
Alt Başlıklar	4, 14, ...	A	10.00	6.00	6.00	5.76	5.70	5.85	5.85	5.85
		i	2.50	1.50	1.50	1.60	1.59	1.66	1.66	1.61
		Elv.Y.	E	E	E	E	E	E	E	E
		E.Ç.	24	24	24	24	24	24	24	24
		N_{\max}	76.54	79.18	80.24	79.72	80.89	81.39	81.66	81.82
		σ_{\max}	76	131	133	138	141	139	139	139
Düşey Diagonaller	5, 15, ... 6, 16, ...	A	10.00	7.50	6.00	6.24	5.88	5.85	5.85	5.85
		i	2.50	1.88	1.50	1.74	1.64	1.66	1.66	1.61
		Elv.Y.	E	E	E	E	E	E	E	E
		E.Ç.	45	45	45	45	45	45	45	45
		N_{\max}	-49.20	-45.87	-47.21	-47.27	-47.42	-47.84	-47.83	-47.83
		σ_{\max}	-65	-94	-145	-123	-137	-138	-138	-141
Yatay Diagonaller	7, 17, ... 8, 18, ...	A	10.00	4.50	4.20	4.56	3.90	4.02	4.02	4.02
		i	2.50	1.13	1.05	1.29	1.10	1.13	1.13	1.12
		Elv.Y.	B	B	B	B	B	B	B	B
		E.Ç.	7	7	7	7	7	7	7	7
		N_{\max}	-21.16	-20.33	-20.36	-20.51	-20.26	-20.23	-20.23	-20.23
		σ_{\max}	-28	-123	-152	-99	-148	-136	-136	-136
İç Diagonaller	9, 19, ... 10, 20, ...	A	10.00	6.00	5.40	5.04	5.04	4.71	4.71	4.71
		i	2.50	1.50	1.35	1.09	1.40	1.31	1.31	1.31
		Elv.Y.	B	B	B	B	B	B	B	B
		E.Ç.	29	29	29	29	29	29	29	29
		N_{\max}	-33.85	-29.99	-31.03	-30.97	-30.54	-30.42	-30.42	-30.42
		σ_{\max}	-45	-92	-119	-179	-121	-139	-139	-139

A, cm²; i, cm; N_{\max} , kN; σ_{\max} , N/mm² olarak verilmiştir.

NOT : 2. ve 3. iterasyonda alt ve üst enlemeler farklı seçilmiştir.

Tablo 2.2 Boyutlandırma Sonuçları

L	b/h	a	Mes. D.	İç Diy.	L ₁ : Çubuk Boyu		Benzer çubuk ad.		m		4		L ₁ : Çubuk boyu	Benzer çubuk ad.	m		4					
					n.L ₁	n.L ₁	m	1		1/1		2			n.L ₁	n.L ₁	m	1/1		2		
								Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit						Ankastre	Var	Yok	Var	Yok
9,19, ... 10,20, ...	141.4	10	141.4	16	2262.4	A	5.13	4.95	4.92	4.68	5.01	5.01	5.46	5.55	4.65	3.93	5.34	5.31				
						i	1.43	1.38	1.37	1.30	1.39	1.39	1.52	1.54	1.29	1.10	1.48	1.48				
						A.n.L ₁	5130	4950	4920	4680	5010	5010	3276	3330	2790	2358	3204	3186				
						Elev. Y.	B	B	B	B	B	B	B	B	B	E	B	E				
						E.Ç.	41	41	41	41	41	41	21	21	21	21	21	21				
						N _{max}	-48.44	-45.54	-45.72	-40.91	-46.56	-45.52	-55.30	-51.26	-41.06	-30.15	-51.45	-51.49				
						σ _{max}	-139	-136	-140	-139	-139	-136	-144	-130	-138	-137	-139	-140				
10,20, ...	141.4	10	141.4	16	2262.4	A	2.58	2.37	1.80	2.07	1.98	2.16	2.91	2.91	0.63	0.63	0.63	0.63				
						i	0.87	0.83	0.63	0.72	0.69	0.75	0.92	0.92	0.28	0.28	0.28					
						A.n.L ₁	2580	2370	1800	2070	1980	2160	1746	1746	378	378	378	378				
						Elev. Y.	E	E	E	E	E	E	E	E	E	-	-					
						E.Ç.	72	52	52	52	52	52	32	32	22	22	-	-				
						N _{max}	-15.03	-12.27	-0.603	-0.859	-0.708	-0.44	-18.46	-17.22	08.09	06.38	0	0				
						σ _{max}	-137	-130	-146	-138	-130	-134	-138	-129	128	101	0	0				
10,20, ...	141.4	8	141.4	8	800	A	7.44	7.68	6.99	7.47	3.18	3.72	6.54	7.56	5.31	5.61	0.63	0.63				
						i	1.89	1.94	1.81	1.90	0.96	1.01	1.73	1.92	1.48	1.56	0.28	0.28				
						A.n.L ₁	5952	6144	5592	5976	2544	2976	5232	6048	4244	4488	504	504				
						Elev. Y.	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	-	-				
						E.Ç.	23	23	23	23	23	13	3	3	3	3	-	-				
						N _{max}	-79.64	-82.77	-74.04	-80.82	-20.53	-26.23	-38.26	-51.26	-23.63	-27.93	0	0				
						σ _{max}	-139	-138	-139	-139	-133	-132	-139	-140	-140	-141	0	0				
10,20, ...	141.4	8	141.4	8	800	A	5.85	8.55	3.30	3.84	3.51	4.14	4.35	8.85	0.63	0.63	0.63	0.63				
						i	1.61	2.14	0.98	1.07	1.01	1.16	1.21	2.22	0.28	0.28	0.28	0.28				
						A.n.L ₁	4680	6840	2640	3072	2808	3312	3480	7080	504	504	504	504				
						Elev. Y.	E	B	E	B	E	B	B	B	-	-	-	-				
						E.Ç.	24	34	4	34	4	4	14	14	-	-	-	-				
						N _{max}	81.82	-97.23	-21.62	-28.92	-24.89	-33.77	-12.86	-68.74	0	0	0	0				
						σ _{max}	139	-140	-132	-138	-138	-139	-138	-137	0	0	0	0				
10,20, ...	141.4	16	141.4	16	2262.4	A	5.85	6.30	6.66	6.66	6.18	6.21	9.48	9.87	11.46	11.73	9.75	9.81				
						i	1.61	1.69	1.75	1.75	1.67	1.67	2.38	2.48	2.76	2.80	2.45	2.46				
						A.n.L ₁	13240	14250	15070	15070	13980	14050	16960	17660	20500	20980	17440	17550				
						Elev. Y.	E	B	E	B	E	E	E	B	E	B	E	E				
						E.Ç.	45	45	65	65	45	45	25	25	25	25	25	25				
						N _{max}	-47.83	-52.65	-57.85	-58.46	-51.65	-52.72	-71.35	-76.94	-99.00	-102.94	-75.81	-76.59				
						σ _{max}	-141	-139	-136	-142	-140	-142	-139	-138	-140	-141	-139	-139				
10,20, ...	141.4	16	141.4	16	2262.4	A	4.02	2.70	3.81	2.61	3.93	2.67	6.33	5.10	5.37	3.81	5.46	0.63				
						i	1.12	0.89	1.07	0.87	1.10	0.88	1.69	1.42	1.49	1.07	1.52	0.28				
						A.n.L ₁	90.95	61.08	86.19	59.05	88.91	60.41	11.32	91.23	96.06	68.15	97.67	11.27				
						Elev. Y.	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	-				
						E.Ç.	7	27	7	17	7	17	7	7	7	7	7	-				
						N _{max}	-20.23	-08.19	-17.51	-07.95	-19.43	-08.71	-29.08	-16.08	-19.07	-07.13	-20.01	0				
						σ _{max}	-139	-132	-139	-139	-141	-146	-139	-135	-138	-142	-137	0				
10,20, ...	141.4	10	141.4	10	848.4	A	4.71	-	4.56	-	4.62	-	5.13	-	4.29	-	4.35	-				
						i	1.31	-	1.27	-	1.29	-	1.44	-	1.20	-	1.21	-				
						A.n.L ₁	66 60	-	64 48	-	65 33	-	43 52	-	36 40	-	36 91	-				
						Elev. Y.	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-				
						E.Ç.	29	-	29	-	29	-	19	-	19	-	19	-				
						N _{max}	-30.42	-	-28.33	-	-28.95	-	-36.78	-	-24.12	-	-25.31	-				
						σ _{max}	-139	-	-140	-	-138	-	-138	-	-137	-	-140	-				

L₁, cm, A, cm²; i, cm; kN; σ_{max}, N/mm² olarak verilmiştir.

Tablo 2.3 Boyutlandırma Sonuçları

İç Diy.	Mes. D.	a	b/h	L	L ₁ :Çubuk Boyu						L ₁ :Çubuk boyu										
					Benzer çubuk ad.						Benzer çubuk ad.										
					n.L ₁						n.L ₁										
					m		m/m		m		Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre
Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok				
9,19, ... 10,20, ... 141,4 18 2545,2	1,11, ...	1,00	18	1800	A	4.89	4.68	4.86	4.62	4.95	4.86	5.61	5.37	5.43	4.62	5.55	5.46				
					i	1.36	1.30	1.35	1.29	1.38	1.35	1.56	1.49	1.51	1.29	1.54	1.52				
					A.n.L ₁	8802	8424	8748	8316	8910	8748	5610	5370	5430	4620	5550	5460				
					Elv. Y.	B	E	B	B	B	B	B	E	B	B	B	B				
					E.Ç.	81	81	81	81	81	81	41	41	41	41	41	41				
					N _{max}	-45.05	-42.07	-44.23	-40.41	-45.68	-44.31	-55.81	-52.32	-52.85	-41.14	-54.29	-53.51				
					σ _{max}	-140	-140	-138	-137	-139	-139	-140	-140	-139	-140	-138	-139				
					A	2.97	2.76	2.37	2.40	2.40	2.43	5.34	4.44	3.12	3.03	2.52	2.91				
					i	0.93	0.90	0.83	0.84	0.84	0.84	1.48	1.24	0.95	0.94	0.86	0.92				
					A.n.L ₁	5346	4968	4266	4320	4320	4374	5340	4440	3120	3030	2520	2910				
Elv. Y.	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E									
E.Ç.	72	92	72	92	22	92	52	52	42	52	52	52									
N _{max}	-19.21	-16.13	-12.71	-12.82	-13.37	-13.57	-51.47	-36.29	-43.60	-19.38	-14.84	-18.43									
σ _{max}	-139	-131	-135	-132	-138	-138	-139	-132	-139	-135	-141	-138									
2,12, ...	3,13, ...	1,00	18	1800	A	15.24	15.24	15.18	15.48	7.23	7.98	14.01	16.20	12.51	15.48	6.18	8.08				
					i	3.35	3.35	3.34	3.38	1.86	2.00	3.16	3.50	2.93	3.38	1.67	2.02				
					A.n.L ₁	24380	24380	24290	24770	11570	12770	22420	25920	20020	24770	9890	12930				
					Elv. Y.	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B				
					E.Ç.	63	63	63	63	63	13	23	23	23	23	23	23				
					N _{max}	-195.4	-201.0	193.9	-200.2	-77.52	-87.95	-139.4	-172.3	-119.2	-161.1	-34.35	-57.17				
					σ _{max}	-140	-144	-139	-141	-139	-139	-139	-142	-138	-141	-139	-138				
					A	14.58	17.24	6.90	8.34	7.47	8.52	8.01	17.64	5.85	7.65	6.44	8.40				
					i	3.25	3.66	1.80	2.09	1.90	2.14	2.01	3.71	1.61	1.93	1.71	2.11				
					A.n.L ₁	23330	27580	11040	13340	11950	13630	12820	28220	9360	12240	10300	13440				
Elv. Y.	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B									
E.Ç.	64	74	4	74	4	74	24	54	4	4	4	4									
N _{max}	204.2	-219.0	-73.04	-92.12	-80.58	-96.05	109.1	-187.7	-30.16	-52.47	-37.14	-62.83									
σ _{max}	140	-135	-139	-137	-139	-139	136	-138	-138	-141	-139	-139									
4,14, ...	5,15, ... 6,16, ...	1,00	16	1600	A	6.18	6.66	7.05	6.99	6.24	6.45	9.12	9.87	11.52	12.12	9.60	9.66				
					i	1.67	1.75	1.82	1.81	1.68	1.71	2.29	2.48	2.77	2.87	2.41	2.42				
					A.n.L ₁	27960	30140	31900	31630	28230	29180	32630	35310	41210	43360	34340	34560				
					Elv. Y.	E	B	E	E	E	E	E	B	E	E	E	E				
					E.Ç.	85	85	6	145	85	85	65	45	65	65	45	45				
					N _{max}	-51.19	-55.16	-62.51	-61.36	-51.75	-53.55	-66.15	-75.67	-99.20	-105.0	-73.56	-74.49				
					σ _{max}	-139	-134	-139	-138	-138	-137	-139	-136	-139	-136	-139	-140				
					A	4.08	3.30	4.08	3.03	4.08	3.24	8.10	7.38	7.65	6.90	6.63	5.85				
					i	1.14	0.98	1.14	0.94	1.14	0.97	2.03	1.88	1.93	1.80	1.75	1.61				
					A.n.L ₁	18460	14930	18460	13710	18460	14660	28980	26400	27370	24690	23720	20930				
Elv. Y.	B	E	B	E	B	E	E	E	B	E	B	E									
E.Ç.	27	67	27	17	27	17	27	27	27	27	7	17									
N _{max}	-22.11	-11.67	-21.45	-11.03	-20.89	-12.45	-50.59	-40.04	-44.05	-34.80	-32.62	-23.75									
σ _{max}	-144	-127	-140	-143	-136	-141	-138	-134	-137	-135	-139	-135									
5,15, ... 6,16, ...	7,17, ... 8,18, ...	141,4	32	4524,8	A	4.53	-	4.50	-	4.56	-	5.19	-	5.04	-	5.07	-				
					i	1.26	-	1.25	-	1.27	-	1.44	-	1.40	-	1.41	-				
					A.n.L ₁	11530	-	11450	-	11610	-	7339	-	7126	-	7169	-				
					Elv. Y.	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-				
					E.Ç.	49	-	49	-	49	-	29	-	29	-	29	-				
					N _{max}	-27.42	-	-27.19	-	-28.17	-	-37.38	-	-35.29	-	-35.46	-				
					σ _{max}	-138	-	-139	-	-139	-	-139	-	-139	-	-138	-				
					A	4.53	-	4.50	-	4.56	-	5.19	-	5.04	-	5.07	-				
					i	1.26	-	1.25	-	1.27	-	1.44	-	1.40	-	1.41	-				
					A.n.L ₁	11530	-	11450	-	11610	-	7339	-	7126	-	7169	-				
Elv. Y.	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-									
E.Ç.	49	-	49	-	49	-	29	-	29	-	29	-									
N _{max}	-27.42	-	-27.19	-	-28.17	-	-37.38	-	-35.29	-	-35.46	-									
σ _{max}	-138	-	-139	-	-139	-	-139	-	-139	-	-138	-									

L₁, cm; A, cm²; i, cm; N_{max}, kN; σ_{max}, N/mm² olarak verilmiştir.

Tablo 2.4. Boyutlandırma Sonuçları

L	b/h	a	Mes. D.	İç Diy.	L ₁ :Çubuk Boyu							L ₁ :Çubuk boyu										
					Benzer çubuk ad. n.L ₁							Benzer çubuk ad. n.L ₁										
					Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre							
					Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok						
İç Diagoneller	9,19,.... 10,20,.... 141,4	141,4	26	3676,4	A	4.44	-	4.41	-	4.53	-	5.55	5.37	5.43	4.95	5.52	5.66					
					i	1.24	-	1.23	-	1.26	-	1.54	1.49	1.51	1.38	1.54	1.57					
					A.n.L ₁	16320	-	16210	-	16650	-	7770	7518	7602	6930	7728	7924					
					Elev. Y.	B	-	B	-	B	-	B	E	B	B	B	B	B				
					E.Ç.	69	-	69	-	69	-	61	61	61	61	61	61	61				
					N _{max}	-26.33	-	-25.91	-	-27.39	-	-54.51	-52.35	-52.74	-44.73	-54.31	-53.92					
					σ _{max}	-138	-	-138	-	-137	-	-139	-140	-139	-136	-139	-133					
					Yatay Diagoneller	7,17,.... 8,18,.... 141,4	141,4	48	6787,2	A	4.14	3.15	4.11	3.51	4.08	3.60	6.03	4.77	4.11	4.05	3.69	4.02
										i	1.16	0.96	1.15	1.01	1.14	1.03	1.64	1.33	1.15	1.13	1.04	1.12
										A.n.L ₁	28100	21380	27900	23820	27690	24430	8442	6678	5754	5670	5166	5628
Elev. Y.	B	E	B	E						B	E	E	E	E	E	E	E					
E.Ç.	27	107	47	17						67	17	72	72	62	72	72	72					
N _{max}	-21.90	-11.63	-21.64	-14.00						-21.35	-15.19	-61.29	-45.45	-58.34	-31.88	-28.11	-30.85					
σ _{max}	-137	-139	-138	-135						-139	-137	-139	-146	141	-137	-144	-135					
Dişey Diagoneller	5,15,.... 6,16,.... 141,4	141,4	48	6787,2						A	6.27	6.54	7.17	7.05	6.24	6.39	21.63	24.69	20.31	24.30	9.72	12.39
										i	1.68	1.73	1.84	1.82	1.68	1.70	4.50	5.14	4.23	5.06	2.44	2.91
										A.n.L ₁	42560	44390	48660	47850	42350	43370	51910	59260	48740	58320	23330	29740
					Elev. Y.	E	B	E	B	E	E	E	B	E	B	E	B					
					E.Ç.	125	125	225	225	125	125	43	43	43	43	43	113					
					N _{max}	-52.36	-55.25	-63.90	-62.35	-51.89	-53.73	-246.0	-292.2	-229.0	-284.7	-79.87	-118.1					
					σ _{max}	-139	-138	-139	-139	-139	-139	-138	-138	-140	-137	-134	-139					
					Alt Başlıklar	4,14,....	1,00	24	24,00	A	23.20	25.62	10.77	12.51	11.43	12.63	15.44	25.92	8.94	11.43	9.87	12.57
										i	4.83	5.34	2.64	2.93	2.75	2.95	3.38	5.41	2.24	2.75	2.48	2.94
										A.n.L ₁	55680	61480	25850	30020	27430	30310	37060	62210	21460	27430	23690	30170
Elev. Y.	E	B	E	B						E	B	E	B	E	B	E	B					
E.Ç.	104	104	4	114						4	114	44	54	4	4	4	54					
N _{max}	324.97	-39.07	-129.6	-153.1						-138.5	-156.8	222.01	-307.8	-68.32	-105.2	-81.27	-123.7					
σ _{max}	140	-132	-139	-138						-139	-140	143	-137	-134	-138	-133	-142					
Üst Başlıklar	3,13,....	1,00	24	24,00						A	22.71	23.19	22.63	23.31	11.22	12.09	21.63	24.69	20.31	24.30	9.72	12.39
										i	4.73	4.83	4.71	4.85	2.72	2.86	4.50	5.14	4.23	5.06	2.44	2.91
										A.n.L ₁	54500	55660	54310	55940	26930	29020	51910	59260	48740	58320	23330	29740
					Elev. Y.	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B					
					E.Ç.	103	103	103	103	103	13	43	43	43	43	43	113					
					N _{max}	-313.4	-320.9	-312.5	-320.2	-135.8	-148.6	-246.0	-292.2	-229.0	-284.7	-79.87	-118.1					
					σ _{max}	-139	-139	-140	-138	-139	-139	-138	-138	-140	-137	-134	-139					
					Entlemeler	2,12,....	1,00	26	26,00	A	3.15	2.58	2.79	2.58	2.82	2.70	6.03	4.77	4.11	4.05	3.69	4.02
										i	0.96	0.87	0.90	0.87	0.91	0.89	1.64	1.33	1.15	1.13	1.04	1.12
										A.n.L ₁	8190	6708	7254	6708	7332	8442	6678	5754	5670	5166	5628	
Elev. Y.	E	E	E	E						E	E	E	E	E	E	E						
E.Ç.	112	132	112	132						22	132	72	72	62	72	72	72					
N _{max}	-21.07	-15.88	-17.14	-15.64						-17.72	-16.35	-61.29	-45.45	-58.34	-31.88	-28.11	-30.85					
σ _{max}	-138	-145	-138	-142						-139	-138	-139	-146	141	-137	-144	-135					
Dikmeler	1,11,....	1,00	26	26,00						A	4.86	4.62	4.80	4.59	4.92	4.83	5.55	5.37	5.43	4.95	5.52	5.66
										i	1.35	1.29	1.33	1.28	1.37	1.34	1.54	1.49	1.51	1.38	1.54	1.57
										A.n.L ₁	12640	12010	12480	11930	12790	12560	7770	7518	7602	6930	7728	7924
					Elev. Y.	B	E	B	B	B	B	B	E	B	B	B	B					
					E.Ç.	121	121	121	121	121	121	61	61	61	61	61	61					
					N _{max}	-44.31	-41.88	-43.53	-40.40	-45.10	-44.03	-54.51	-52.35	-52.74	-44.73	-54.31	-53.92					
					σ _{max}	-139	-142	-139	-139	-138	-139	-139	-140	-139	-136	-139	-133					

L₁, cm; A, cm²; i, cm; N_{max}, kN; σ_{max}, N/mm² olarak verilmiştir.

Tablo 2.5 Boyutlandırma Sonuçları

L	b/h	a	Mes. D.	İç Diy.	L ₁ :Çubuk Boyu		m	4		L ₂ :Çubuk boyu		m	8					
					Benzer çubuk ad.	n.L ₁		Var	Yok	Benzer çubuk ad.	n.L ₂		Var	Yok				
							Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre	
							Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok
Dikmeler 1,11,...	2,12,...	200	6	1200	A	6.87	6.51	5.79	5.43	6.66	6.63	7.47	7.11	7.21	6.66	7.21	7.11	
					i	1.79	1.73	1.60	1.51	1.75	1.75	1.90	1.83	1.85	1.75	1.85	1.83	
					A.n.L ₁	8244	7812	6948	6516	7992	7956	14940	14220	14220	13320	14420	14220	
					Elv. Y.	B	E	B	E	B	E-B	B	E	B	B	B	B	
					E.Ç.	21	21	21	21	21	21	41	41	41	41	41	41	
					N _{max}	-41.69	-37.65	-29.27	-24.61	-39.79	-39.48	-49.50	-45.48	-45.33	-39.35	-46.11	-44.95	
					σ _{max}	-137	-137	-137	-137	-139	-139	-138	-140	-136	-138	-138	-139	
Entelemeler	3,13,...	200	6	1200	A	3.51	3.99	0.63	0.63	0.63	0.63	5.61	4.98	3.48	4.23	3.51	4.26	
					i	1.01	1.12	0.28	0.28	0.28	0.28	1.56	1.38	1.01	1.18	1.01	1.19	
					A.n.L ₁	4212	4788	756	756	756	756	11220	9960	6960	8460	7020	8520	
					Elv. Y.	E	E	E	-	-	-	E	E	E	E	E	E	
					E.Ç.	32	32	32	-	-	-	52	52	52	52	52	52	
					N _{max}	-7.23	-9.96	-2.53	0	0	0	-27.91	-19.27	-7.00	-11.11	-7.16	-11.83	
					σ _{max}	-140	-138	-40	0	0	0	-141	-141	-137	-131	-138	-136	
Üst Başlıklar	4,14,...	200	4	800	A	5.01	4.95	4.41	4.26	0.63	0.63	9.51	9.75	8.98	9.51	5.10	5.55	
					i	1.39	1.38	1.23	1.19	0.28	0.28	2.39	2.45	2.25	2.39	1.42	1.54	
					A.n.L ₁	4008	3960	3528	3408	504	504	15220	15600	14370	15220	8160	8880	
					Elv. Y.	E	B	E	B	-	-	E	B	E	B	E	B	
					E.Ç.	3	3	3	3	-	-	23	23	23	23	23	23	
					N _{max}	-19.59	-18.82	-13.46	-12.15	0	0	-79.98	-82.72	-70.35	-79.68	-20.34	-26.07	
					σ _{max}	-140	-138	-140	-139	0	0	-140	-138	-138	-139	-137	-137	
Alt Başlıklar	5,15,...	200	4	800	A	5.01	6.78	0.63	0.63	0.63	0.63	4.98	10.77	5.16	5.79	5.37	6.15	
					i	1.39	1.77	0.28	0.28	0.28	0.28	1.38	2.65	1.43	1.60	1.49	1.66	
					A.n.L ₁	4008	5424	504	504	504	504	7968	17230	8256	9264	8592	9840	
					Elv. Y.	B	B	-	-	-	-	E	B	E	B	E	B	
					E.Ç.	14	14	-	-	-	-	24	34	4	4	4	4	
					N _{max}	-19.84	-41.18	0	0	0	0	68.70	-97.28	-21.54	-29.45	-24.15	-33.93	
					σ _{max}	-142	-139	0	0	0	0	137	-139	-141	-138	-140	-139	
Düsey Diyağoneller	6,16,...	282.8	8	2262	A	9.51	9.87	10.44	10.56	9.57	9.75	8.82	9.45	9.93	9.84	9.42	9.48	
					i	2.39	2.48	2.59	2.61	2.40	2.45	2.21	2.37	2.49	2.47	2.36	2.38	
					A.n.L ₁	21520	22330	23620	23890	21650	22060	39910	42760	44930	44520	42620	42900	
					Elv. Y.	E	E	E	B	E	E-B	E	B	E	B	E	E	
					E.Ç.	25	25	25	25	25	25	65	45	65	65	45	45	
					N _{max}	-54.53	-58.37	-66.15	-67.67	-55.23	-56.94	-43.64	-52.73	-57.76	-58.58	-51.65	-53.17	
					σ _{max}	-141	-139	-139	-139	-141	-138	-140	-139	-134	-139	-137	-136	
Yatay Diyağoneller	7,17,...	282.8	8	2262	A	5.58	4.05	4.80	4.05	5.01	0.63	6.77	5.49	6.48	5.25	6.60	5.16	
					i	1.55	1.13	1.34	1.13	1.39	0.28	1.77	1.53	1.72	1.46	1.74	1.43	
					A.n.L ₁	12620	9163	10860	9163	11330	1425	30630	24840	29320	23760	29860	23350	
					Elv. Y.	B	E	B	E	B	-	B	E	B	E	B	E	
					E.Ç.	7	7	7	7	7	-	7	27	7	27	7	17	
					N _{max}	-13.66	-4.19	-8.04	-1.23	-9.66	0	-21.47	-12.71	-18.26	-11.62	-20.03	-10.88	
					σ _{max}	-141	-112	-129	-33	-138	0	-140	-137	-132	-144	-139	-143	
İç Diyağoneller	8,18,...	282.8	6	1996.8	A	7.56	-	6.06	-	6.45	-	8.04	-	7.83	-	7.80	-	
					i	1.92	-	1.64	-	1.71	-	2.01	-	1.96	-	1.96	-	
					A.n.L ₁	12830	-	10280	-	10940	-	22740	-	22140	-	22060	-	
					Elv. Y.	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-	
					E.Ç.	19	-	19	-	19	-	29	-	29	-	29	-	
					N _{max}	-27.32	-	-16.08	-	-19.31	-	-32.75	-	-30.05	-	-30.07	-	
					σ _{max}	-136	-	-137	-	-142	-	-139	-	-138	-	-139	-	

L₁, cm; A, cm²; i, cm; N_{max}, kN; σ_{max}, N/mm² olarak verilmiştir.

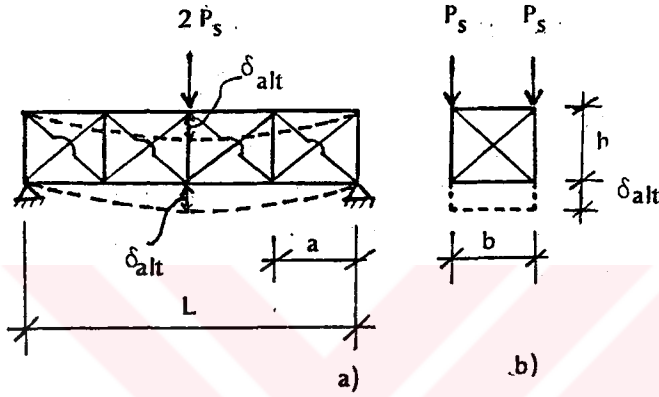
Tablo 2.5 Boyutlandırma Sonuçları

L	b/h	a	Mea. D.	İç Diy.	L ₁ :Çubuk Boyu		Benzer çubuk ad.		m		12		L ₁ :Çubuk boyu		Benzer çubuk ad.		6					
					2.00	14	28.00	m/m	2/2	n.L ₁	Kayıcı		Sabit		Ankastre		1.00	14	14.00	1/1		
											Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok				1		
																				Var	Yok	Var
Dikmeler 1,11,...					A	7.17	6.93	7.02	6.57	7.02	7.11	4.95	4.77	4.86	4.65	4.95	4.92					
					i	1.85	1.80	1.82	1.74	1.82	1.83	1.38	1.33	1.35	1.29	1.38	1.37					
					A.n.L ₁	20080	19400	19660	18400	19660	19910	6930	6678	6804	6510	6930	6888					
					Elev. Y.	B	E	B	B	B	B	B	E	B	B	B	B	B	B	B		
					E.Ç.	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61		
					N _{max}	-46.46	-43.29	-44.30	-38.05	-45.60	-44.83	-45.65	-42.99	-44.40	-40.35	-46.07	-44.79					
					σ _{max}	-140	-140	-139	-136	-143	-138	-138	-138	-136	-140	-137						
Enlemeler 2,12,...					A	5.94	5.31	4.32	4.68	4.32	4.74	2.90	2.43	2.13	2.28	2.13	2.28					
					i	1.62	1.48	1.21	1.30	1.21	1.32	0.92	0.85	0.74	0.80	0.74	0.80					
					A.n.L ₁	16630	14870	12100	13100	12100	13270	4060	3402	2982	3192	2982	3192					
					Elev. Y.	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E		
					E.Ç.	52	72	72	72	72	72	52	72	52	72	22	72					
					N _{max}	-30.87	-23.86	-12.35	-16.12	-11.55	-16.32	-17.69	-13.92	-9.57	-11.24	-9.48	-11.63					
					σ _{max}	-137	-142	-136	-141	-126	-137	-133	-142	-142	-133	-140	-138					
Üst Başlıklar 3,13,...					A	13.71	14.13	13.14	13.92	7.50	8.07	11.28	11.46	11.10	11.52	5.16	5.82					
					i	3.11	3.18	3.03	3.15	1.91	2.02	2.73	2.76	2.70	2.77	1.43	1.60					
					A.n.L ₁	32900	33910	31540	33410	18000	19370	13540	13750	13320	13820	6192	6984					
					Elev. Y.	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B					
					E.Ç.	43	43	43	43	43	12	43	43	43	43	43	113					
					N _{max}	-135.83	-141.6	-128.4	-139.0	-47.60	-57.77	-136.5	-141.5	-134.1	-140.2	-48.98	-57.64					
					σ _{max}	-139	-139	-139	-139	-132	-139	-139	-141	-139	-139	-140	-137					
Alt Başlıklar 4,14,...					A	9.24	15.39	7.08	8.34	7.38	8.54	10.26	12.78	4.98	6.06	5.40	6.33					
					i	2.32	3.37	1.83	2.09	1.88	2.15	2.56	2.97	1.38	1.64	1.50	1.69					
					A.n.L ₁	22180	36940	16990	20020	17710	20500	12310	15340	5976	7272	6480	7596					
					Elev. Y.	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B					
					E.Ç.	44	54	4	54	4	54	44	54	4	54	4	54					
					N _{max}	130.35	-158.36	-45.01	-61.54	-49.47	-65.14	143.40	-158.52	-45.87	-61.20	-52.11	-65.22					
					σ _{max}	141	-139	-139	-138	-142	-138	139	-139	-138	-138	-138	-139					
Dişey Diyagoneller 5,15,...					A	9.00	9.54	10.08	10.05	9.57	9.52	6.12	6.48	6.96	6.93	6.24	6.36					
					i	2.26	2.39	2.53	2.52	2.40	2.39	1.65	1.72	1.81	1.80	1.68	1.70					
					A.n.L ₁	61000	64660	68320	68110	64860	64520	20770	21990	23620	23520	21180	21580					
					Elev. Y.	E	B	E	B	E	E	E	B	E	B	E	E					
					E.Ç.	105	65	105	105	65	65	65	65	105	105	65	65					
					N _{max}	-46.40	-54.26	-61.83	-61.78	-51.42	-53.25	-50.43	-54.48	-61.64	-61.08	-51.68	-53.22					
					σ _{max}	-140	-139	-139	-140	-131	-137	-140	-138	-140	-140	-138	-138					
Yatay Diyagoneller 7,17,...					A	6.90	6.06	6.84	5.85	6.96	5.79	4.14	2.88	4.17	2.85	4.08	3.00					
					i	1.80	1.64	1.79	1.61	1.81	1.59	1.16	0.91	1.16	0.91	1.14	0.93					
					A.n.L ₁	46770	41070	46360	39650	47170	39240	14050	9774	14150	9672	13850	10180					
					Elev. Y.	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E					
					E.Ç.	27	47	27	47	27	17	27	47	27	17	27	17					
					N _{max}	-22.30	-16.11	-21.76	-14.97	-21.32	-14.54	-21.46	-9.61	-21.19	-9.46	-20.80	-10.60					
					σ _{max}	-138	-137	-137	-137	-129	-138	-134	-139	-131	-139	-136	-141					
İç Diyagoneller 9,19,...					A	7.89	-	7.80	-	7.74	-	4.56	-	4.56	-	4.59	-					
					i	1.98	-	1.96	-	1.95	-	1.27	-	1.27	-	1.28	-					
					A.n.L ₁	31240	-	30880	-	30640	-	9027	-	9027	-	9086	-					
					Elev. Y.	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-	B	-					
					E.Ç.	39	-	39	-	39	-	39	-	39	-	39	-					
					N _{max}	-30.88	-	-30.04	-	-30.06	-	-28.59	-	-28.37	-	-28.75	-					
					σ _{max}	-138	-	-139	-	-141	-	-141	-	-140	-	-139	-					

L₁, cm; A, cm²; I, cm; N_{max}, kN; σ_{max}, N/mm² olarak verilmiştir.

2.2. Eğilmede Çökme-Açıklık (δ -L) ilişkisi

Bölüm 2.1 de emniyet gerilmeleri yöntemine göre boyutlandırılan uzay kirişlerin, boyutlandırma işlemi yapılırken aynı zamanda servis yükünde düğüm noktalarının deplasmanları da elde edilmiştir. Eğilme etkisinde kalan kirişin orta enkesitindeki Şekil 2.11 de görülen alt ve üst noktadaki çökmeler (δ_z) Tablo 2.7-2.11 de verilmiştir.



Şekil 2.11

Bu değerlere göre sistemlerin herbiri için ayrı ayrı çökme-açıklık (δ -L), diyagramları çizilmiştir (Şekil 2.12). δ -L diyagramlarında çökmeler (δ) düşey ekseninde, açıklıklar (L) yatay ekseninde gösterilmiştir. Diyagramlarda çökme olarak, δ_{alt} , alt noktadaki düşey yerdeğiştirmeler alınmıştır.

Tablo 2.7

P _s = 12 t için orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açı Değişimleri																
Yükleme Durumu	L	m	4				4									
	b/h	m/m	1/1				1/1									
	a	m	1				2									
	Mesnetleme Durumu	Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre				
	İç Diyagonal	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok			
Eğilme	Üstte	δ_z	0.36	0.33	0.26	0.26	0.21	0.21	0.33	0.30	0.21	0.21	0.18	0.18		
	Altta	δ_z	0.33	0.29	0.22	0.22	0.18	0.17	0.29	0.25	0.17	0.17	0.14	0.14		
Eğilmeli Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.05	0.02	-0.07	0.03	-0.05	0.03	-0.04	0.01	-0.07	0.04	-0.05	0	
			δ_z	0.25	0.34	0.20	0.27	0.17	0.22	0.25	0.32	0.17	0.21	0.16	0.18	
		Alt Nokta	δ_x	0.06	0.06	-0.03	0.03	0.03	-0.03	0.09	0.07	0.04	0	0.04	0	
			δ_z	0.21	0.29	0.16	0.23	0.13	0.17	0.20	0.27	0.14	0.18	0.12	0.14	
	Dönme	θ_{sol}	110	40	100	-60	80	-60	130	60	110	40	90	0		
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.02	0.04	-0.04	0.05	-0.03	0.04	-0.02	0.02	-0.04	0.06	-0.04	0	
			δ_z	0.11	-0.01	0.06	-0.01	0.05	-0.01	0.08	-0.02	0.03	0	0.02	0	
		Alt Nokta	δ_x	0.05	0.05	0.02	-0.04	0.02	-0.04	0.07	0.06	0.04	0	0.05	0	
			δ_z	0.11	-0.01	0.07	-0.01	0.05	-0.01	0.09	-0.02	0.04	-0.01	0.03	0	
	Dönme	$\theta_{sağ}$	70	90	60	-90	50	-80	90	40	80	-60	90	0		
	Başlıklarda	Üst	$\theta_{ü}$	140	350	140	280	120	230	170	340	140	210	140	180	
		Alt	θ_a	100	300	90	240	80	180	110	290	100	190	90	140	
	Ortalama	Yatay	θ_y	120	325	115	260	100	205	140	315	120	200	115	160	
		Düşey	θ_d	90	65	80	-75	65	-70	110	50	95	-10	90	0	
		Açı D.	γ	30	260	35	335	35	275	30	265	25	210	25	160	
	Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.07	0.06	-0.11	0.08	-0.07	0.07	-0.05	0.04	-0.11	0.10	-0.09	0
				δ_z	0.14	0.34	0.14	0.28	0.12	0.22	0.17	0.34	0.14	0.22	0.14	0.18
			Alt Nokta	δ_x	0.11	0.11	0.06	-0.07	0.06	-0.08	0.17	0.14	0.09	0	0.09	0
				δ_z	0.10	0.30	0.09	0.23	0.07	0.18	0.12	0.29	0.10	0.19	0.09	0.14
		Dönme	θ_{sol}	180	50	170	-150	130	-150	220	100	200	-100	180	0	
Yukarı doğru yüklü yan kenarda		Üst Nokta	δ_x	-0.07	0.06	-0.11	0.08	-0.07	0.07	-0.05	0.04	-0.11	0.10	-0.09	0	
			δ_z	-0.14	-0.34	-0.14	-0.28	-0.12	-0.23	-0.17	-0.34	-0.14	-0.22	-0.14	-0.18	
		Alt Nokta	δ_x	0.11	0.11	0.06	-0.07	0.06	-0.08	0.17	0.14	0.09	0	0.09	0	
			δ_z	-0.10	-0.30	-0.09	-0.23	-0.07	-0.18	-0.12	-0.29	-0.10	-0.19	-0.09	-0.14	
Dönme		$\theta_{sağ}$	180	50	170	-150	130	-150	220	100	200	-100	180	0		
Başlıklarda		Üst	$\theta_{ü}$	280	680	280	560	240	440	340	680	280	440	280	360	
		Alt	θ_a	200	600	180	460	140	360	240	580	200	380	180	280	
Ortalama		Yatay	θ_y	240	640	230	510	190	400	290	630	240	410	230	320	
		Düşey	θ_d	180	50	170	-150	130	-150	220	100	200	-100	180	0	
		Açı D.	γ	60	590	60	660	60	550	70	530	40	510	50	320	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-5} radyan olarak verilmiştir.

Tablo 2. 8

P _s = 12 t için orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açılış Değişimleri																
Yükleme Durumu	L m		8						8							
	b/h m/m		1/1						1/1							
	a m		1						2							
	Mesnetleme Durumu		Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre			
	İç Diyagonal		Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok		
Eğilme	Üstte	δ_z	1.06	0.99	0.79	0.77	0.63	0.59	1.13	0.90	0.69	0.64	0.53	0.54		
	Altta	δ_z	1.02	0.95	0.76	0.73	0.59	0.55	1.09	0.85	0.66	0.60	0.53	0.50		
Eğilmeli Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.08	-0.02	-0.10	0.12	-0.09	0.17	-0.10	0.18	-0.12	-0.17	-0.11	0.13	
			δ_z	0.64	1.00	0.50	0.79	0.41	0.60	0.69	0.97	0.46	0.69	0.40	0.59	
		Alt Nokta	δ_x	0.11	0.19	0.07	-0.16	0.07	-0.17	0.12	0.21	0.08	-0.12	0.09	-0.13	
			δ_z	0.60	0.96	0.46	0.74	0.37	0.56	0.65	0.92	0.42	0.64	0.36	0.54	
	Dönme	θ_{sol}	190	210	170	-280	160	-340	220	30	200	50	200	-260		
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.05	0	-0.08	0.13	-0.07	0.18	-0.07	0.20	-0.03	-0.14	-0.08	0.14	
			δ_z	0.42	-0.01	0.29	-0.01	0.21	-0.01	0.44	-0.07	0.23	-0.05	0.16	-0.04	
		Alt Nokta	δ_x	0.10	0.18	0.06	-0.17	0.06	-0.18	0.10	0.19	0.06	-0.14	0.08	-0.15	
			δ_z	0.42	-0.01	0.30	-0.01	0.22	-0.01	0.44	-0.07	0.24	-0.05	0.17	-0.04	
	Dönme	$\theta_{sağ}$	150	180	140	-300	130	-360	170	-10	150	0	160	-290		
	Başlıklarda	Üst	$\theta_{ü}$	220	1010	210	800	200	610	250	1040	230	740	240	630	
		Alt	θ_a	180	970	160	750	150	570	210	990	180	690	190	580	
	Ortalama	Yatay	θ_y	200	990	185	775	175	590	230	1015	205	715	215	605	
		Düşey	θ_d	170	195	155	-290	145	-350	195	10	175	25	180	-275	
		Açı D.	γ	30	795	30	1065	30	940	35	1005	30	690	35	880	
	Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.13	0	-0.18	0.25	-0.16	0.34	-0.17	0.39	-0.21	-0.17	-0.20	0.27
				δ_z	0.22	1.02	0.21	0.80	0.20	0.62	0.25	1.03	0.23	0.74	0.24	0.63
			Alt Nokta	δ_x	0.21	0.38	0.13	-0.34	0.13	-0.35	0.22	0.41	0.14	-0.26	0.17	-0.28
				δ_z	0.18	0.97	0.16	0.76	0.15	0.58	0.20	0.99	0.18	0.69	0.19	0.58
		Dönme	θ_{sol}	340	380	310	-590	290	-690	390	20	350	-90	370	-550	
		Yukarı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.13	0	-0.18	0.25	-0.16	0.34	-0.17	0.39	-0.21	-0.17	-0.20	0.27
				δ_z	-0.22	-1.02	-0.21	-0.80	-0.20	-0.62	-0.25	-1.03	-0.23	-0.74	-0.24	-0.63
			Alt Nokta	δ_x	0.21	0.38	0.13	-0.34	0.13	-0.35	0.22	0.41	0.14	-0.26	0.17	-0.28
				δ_z	-0.18	-0.97	-0.16	-0.76	-0.15	-0.58	-0.20	-0.99	-0.18	-0.69	-0.19	-0.58
Dönme		$\theta_{sağ}$	340	380	310	-590	290	-690	390	20	350	-90	370	-550		
Başlıklarda		Üst	$\theta_{ü}$	440	2040	420	1600	400	1240	500	2060	460	1480	480	1260	
		Alt	θ_a	360	1940	320	1520	300	1160	400	1980	360	1380	380	1160	
Ortalama		Yatay	θ_y	400	1990	370	1560	350	1200	450	2020	410	1430	430	1210	
		Düşey	θ_d	340	380	310	-590	290	-690	390	20	350	-90	370	-550	
		Açı D.	γ	60	1610	60	2150	60	1890	60	2000	60	1520	60	1760	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-5} radyan olarak verilmiştir.

Tablo 2.9

P _s = 12 t için orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açılı Değişimleri																
Yükleme Durumu	L	m	12						12							
	b/h	m/m	1/1						1/1							
	a	m	1						2							
	Mesnetleme Durumu	Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre				
Eğilme	İç Diyagonal		Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok		
	Eğilme	Üstte	δ_z	2.14	2.04	1.63	1.58	1.23	1.16	2.27	1.87	1.44	1.32	1.15	1.06	
Altta		δ_z	2.10	2.00	1.59	1.54	1.19	1.12	2.23	1.82	1.41	1.28	1.11	1.02		
Eğilmeli - Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.10	-0.81	-0.13	0.45	-0.13	0.40	-0.14	2.13	-0.15	0.23	-0.15	0.35	
			δ_z	1.22	2.06	0.96	1.60	0.75	1.19	1.30	1.98	0.87	1.42	0.73	1.16	
		Alt Nokta	δ_x	0.16	0.42	0.12	-0.39	0.11	-0.40	0.16	0.44	0.11	-0.35	0.13	-0.36	
			δ_z	1.18	2.02	0.92	1.56	0.71	1.14	1.25	1.94	0.83	1.38	0.69	1.11	
	Dönme	θ_{sol}	260	1230	250	840	240	-800	300	-1690	260	-580	280	-710		
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.08	-0.79	-0.11	0.46	-0.11	0.41	-0.11	2.16	-0.12	0.26	-0.12	0.37	
			δ_z	0.92	-0.02	0.67	-0.02	0.48	-0.02	0.97	-0.12	0.57	-0.10	0.42	-0.10	
		Alt Nokta	δ_x	0.15	0.41	0.10	-0.40	0.10	-0.41	0.13	0.42	0.09	-0.37	0.11	-0.38	
			δ_z	0.92	-0.02	0.68	-0.02	0.48	-0.02	0.97	-0.12	0.58	-0.10	0.42	-0.10	
	Dönme	$\theta_{sağ}$	230	1200	210	-860	210	-820	240	-1740	210	-630	230	-750		
	Başlıklarda	Üst	θ_{ii}	300	2080	290	1620	270	1210	330	2100	300	1520	130	1260	
		Alt	θ_a	260	2040	240	1580	230	1160	280	2060	250	1480	270	1210	
	Ortalama	Yatay	θ_y	280	2060	265	1600	250	1185	305	2080	275	1500	290	1235	
		Düşey	θ_d	245	1215	230	-850	225	-810	270	-1715	235	-605	255	-730	
		Açılı D.	γ	35	845	35	2450	25	1995	35	380	40	2105	35	1965	
	Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.19	-1.67	-0.25	0.90	-0.24	0.81	-0.25	4.50	-0.27	0.49	-0.28	0.72
				δ_z	0.30	2.08	0.28	1.62	0.28	1.21	0.33	2.10	0.29	1.53	0.32	1.26
			Alt Nokta	δ_x	0.31	0.83	0.22	-0.79	0.21	-0.81	0.29	0.86	0.21	-0.72	0.24	-0.74
				δ_z	0.25	2.04	0.24	1.58	0.23	1.17	0.28	2.06	0.25	1.48	0.27	1.21
		Dönme	θ_{sol}	500	2500	4700	-1690	450	-1620	540	-3640	480	-1210	520	-1460	
		Yukarı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.19	-1.67	-0.25	0.90	-0.24	0.81	-0.25	4.50	-0.27	0.49	-0.28	0.72
				δ_z	-0.30	-2.08	-0.28	-1.62	-0.28	-1.21	-0.33	-2.10	-0.29	-1.53	-0.32	-1.26
			Alt Nokta	δ_x	0.31	0.83	0.22	-0.79	0.21	-0.81	0.29	0.86	0.21	-0.72	0.24	-0.74
				δ_z	-0.25	-2.04	-0.24	-1.58	-0.23	-1.17	-0.28	-2.06	-0.25	-1.48	-0.27	-1.21
Dönme		$\theta_{sağ}$	500	2500	470	-1690	450	-1620	540	-3640	480	-1210	520	-1460		
Başlıklarda		Üst	θ_{ii}	600	5160	560	3240	560	2420	660	4200	580	3060	640	2520	
		Alt	θ_a	500	4080	480	3160	460	2340	560	4120	500	2960	5400	2420	
Ortalama		Yatay	θ_y	550	4620	520	3200	510	2380	610	4160	540	3010	590	2470	
		Düşey	θ_d	500	2500	470	-1690	450	-1620	540	-364	480	-121	520	-1460	
		Açılı D.	γ	50	2120	50	4890	60	4000	70	781	60	422	70	3930	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-5} radyan olarak verilmiştir.

Tablo 2.10

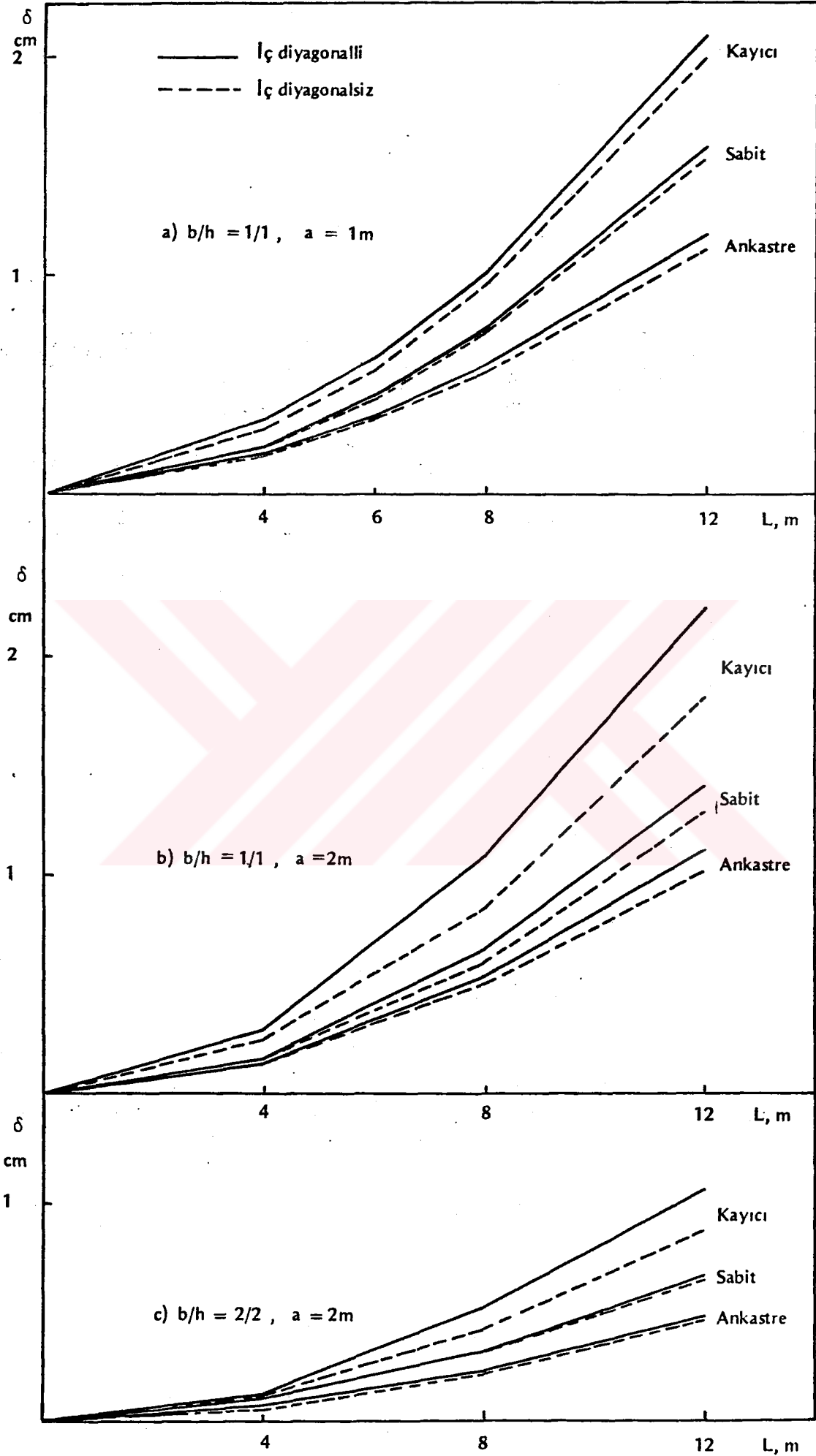
P _s = 12 t için orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açılış Değişimleri															
Yükleme Durumu	L	m	4				8								
	b/h	m/m	2/2				2/2								
	a	m	2				2								
	Mesnetleme Durumu	Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre			
Eğilme	İç Diyagonal	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok		
Eğilme	Ustte	δ_z	0.17	0.16	0.12	0.12	0.11	0.11	0.58	0.47	0.36	0.36	0.28	0.28	
	Altta	δ_z	0.12	0.11	0.08	0.08	0.06	0.05	0.52	0.41	0.31	0.31	0.23	0.22	
Eğilmeli Burulma	Aşağı doğru yükli yan kenarda	Ust Nokta	δ_x	-0.03	0	-0.05	0	-0.02	0	-0.06	0.04	-0.09	0.06	-0.06	0.04
			δ_z	0.14	0.17	0.11	0.12	0.10	0.11	0.38	0.48	0.27	0.37	0.21	0.29
		Alt Nokta	δ_x	0.04	0.03	0.01	0	0.01	0	0.08	0.10	0.04	-0.04	0.04	-0.05
			δ_z	0.09	0.11	0.07	0.08	0.05	0.05	0.32	0.42	0.21	0.32	0.16	0.23
	Dönme	θ_{sol}	35	15	30	0	15	0	70	30	65	-50	50	45	
	Yüksüz yan kenarda	Ust Nokta	δ_x	-0.01	0.01	-0.03	0.01	-0.01	0	-0.03	0.06	-0.06	0.08	-0.03	0.05
			δ_z	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0.20	-0.01	0.09	-0.01	0.06	-0.01
		Alt Nokta	δ_x	0.03	0.02	0.02	0	0.02	0	0.06	0.08	0.03	-0.05	0.03	-0.06
			δ_z	0.03	0	0.01	0	0.01	0	0.20	-0.01	0.10	-0.01	0.07	-0.01
	Dönme	$\theta_{sağ}$	20	5	25	-5	15	0	45	10	45	-65	3	-55	
	Başlıklarda	Ust	$\theta_{ü}$	60	85	5	6	45	55	9	245	9	19	75	15
		Alt	θ_a	30	55	30	40	20	25	60	215	55	165	45	120
	Ortalama	Yatay	θ_y	45	70	40	50	30	40	75	230	73	178	60	135
		Düşey	θ_d	28	10	28	-3	15	0	58	20	55	-58	40	-5
Açı D.		γ	17	60	12	53	15	40	17	210	18	236	20	140	
Burulma	Aşağı doğru yükli yan kenarda	Ust Nokta	δ_x	-0.03	0	-0.07	0.01	-0.04	0	-0.09	0.11	-0.14	0.13	-0.09	0.09
			δ_z	0.12	0.17	0.10	0.12	0.09	0.11	0.19	0.50	0.17	0.38	0.15	0.30
		Alt Nokta	δ_x	0.08	0.06	0.03	0	0.04	0	0.14	0.17	0.07	-0.10	0.07	-0.11
			δ_z	0.06	0.12	0.05	0.08	0.04	0.05	0.12	0.44	0.11	0.33	0.09	0.24
	Dönme	θ_{sol}	55	30	50	50	40	0	115	30	105	-115	80	-100	
	Yukarı doğru yükli yan kenarda	Ust Nokta	δ_x	-0.03	0	-0.07	0.01	-0.04	0	-0.09	0.11	-0.14	0.13	-0.09	0.09
			δ_z	-0.12	-0.17	-0.10	-0.12	-0.09	-0.11	-0.19	-0.50	-0.17	-0.38	-0.15	-0.30
		Alt Nokta	δ_x	0.08	0.06	0.03	0	0.04	0	0.14	0.17	0.07	-0.10	0.07	-0.11
			δ_z	-0.06	-0.12	-0.05	-0.08	-0.04	-0.05	-0.12	-0.44	-0.11	-0.33	-0.09	-0.24
	Dönme	$\theta_{sağ}$	55	30	50	-5	40	0	115	30	105	-115	80	-100	
	Başlıklarda	Ust	$\theta_{ü}$	120	170	100	120	90	110	190	500	17	380	150	300
		Alt	θ_a	60	120	50	80	40	50	120	440	110	330	90	240
	Ortalama	Yatay	θ_y	90	145	75	100	65	80	155	470	140	355	120	270
		Düşey	θ_d	55	30	50	-5	40	0	115	30	105	-115	80	-100
Açı D.		γ	35	115	25	105	25	80	40	440	35	470	40	370	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-5} radyan olarak verilmiştir.

Tablo 2.11

P _s = 12 t için orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açı Değişimleri																
Yükleme Durumu	L	m	12						6							
	b/h	m/m	2/2						1/1							
	a	m	2						1							
	Mesnetleme Durumu	Kayıcı		Sabit		Ankastre		Kayıcı		Sabit		Ankastre				
	İç Diyagonal	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok			
Eğilme	Üstte	δ_z	1.11	0.93	0.72	0.70	0.53	0.52	0.66	0.62	0.49	0.48	0.40	0.38		
	Altta	δ_z	1.06	0.87	0.67	0.65	0.48	0.46	0.62	0.57	0.45	0.44	0.36	0.34		
Eğilmeli Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.08	-0.04	-0.11	-0.09	-0.09	0.13	-0.06	0.03	-0.08	0.08	-0.07	0.09	
			δ_z	0.67	0.95	0.47	0.73	0.36	0.54	0.42	0.62	0.33	0.49	0.28	0.39	
		Alt Nokta	δ_x	0.11	0.19	0.07	-0.13	0.06	-0.13	0.08	0.12	0.05	-0.09	0.05	-0.09	
			δ_z	0.61	0.89	0.42	0.67	0.31	0.48	0.38	0.58	0.29	0.45	0.24	0.35	
	Dönme	θ_{sol}	95	115	90	-110	75	-130	140	90	130	-170	120	-180		
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.05	-0.02	-0.08	0.11	-0.06	0.14	-0.04	0.04	-0.06	0.09	-0.05	0.10	
			δ_z	0.44	-0.03	0.25	-0.02	0.17	-0.02	0.24	-0.01	0.16	-0.01	0.12	-0.01	
		Alt Nokta	δ_x	0.09	0.17	0.05	-0.14	0.05	-0.15	0.07	0.10	0.04	-0.10	0.04	-0.10	
			δ_z	0.44	-0.03	0.26	-0.02	0.17	-0.02	0.24	-0.01	0.16	-0.01	0.12	-0.01	
	Dönme	$\theta_{sağ}$	70	95	650	-125	55	-145	110	60	100	-190	90	-200		
	Başlıklarda	Üst	$\theta_{ü}$	115	490	110	375	80	280	180	630	170	500	160	400	
		Alt	θ_a	85	460	90	345	70	250	140	590	130	460	120	360	
	Ortalama	Yatay	θ_y	100	475	100	360	75	265	160	610	150	480	140	380	
		Düşey	θ_d	83	105	-178	-118	65	-138	125	75	115	-180	105	-190	
		Açı D.	γ	17	370	22	478	10	403	35	535	35	660	35	570	
	Burulma	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.13	-0.06	-0.19	0.20	-0.15	0.27	-0.10	0.07	-0.15	0.18	-0.12	0.18
				δ_z	0.23	0.98	0.22	0.75	0.20	0.56	0.18	0.63	0.17	0.50	0.16	0.40
			Alt Nokta	δ_x	0.20	0.37	0.12	-0.27	0.11	-0.28	0.15	0.22	0.09	-0.18	0.09	-0.19
				δ_z	0.17	0.92	0.16	0.69	0.14	0.50	0.14	0.59	0.13	0.46	0.11	0.36
Dönme		θ_{sol}	165	215	155	-235	130	-275	250	150	240	-360	210	-370		
Yukarı doğru yüklü yan kenarda		Üst Nokta	δ_x	-0.13	-0.06	-0.19	0.20	-0.15	0.27	-0.10	0.07	-0.15	0.18	-0.12	0.18	
			δ_z	-0.23	-0.98	-0.22	-0.75	-0.20	-0.56	-0.18	-0.63	-0.17	-0.50	-0.16	-0.40	
		Alt Nokta	δ_x	0.20	0.37	0.12	-0.27	0.11	-0.28	0.15	0.22	0.09	-0.18	0.09	-0.19	
			δ_z	-0.17	-0.92	-0.16	-0.69	-0.14	-0.50	-0.14	-0.59	-0.13	-0.46	-0.11	-0.36	
Dönme		$\theta_{sağ}$	165	215	155	235	130	-275	250	150	240	-360	210	-370		
Başlıklarda		Üst	$\theta_{ü}$	230	980	220	750	200	560	360	1260	340	1000	320	800	
		Alt	θ_a	170	920	160	690	140	500	280	1180	260	920	220	720	
Ortalama		Yatay	θ_y	200	950	190	720	170	530	320	1220	300	960	270	760	
		Düşey	θ_d	165	215	155	-235	130	-275	250	150	240	-360	210	-370	
		Açı D.	γ	35	735	35	955	40	805	70	1070	60	1320	60	1130	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-5} radyan olarak verilmiştir.



Şekil 2.12. Eğilmede $\delta-L$ (servis yükünde)

2.3. Eğilmede Yük-Çökme-Açıklık (P- δ -L) İlişkisinin Değerlendirilmesi

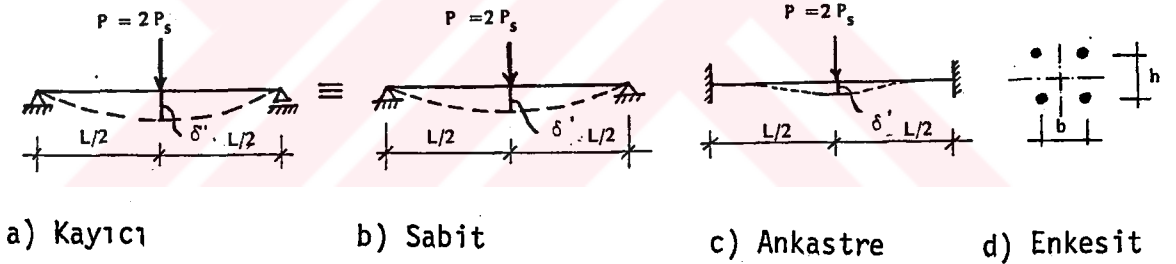
Bilgisayarla uzay kafes kirişlerin eğilmeye göre çözümünden elde edilen çökmeler daha önceki bölümde tablolar halinde verilmiştir (Tablo 2.8-2.12).

Bu kez aynı uzay kafes kirişleri, sürekli mafsalsız, sadece alt ve üst başlıklardan oluşan dolu gövdeli kiriş olarak düşünüp (diyagonal etkilerini hesaba katmadan), bu kirişlerde oluşan çökmeler (δ' 'ler) mukavemet formülleri ile hesaplanmıştır.

Mukavemet formüllerine göre ortasından tekil bir yükün etkisinde olan bir kirişin çökmesi,

$$\delta' = K' \frac{PL^3}{EI} \quad (2.1)$$

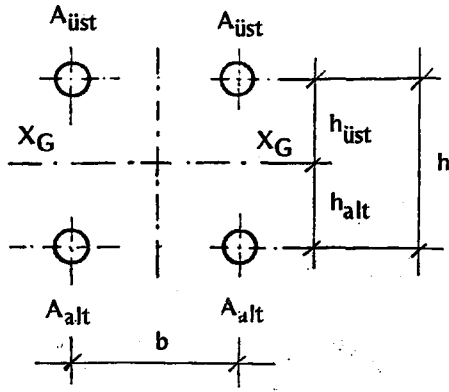
dir. Buradaki katsayı kayııcı ve sabit kirişler için $K' = 1/48 = 0.0208$, ankastre kirişler için de $K' = 1/192 = 0.0052$ dir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13

Kirişlerin orta enkesitinde bu bağıntılar yardımıyla hesaplanan çökmeler Tablo 2.12-2.15 de verilmiştir. Burada kesitin atalet momenti aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Önce Şekil 2.14 de gösterilen sadece halka kesitli başlıklardan oluşan kesitin ağırlık merkezi bulunur. Başlıkların ağırlık merkezine uzaklıkları,



Şekil 2.14

$$h_{alt} = \frac{2 A_{üst} \cdot h}{2(A_{üst} + A_{alt})} = \frac{A_{üst} \cdot h}{A_{üst} + A_{alt}} \quad (2.2)$$

$$h_{üst} = \frac{2 A_{alt} \cdot h}{2(A_{üst} + A_{alt})} = \frac{A_{alt} \cdot h}{A_{üst} + A_{alt}} \quad (2.3)$$

olarak elde edildikten sonra, bu kesitin atalet momenti:

$$I = 2(i_{ü}^2 \cdot A_{üst} + A_{üst} \cdot h_{üst}^2) + 2(i_a^2 \cdot A_{alt} + A_{alt} \cdot h_{alt}^2) \quad (2.4)$$

$$= 2 A_{üst} (i_{ü}^2 + h_{üst}^2) + 2 A_{alt} (i_a^2 + h_{alt}^2) \quad (2.5)$$

olarak hesaplanır. Burada $i_{ü}^2$ ve i_a^2 ler h^2 yanında ihmal edilirse (i^2 lerin I ya katkısı, sonucu en fazla %1 değiştirdiği için ihmal edilebilir),

$$I = 2 A_{üst} \cdot h_{üst}^2 + 2 A_{alt} \cdot h_{alt}^2 \quad (2.6)$$

olarak bulunur.

Uzay kafes kirişlerin orta kesitin alt noktasındaki çökme,

$$\delta = K \frac{PL^3}{EI} \quad (2.7)$$

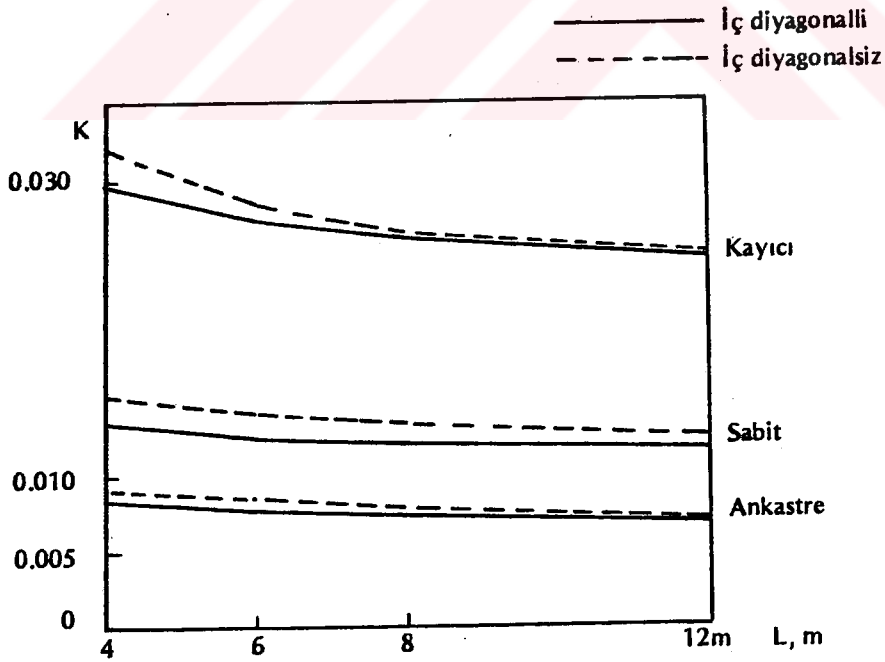
olarak ifade edilirse buradan;

$$K = \frac{\delta \cdot EI}{PL^3} \quad (2.8)$$

olur.

Tablo 2.13 ve 2.16 da bilgisayar sonuçları ile elde edilen orta kesit alt noktadaki çökmelerden yararlanarak bu K katsayıları hesaplanmıştır. Bu tablolarda ayrıca bilgisayar çözümüyle elde edilenle mukavemet formülleriyle elde edilen çökmelerin oranları da (δ/δ') bulunmuştur.

K değerlerinin, açıklığa göre değişimini veren K-L eğrişi Şekil 2.15 de görülmektedir.



Şekil 2.15. Eğilmede K-L

Tablo 2.12. $P_3 = 120$ kN için Eğilme Yüklemesinde Orta Kesit Alt Kenardaki Çükmelelerin Karşılaştırılması ($E = 21000$ kN/cm²)

L	m	$\frac{PL^3}{E}$	b/h	a/h	Mesnetleme Durumu	İç Diyağonal	A		h _{üst}	h _{alt}	I	δ	$K = \frac{\delta I}{PL^3/E}$	K'	$\delta = K' \frac{PL^3}{I}$	$\frac{\delta}{\delta'}$												
							üst	alt									cm ²	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm	cm					
4		$\frac{240.400^3}{21000}$	1/1	1/1	Kayıcı	Var	7.44	5.85	44.02	55.98	65499	0.33	0.0296	0.0208	0.232	1.422												
																	Sabit	Yok	7.68	8.55	52.68	47.32	80917	0.29	0.0321	0.0208	0.188	1.543
																	Kayıcı	Yok	7.47	3.84	33.95	66.05	50725	0.22	0.0153	0.0208	0.300	0.733
																	Ankastre	Yok	3.72	4.14	52.67	47.33	39188	0.17	0.0091	0.0052	0.097	1.753
					Kayıcı	Var	6.54	4.35	39.94	66.06	58831	0.29	0.0233	0.0208	0.259	1.120												
																	Sabit	Yok	7.56	8.85	53.93	46.07	81543	0.25	0.0279	0.0208	0.187	1.337
																	Kayıcı	Yok	5.61	0.63	10.10	89.90	11328	0.17	0.0026	0.0208	1.343	0.127
																	Ankastre	Yok	0.63	0.63	50	50	06300	0.14	0.0012	0.0052	0.604	0.232
Kayıcı	Var	5.01	5.01	100	100	200400	0.12	0.0329	0.0208	0.076	1.579																	
												Sabit	Yok	4.95	6.78	115.60	84.40	22889	0.11	0.0344	0.0208	0.066	1.657					
																								Ankastre	Var	4.41	0.63	25
												Kayıcı	Yok	4.26	0.63	25.77	174.23	43907	0.08	0.0048	0.0208	0.346	0.231					
																								Sabit	Var	0.63	0.63	100
												Ankastre	Yok	0.63	0.63	100	100	25200	0.05	0.0017	0.0052	0.151	0.331					

Tablo 2.14 $P_5 = 120 \text{ kN}$ için Eğilme Yüklemesinde Orta Kesit Alt Kenardaki Çökmelerin Karşılaştırılması ($E = 21000 \text{ kN/cm}^2$)

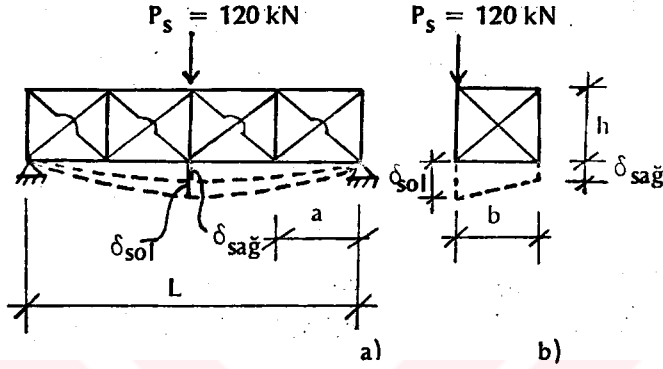
L m	$\frac{PL^3}{E}$ cm ³	b/h	a/h	Mesnetleme Durumu	İç Diagonal	A _{üst} cm ²	A _{alt} cm ²	h _{üst} cm	h _{alt} cm	I cm ⁴	δ cm	$K = \frac{\delta I}{PL^3/E}$	K'	$\delta' = K' \frac{PL^3}{I}$ cm	$\frac{\delta}{\delta'}$
8	240.800^3 21000	1/1		Kayıcı	Var	15.24	14.58	48.89	51.11	149027	1.02	0.0260	0.0208	0.817	1.248
					Yok	15.24	17.24	53.08	46.92	161784	0.95	0.0263	0.0208	0.752	1.263
				Sabit	Var	15.18	6.90	31.25	68.75	94875	0.76	0.0123	0.0208	1.283	0.592
					Yok	15.48	8.34	35.01	64.99	108399	0.73	0.0135	0.0208	1.143	0.639
				Ankastre	Var	7.23	7.47	50.82	49.18	73480	0.59	0.0074	0.0052	0.414	1.425
					Yok	7.98	8.52	51.64	48.36	82412	0.55	0.0077	0.0052	0.369	1.491
	5851428	2/1		Kayıcı	Var	14.01	8.01	36.38	63.62	101926	1.09	0.0190	0.0208	1.194	0.913
					Yok	16.20	17.64	52.13	47.87	168894	0.85	0.0245	0.0208	0.721	1.179
				Sabit	Var	12.51	5.85	31.86	68.14	79721	0.66	0.0090	0.0208	1.529	0.432
					Yok	15.48	7.65	33.07	66.93	102397	0.60	0.0105	0.0208	1.189	0.505
				Ankastre	Var	6.18	6.44	51.03	48.97	63073	0.53	0.0057	0.0052	0.482	1.100
					Yok	8.08	8.40	50.97	49.03	82369	0.50	0.0070	0.0052	0.369	1.355
	2/2		Kayıcı	Var	9.51	4.98	68.74	131.26	261476	0.52	0.0232	0.0208	0.465	1.118	
				Yok	9.75	10.77	95.03	104.97	413441	0.41	0.0290	0.0208	0.294	1.395	
			Sabit	Var	8.98	5.16	72.98	127.02	262160	0.31	0.0139	0.0208	0.464	0.668	
				Yok	9.51	5.79	75.69	124.31	287911	0.31	0.0153	0.0208	0.423	0.733	
			Ankastre	Var	5.10	5.37	102.58	97.42	209261	0.23	0.0082	0.0052	0.145	1.586	
				Yok	5.55	6.15	105.13	94.87	233885	0.22	0.0088	0.0052	0.130	1.692	

Tablo 2.15 $P_s = 120$ kN için Eğilme Yüklemeinde Orta Kesit Alt Kenardaki Çökmelerin Karşılaştırılması ($E = 21000$ kN/cm²)

L	$\frac{PL^3}{E}$	b/h	a/h	Mesnetleme Durumu	İç Diagonal	A üst	A alt	h üst	h alt	I	δ	$K = \frac{\delta I}{PL^3/E}$	K'	$\delta = K \frac{PL^3/E}{I}$	$\frac{\delta}{\delta'}$
m	cm ³	m/m	m/m			cm ²	cm ²	cm	cm	cm ⁴	cm			cm	
12	2401200^3 21000	1/1	1/1	Kayıcı	Var	22.71	23.20	50.53	49.47	229524	2.10	0.0244	0.0208	1.790	1.173
					Yok	23.19	25.62	52.49	47.51	243445	2.00	0.0247	0.0208	1.687	1.186
					Var	22.63	10.77	32.25	67.75	145943	1.59	0.0118	0.0208	2.815	0.565
				Ankastre	Yok	23.31	12.51	34.92	65.08	162819	1.54	0.0127	0.0208	2.523	0.610
					Var	11.22	11.43	50.46	49.54	113240	1.19	0.0068	0.0052	0.907	1.312
					Yok	12.09	12.63	51.09	48.91	123541	1.12	0.0070	0.0052	0.831	1.348
		2/1	2/1	Kayıcı	Var	21.63	15.44	41.65	58.35	180182	2.23	0.0203	0.0208	2.280	0.978
					Yok	24.69	25.92	51.22	48.78	252901	1.82	0.0233	0.0208	1.624	1.121
					Var	20.31	8.94	30.56	69.44	124151	1.41	0.0089	0.0208	3.309	0.426
				Ankastre	Yok	24.30	11.43	31.99	68.01	155471	1.28	0.0101	0.0208	2.642	0.484
					Var	9.72	9.87	50.38	49.62	97944	1.11	0.0055	0.0052	1.048	1.059
					Yok	12.39	12.57	50.36	49.64	124794	1.02	0.0064	0.0052	0.823	1.239
2/2	2/2	Kayıcı	Var	13.71	9.24	80.52	119.48	441587	1.06	0.0237	0.0208	0.932	1.140		
			Yok	14.13	15.39	104.26	95.74	589324	0.87	0.0260	0.0208	0.697	1.248		
			Var	13.14	7.08	70.02	129.98	368076	0.67	0.0125	0.0208	1.116	0.600		
		Ankastre	Yok	13.92	8.34	74.93	125.07	417225	0.65	0.0137	0.0208	0.984	0.661		
			Var	7.50	7.38	99.19	100.81	297581	0.48	0.0072	0.0052	0.345	1.391		
			Yok	8.07	8.54	102.83	97.17	331934	0.46	0.0077	0.0052	0.309	1.489		

2.4. Eğilmeli Burulmada Çökme-Açıklık (δ -L) İlişkisi

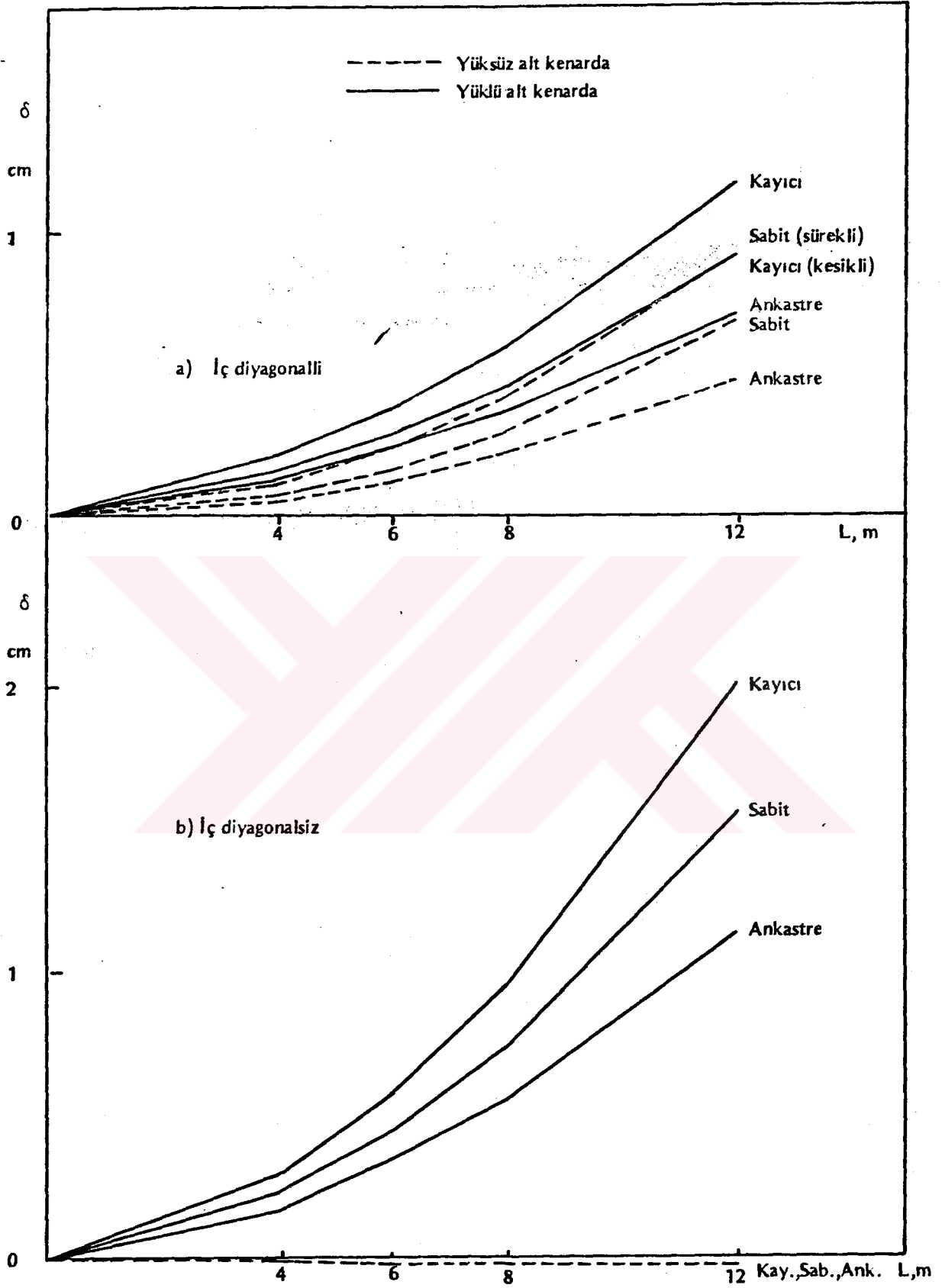
Bölüm 2.1 de uzay kafes kirişlerin servis yükünde emniyet gerilmeleri yöntemine göre, boyutlandırma işlemleri yapılırken aynı zamanda düğüm noktalarının yatay ve düşey deplasmanları da elde edilmiştir (Şekil 2.16).



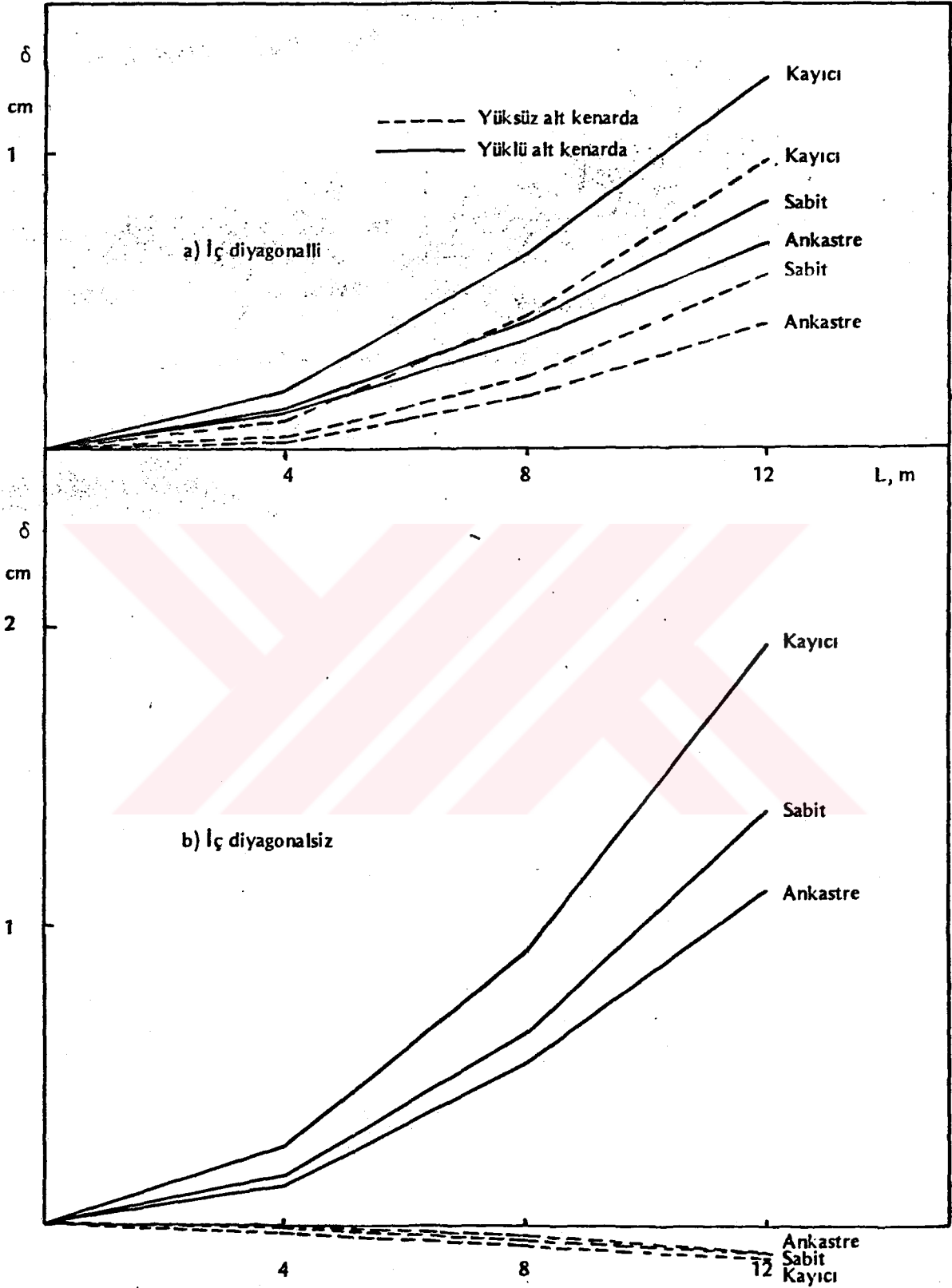
Şekil 2.16

Eğilmeli burulmada uzay kafes kirişlerin orta kesitinde alt ve üst noktadaki yatay ve düşey deplasmanlar Tablo 2.7-2.11 de verilmiştir. Bu değerlere göre sistemlerin herbiri için ayrı ayrı çökme-açıklık, δ -L, diyagramları çizilmiştir (Şekil 2.17-2.19).

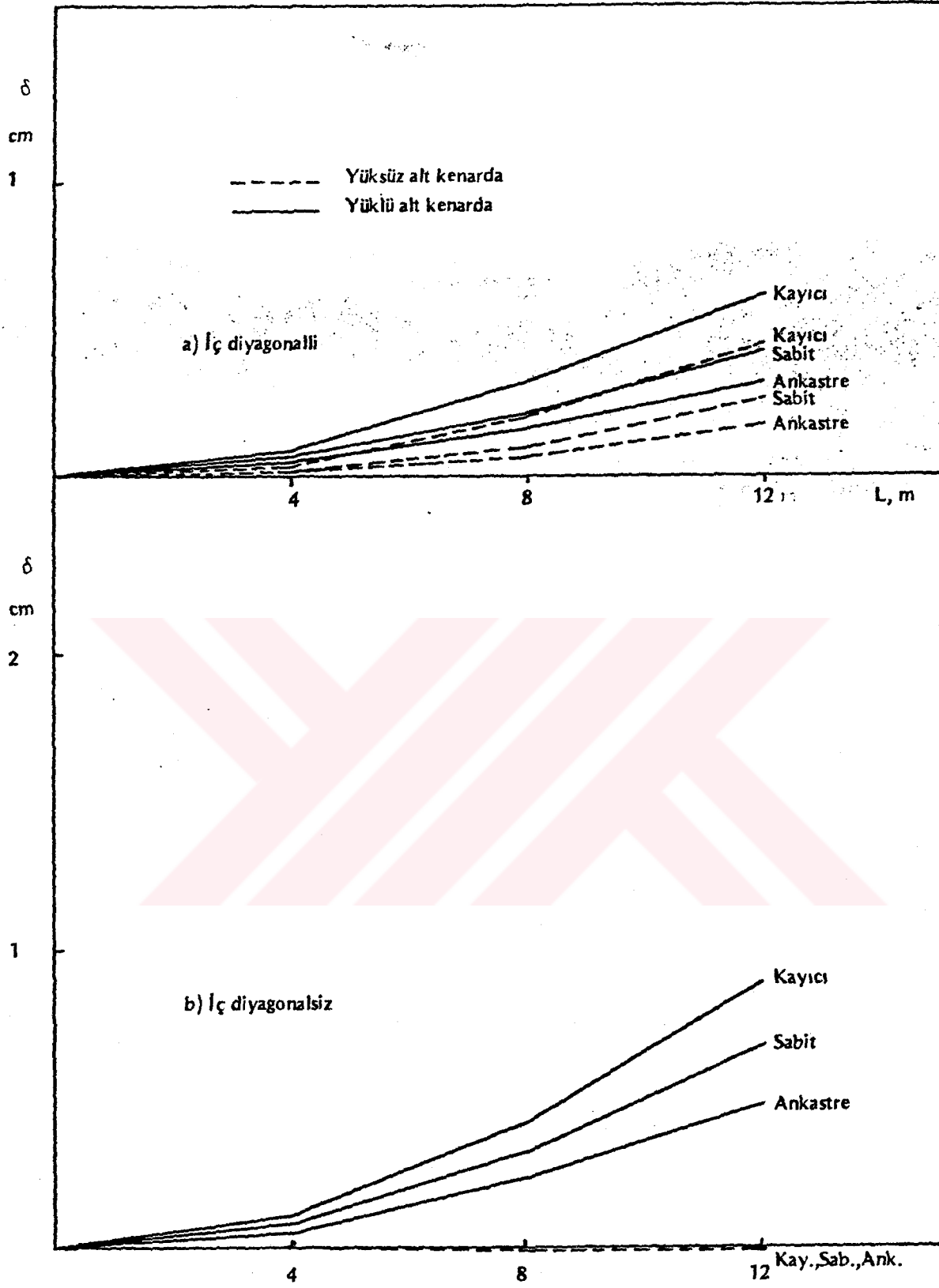
Bölüm 2.2.1 dekine benzer şekilde, burada da δ -L diyagramlarında çökme δ düşey ekseninde açıklık L yatay ekseninde gösterilmiştir. Diyagramlarda çökme olarak alt noktadaki düşey deplasmanlar alınmıştır.



Şekil 2.17. Eğilmeli burulmada $\delta-L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 1m$)



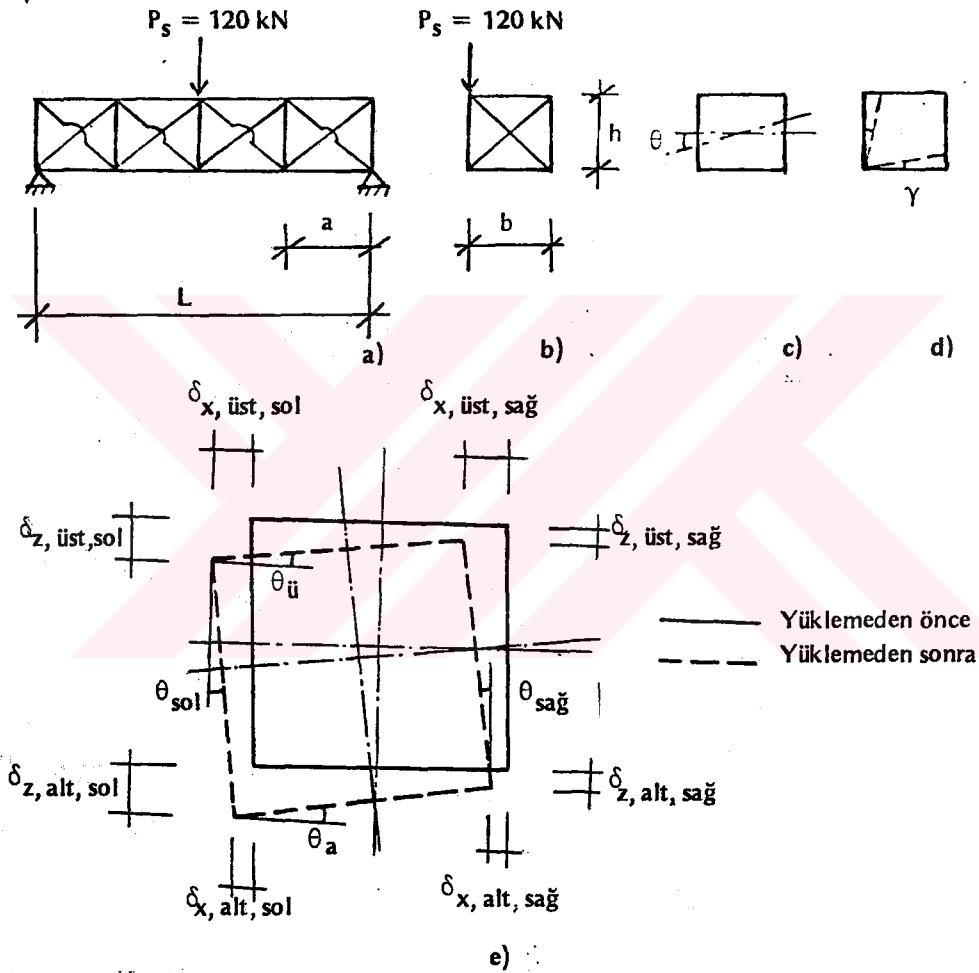
Şekil 2.18. Eğilmeli burulmada $\delta - L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 2m$)



Şekil 2.19 Eğilmeli burulmada δ -L (servis yükünde) ($b/h = 2/2$, $a = 2m$)

2.5. Eğilmeli Burulmada Dönme-Açıklık (θ -L) ve Açık Değişimi-Açıklık (γ -L) ilişkisi

Eğilmeli burulmada orta enkesitteki noktaların deplasmanları yatay (δ_x) ve dikey (δ_z) olarak Tablo 2.7-2.11 de verilmiştir. Orta kesitteki şekil değiştirmelere ait tipik birer örnek ($L=4m$ ve $b/h=1/1$ ve $a=1m$ için) Şekil 2.21 de görülmektedir. Servis yükünde dönme ve açı değişimleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmış ve yine aynı tablolarda verilmiştir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20

Düşey dönme: solda,

$$\theta_{\text{sol}} = \frac{\delta_{x,\text{üst,sol}} - \delta_{x,\text{alt,sol}}}{h} \quad (2.9)$$

dır. Sağda ise,

$$\theta_{\text{sağ}} = \frac{\delta_{x,\text{üst,sağ}} - \delta_{x,\text{alt,sağ}}}{h} \quad (2.10)$$

dır.

Yatay dönme: Üstte,

$$\theta_{\text{ü}} = \frac{\delta_{z,\text{üst,sol}} - \delta_{z,\text{üst,sağ}}}{b} \quad (2.11)$$

dır. Altta ise,

$$\theta_{\text{a}} = \frac{\delta_{z,\text{alt,sol}} - \delta_{z,\text{alt,sağ}}}{b} \quad (2.12)$$

dır.

Eksendeki yatay dönme,

$$\theta_y = \frac{\theta_{\text{ü}} + \theta_{\text{a}}}{2} \quad (2.13)$$

dır. Eksendeki düşey dönme ise,

$$\theta_d = \frac{\theta_{\text{sol}} + \theta_{\text{sağ}}}{2} \quad (2.14)$$

dır.

Açı değişimi ise,

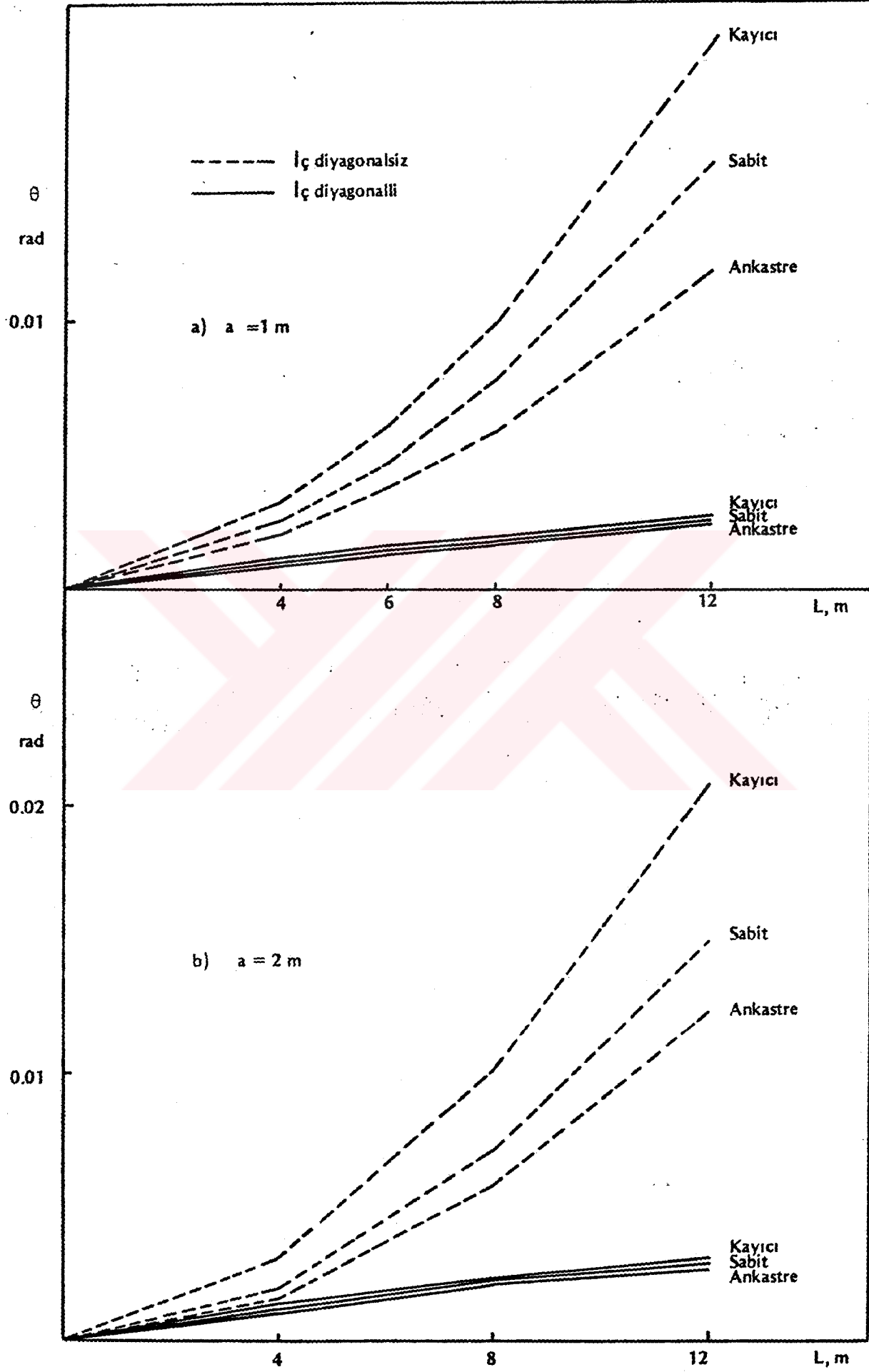
$$\gamma = \theta_{\text{büyük}} - \theta_{\text{küçük}} \quad (2.15)$$

dır. Burada $\theta_{\text{büyük}}$, θ_y ve θ_d den büyük olanı, $\theta_{\text{küçük}}$, θ_y ve θ_d den küçük olanıdır.

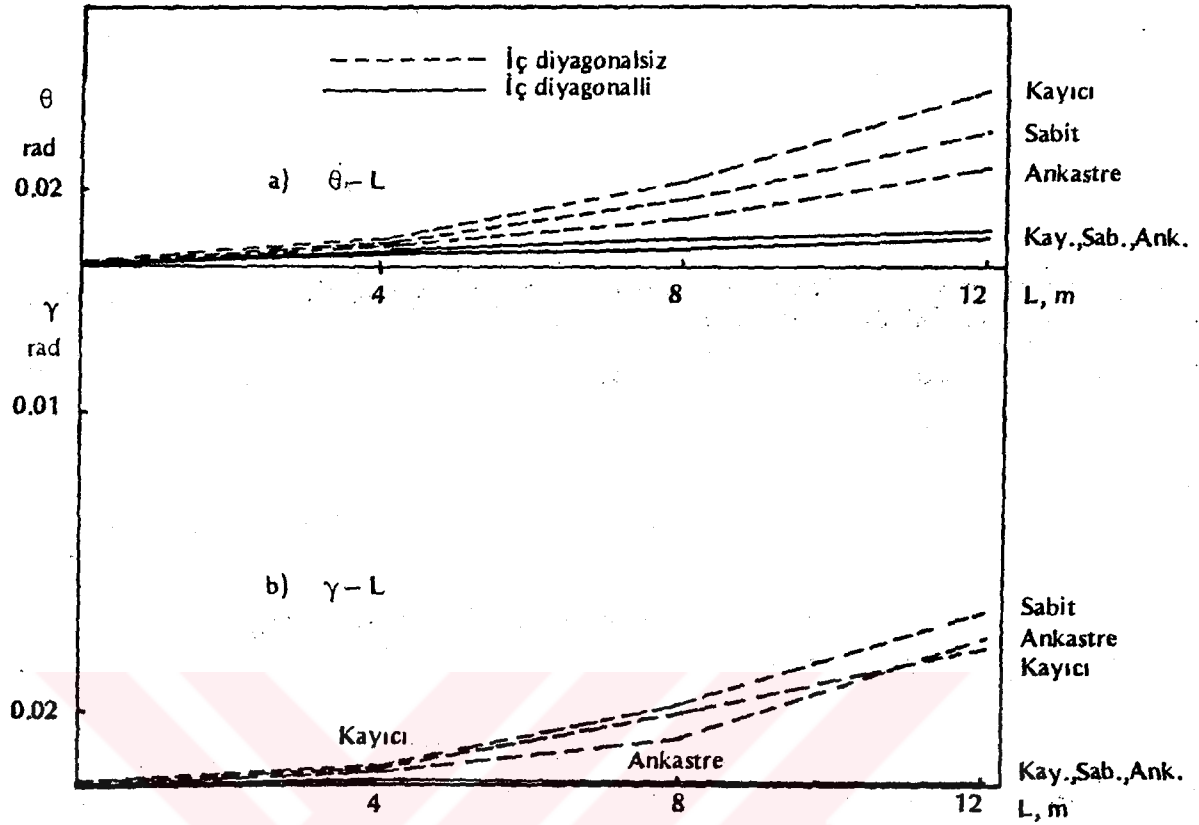
Bu değerlere göre sistemlerin herbiri için ayrı ayrı dönme-açıklık, θ -L ve açı değişimi-açıklık, γ -L, ilişkileri diyagramla gösterilmiştir (Şekil 2.22-2.25).

			$h/L = 1/4$	$b/h = 1/1$	$a/h = 1/1$		
Kayıcı Sistem	Sabit Sistem	Ankastre Sistem				Yükleme Durumu	
						Eğilmeli Burulma	İÇ DİYAGONALLI SİSTEM
						Burulma	
						Eğilmeli Burulma	İÇ DİYAGONALSIZ SİSTEM
						Burulma	

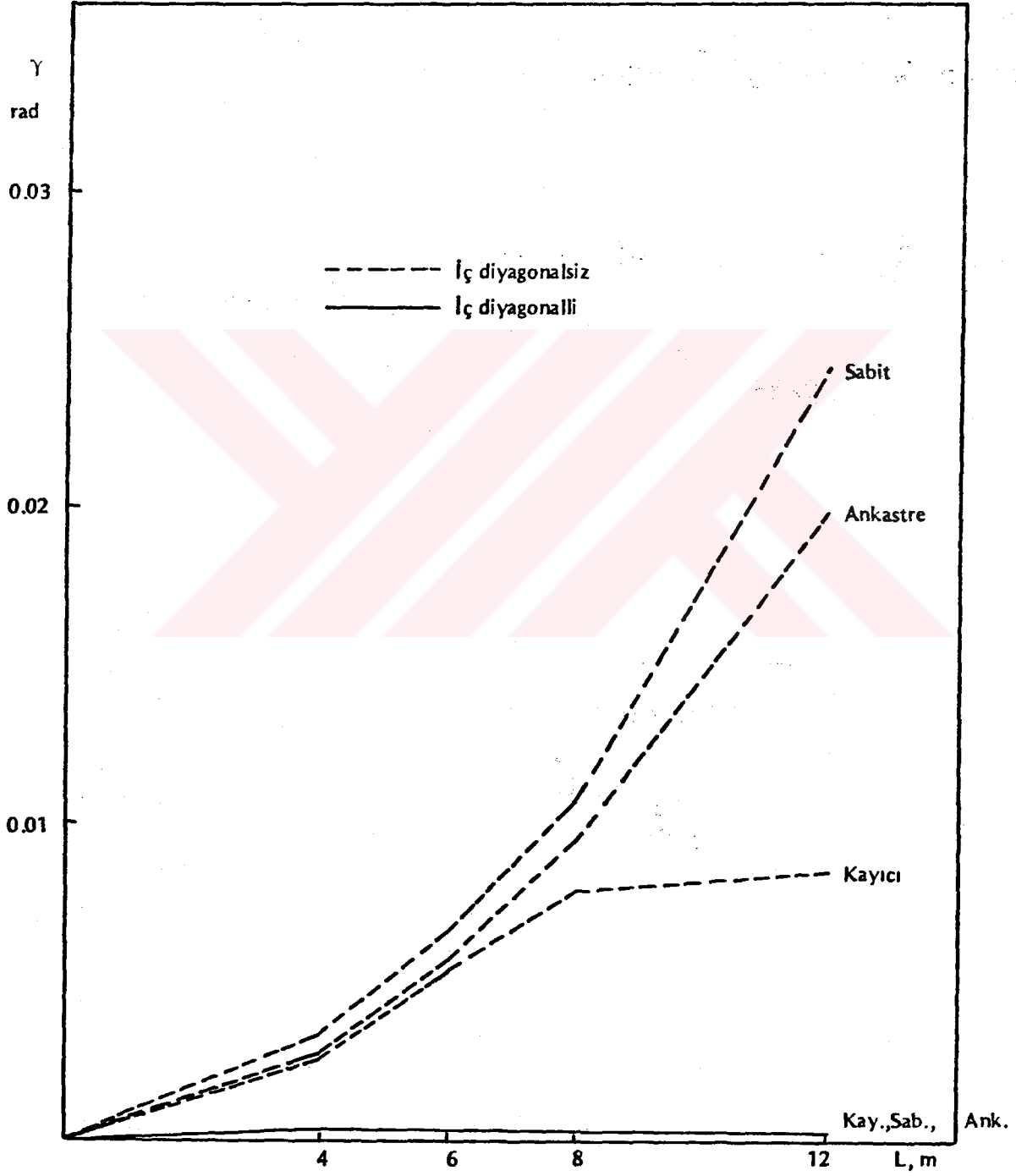
Şekil 2.21. Orta Kesitteki Şekil Değişirme Örneği



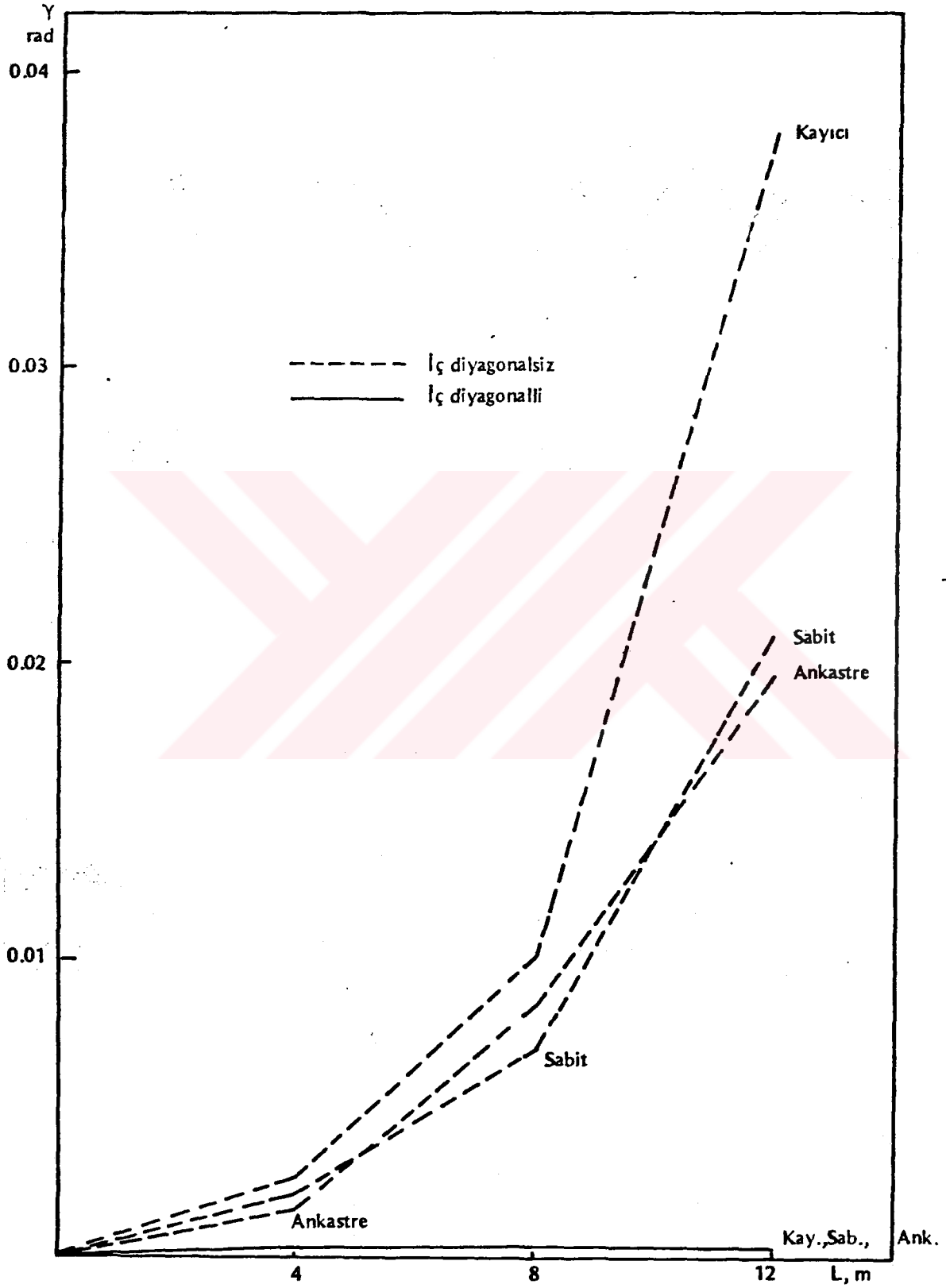
Şekil 2.22. Eğilmeli burulmada $\theta - L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$)



Şekil 2.23. Eğilmeli burulmada $\theta-L$ ve $\gamma-L$ (servis yükünde) ($b/h = 2/2$, $a = 2m$)



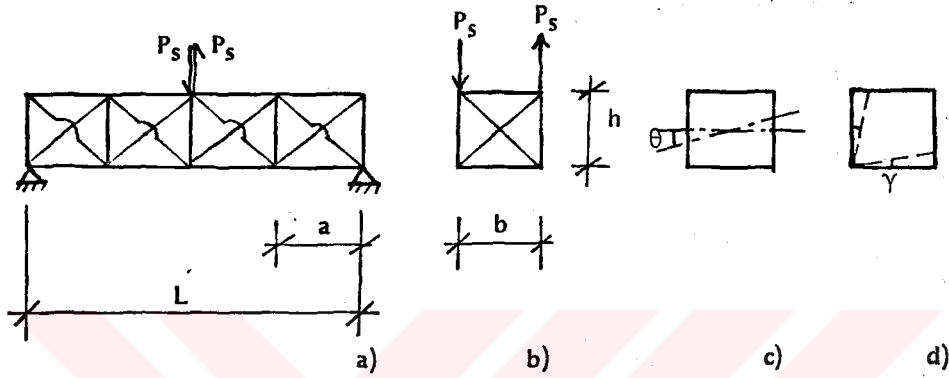
Şekil 2.24. Eğilmeli burulmada $\gamma - L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 1/1$)



Şekil 2.25. Eğilmeli burulmada $\gamma - L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 2m$)

2.6. Burulmada Dönme-Açıklık ($\theta-L$) ve Açık Değişimi-Açıklık ($\gamma-L$) ilişkisi

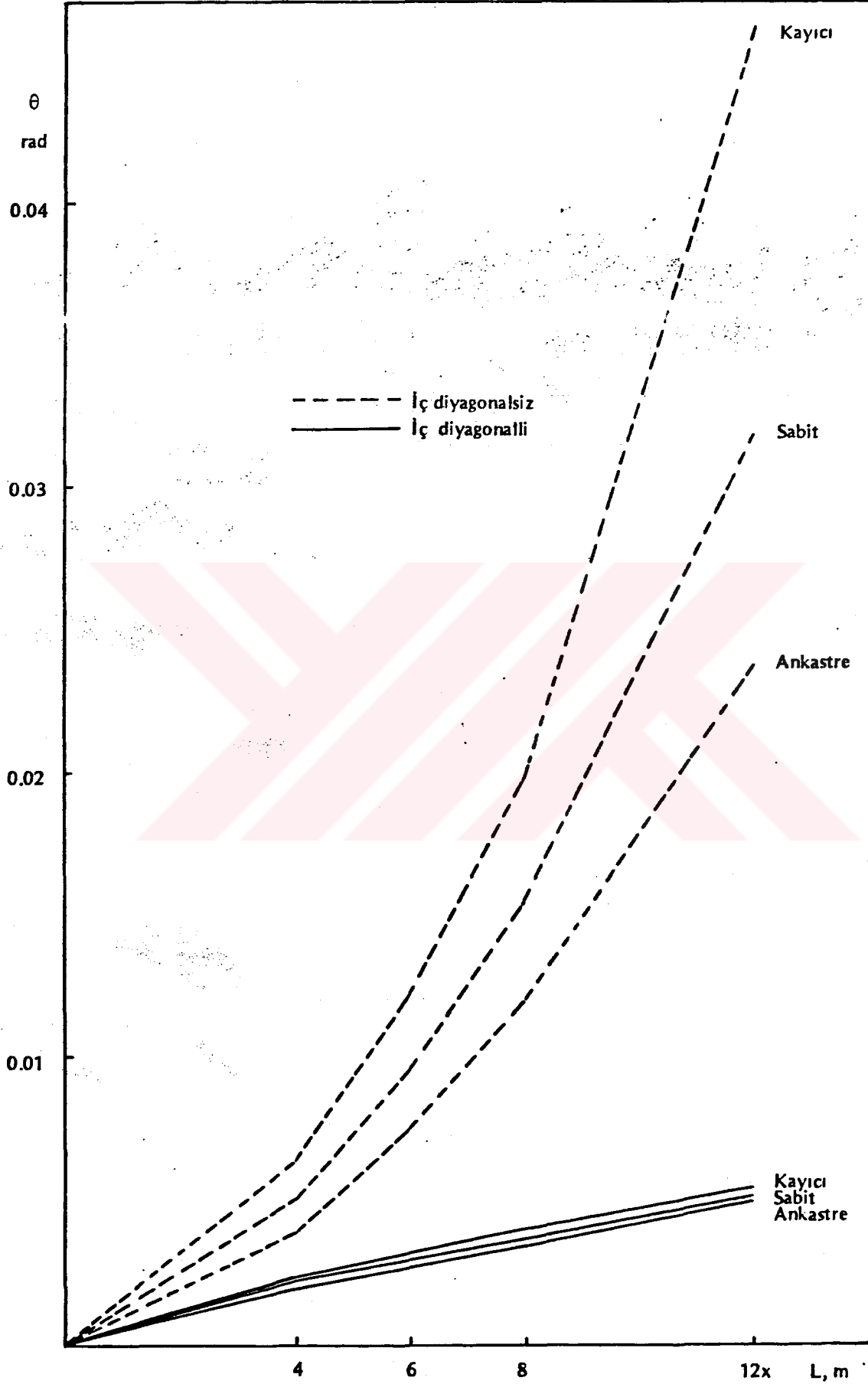
Şekil 2.26 da görülen burulma yüklemesinde orta enkesitteki düğüm noktalarının yatay ve dikey deplasmanları, Tablo 2.7-2.11 de verilmiştir. Orta enkesitteki şekil değiştirmelere tipik birer örnek $L=4m$, $b/h=1/1$ ve $a=1m$ için Şekil 2.17 de gösterilmiştir.



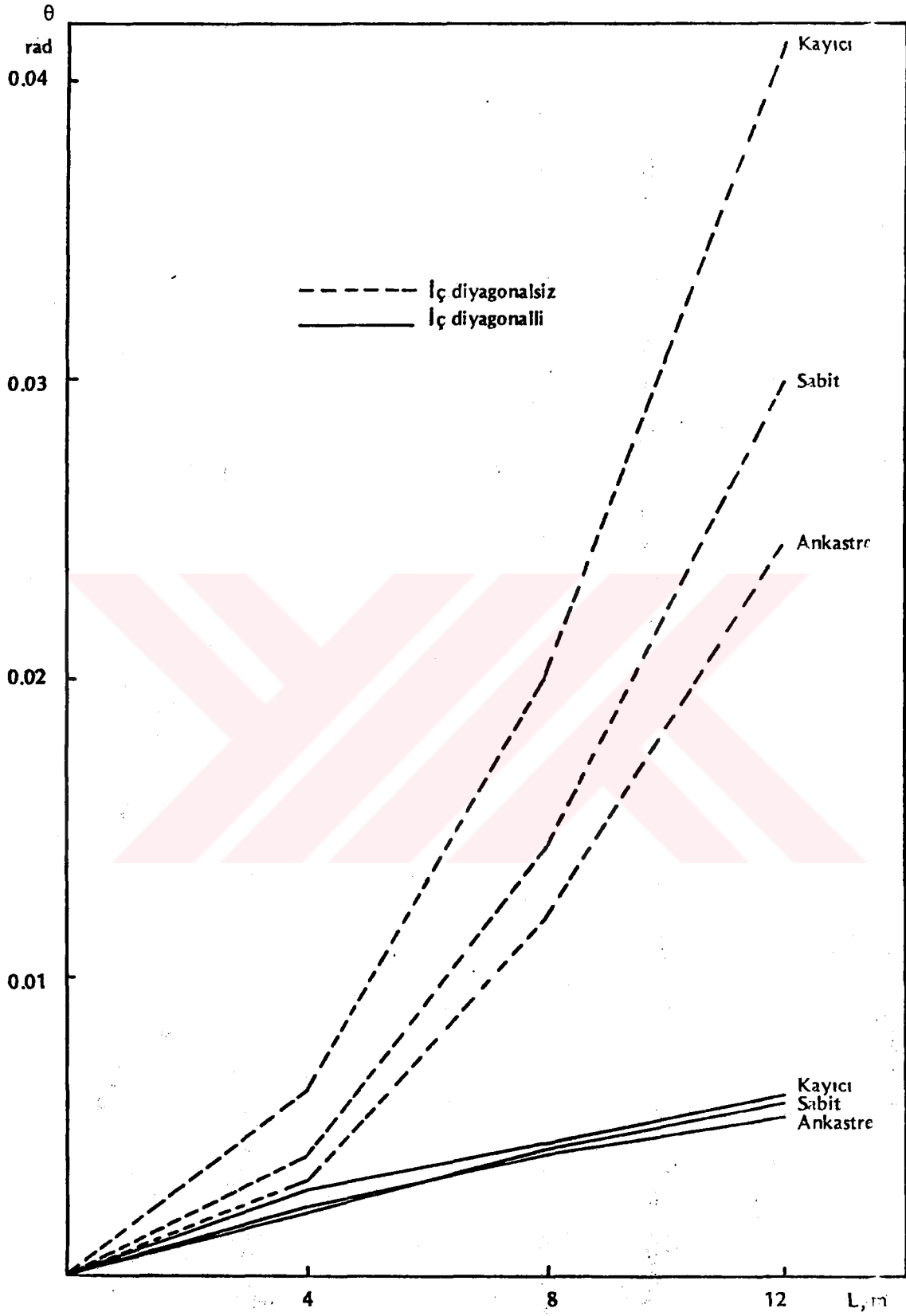
Şekil 2.26

Servis yükünde orta enkesitteki dönme ve açı değişimleri bölüm 2.6 daki bağlantılar yardımı ile aynı şekilde hesaplanmış ve yine aynı tablolarda verilmiştir (Tablo 2.8-2.12).

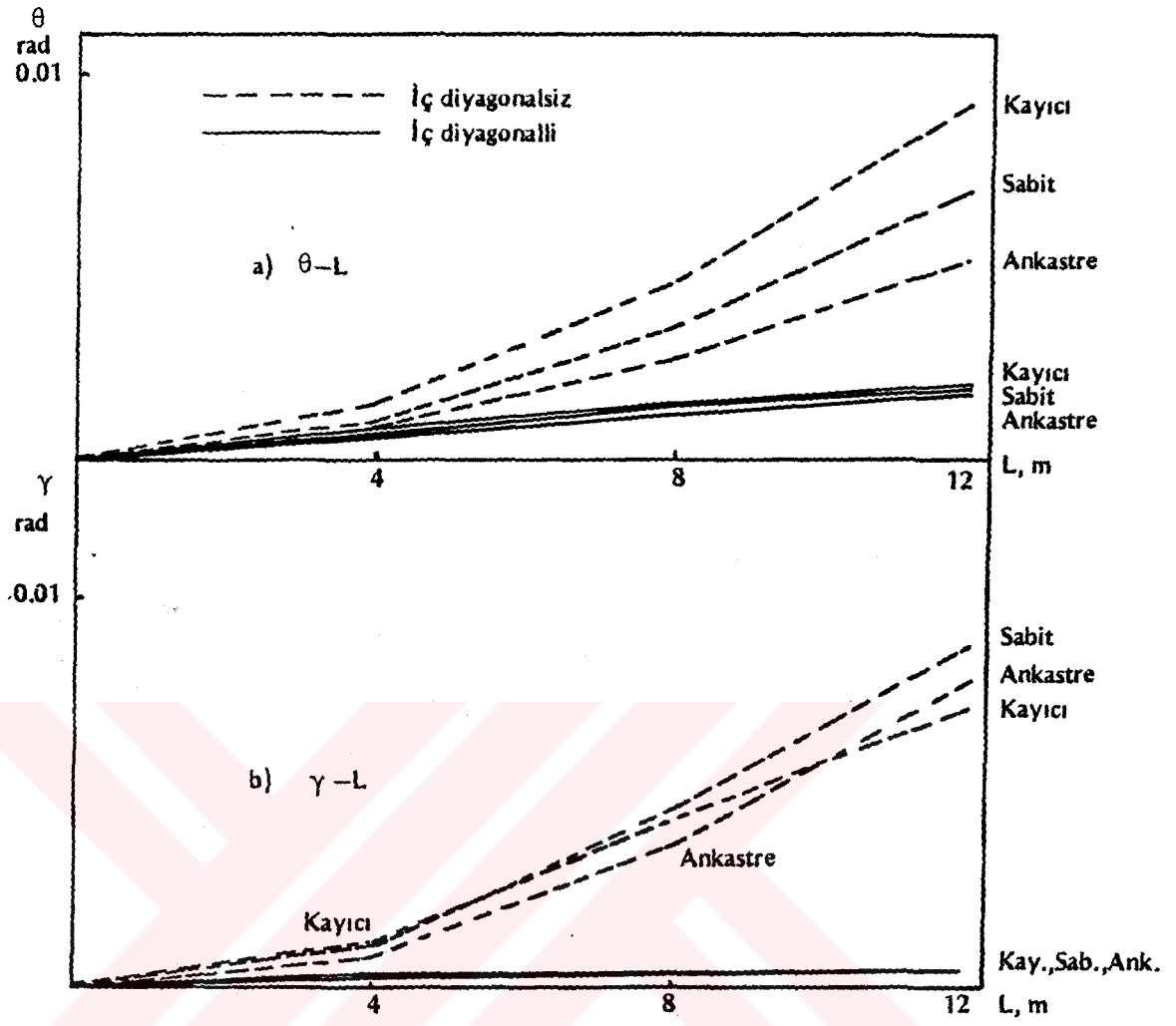
Bu değerlere göre sistemlerin her biri için ayrı ayrı çizilen dönme-açıklık ($\theta-L$) ilişkisi (Şekil 2.27-2.29 da) ile açı değişimi-açıklık ($\gamma-L$) ilişkisi (Şekil 2.29.2.31 de) görülmektedir.



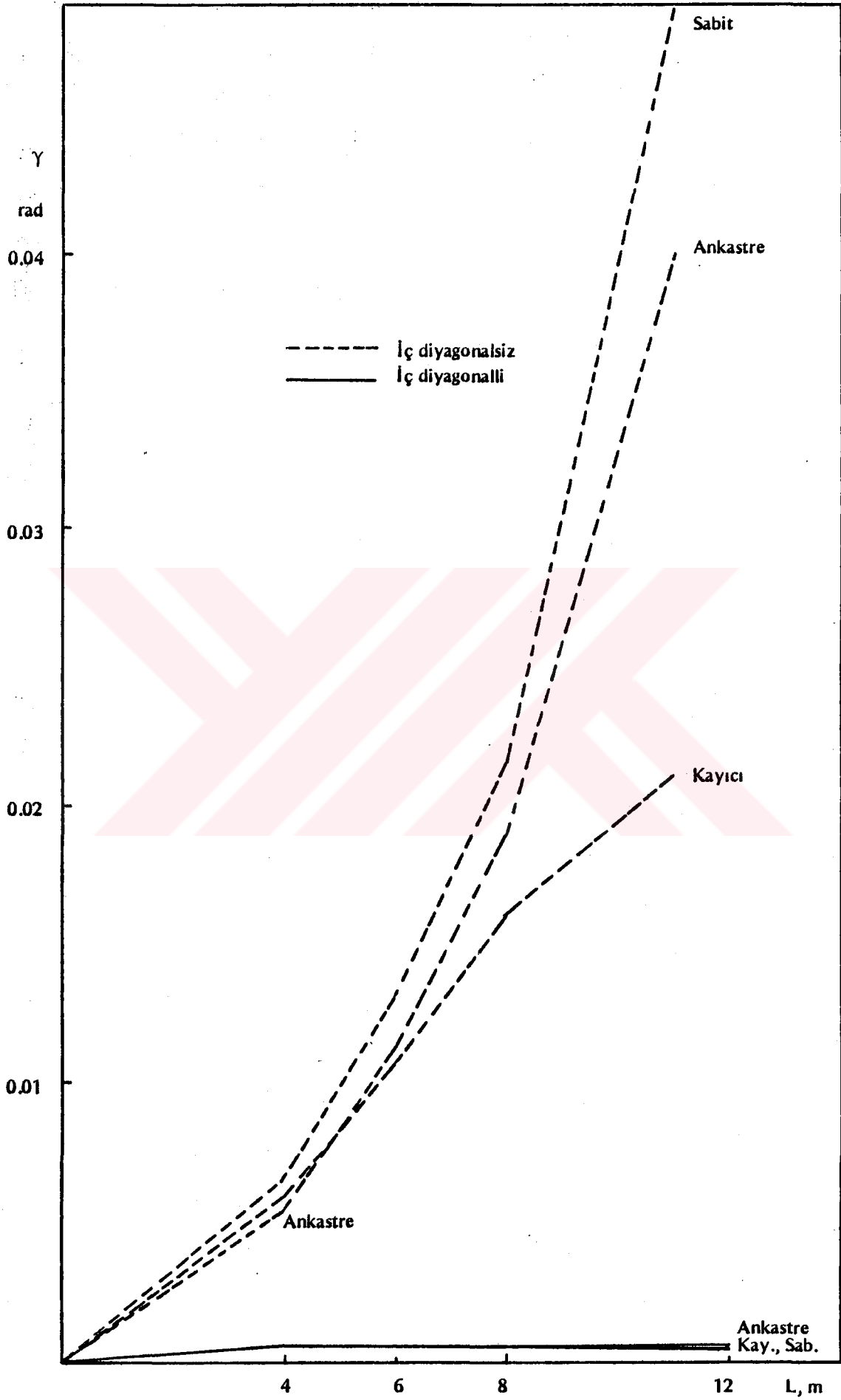
Şekil 2.27 Burulmada $\theta - L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 1m$)



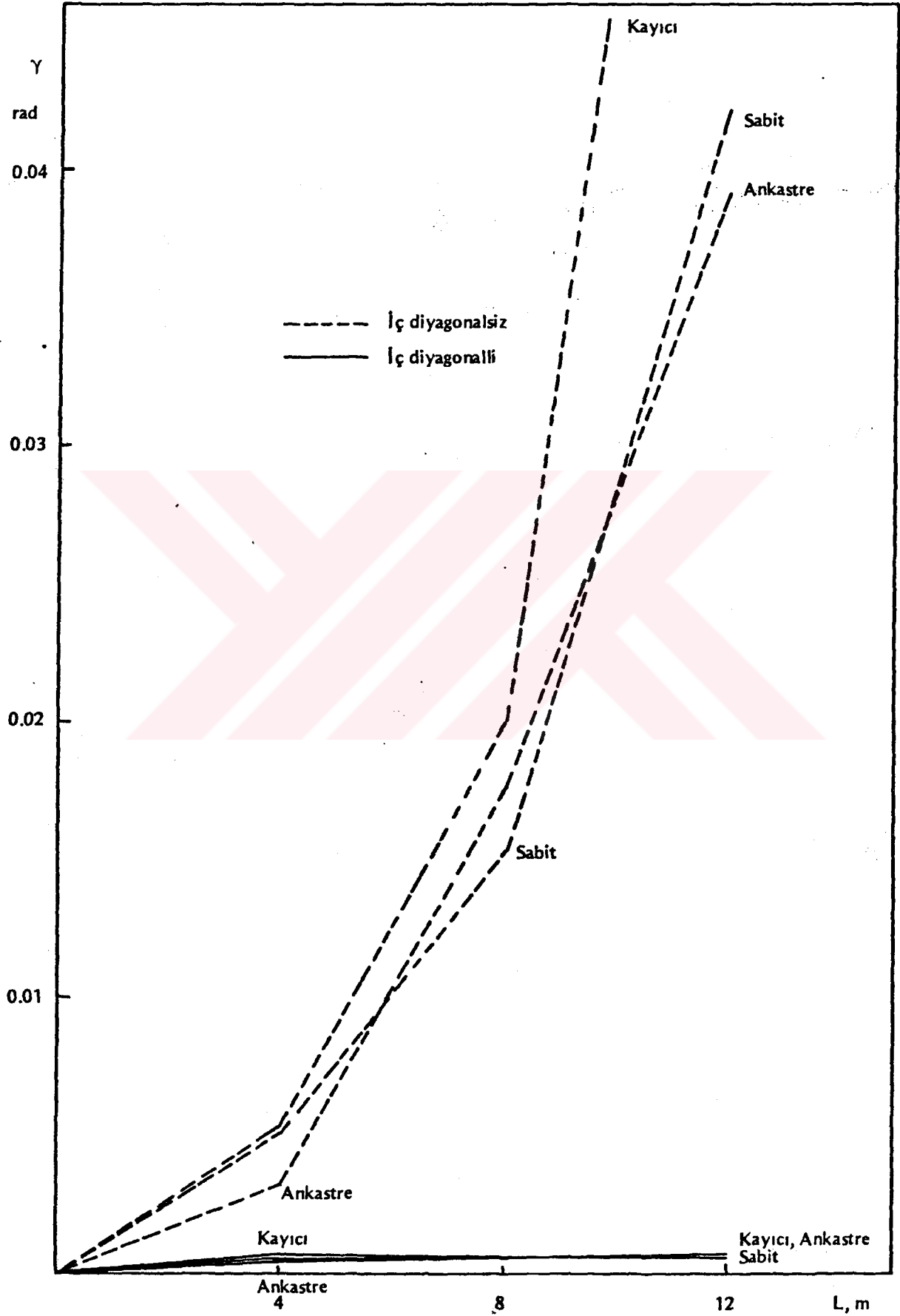
Şekil 2.28 Burulmada $\theta - L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 2m$)



Şekil 2.29. Burulmada $\theta - L$ ve $\gamma - L$ (servis yükünde) ($b/h = 2/2, a = 2m$)



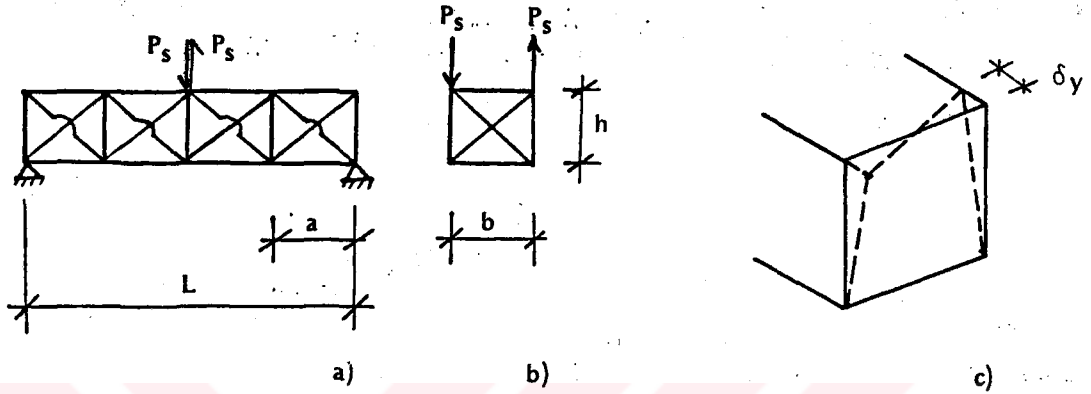
Şekil 2.30 Burulmada γ -L (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 1m$)



Şekil 2.31 · Burulmada $\gamma - L$ (servis yükünde) ($b/h = 1/1$, $a = 2m$)

2.7. Burulmada arpılma

Tablo 1.1 de belirtilen uzay kafes kirişler için, burulmada çarpılma değerleri, bilgisayar çözümünden elde edilmiştir (Şekil 2.32).



Şekil 2.32

Sabit sistemlerin, mesnet enkesitlerindeki, kayıcı sistemlerin mesnet enkesitleri ve orta enkesitlerindeki çarpılma değerleri Tablo 2.16 da gösterilmiştir. arpılmaya ait iç diyagonalı ve iç diyagonalı olmayan sistemler için tipik birer örnek, $L = 4\text{m}$, $b/h = 1/1$ ve $a = 1\text{m}$ için Şekil 2.33 de verilmiştir. İncelenen sistemlerin herbiri için ayrı ayrı çarpılma-açıklık ($\delta_y - L$) ilişkisi de Şekil 2.34-2.35 de gösterilmiştir.

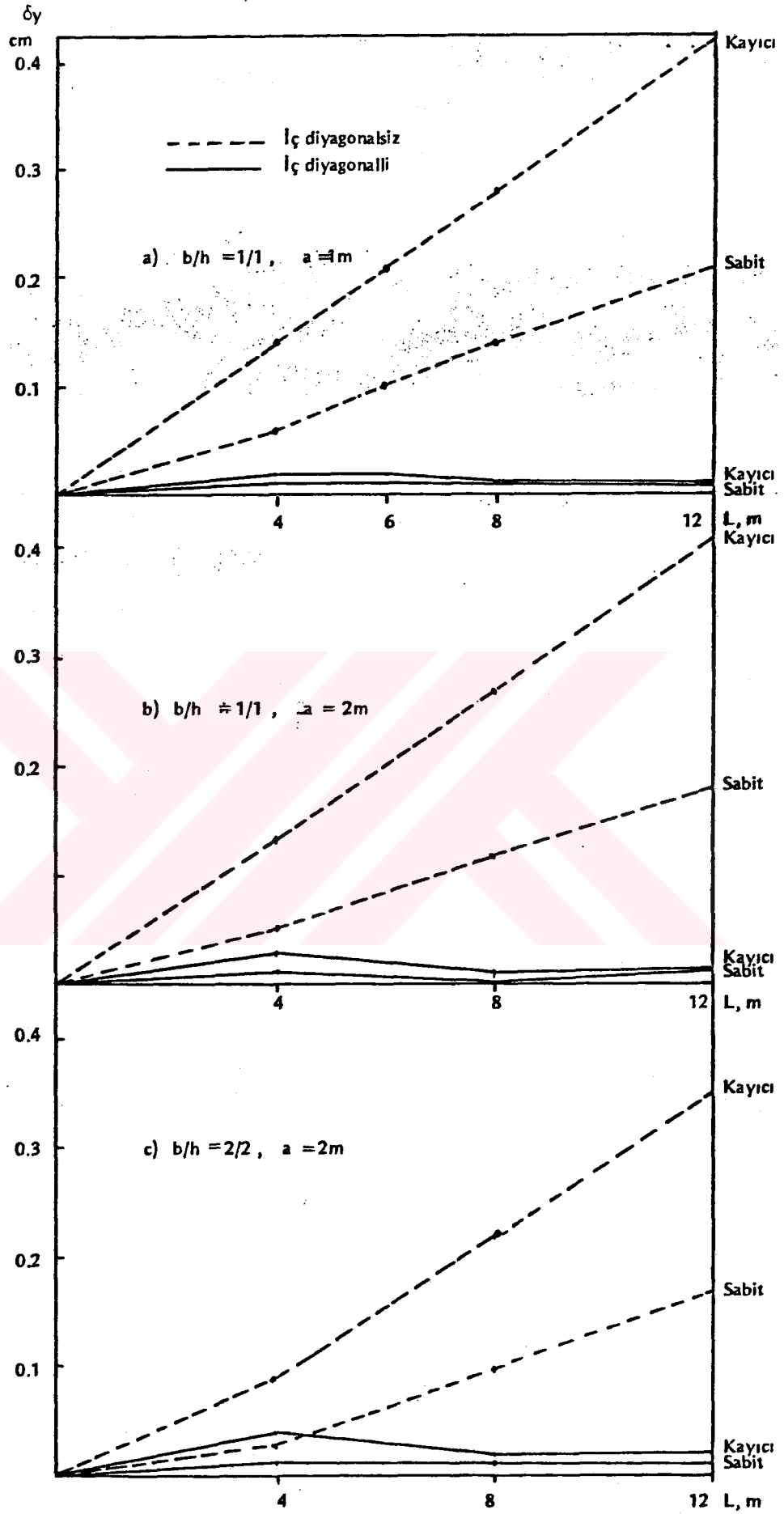
Sabit sistemlerin orta enkesitlerinde, ankastre sistemlerin ise hem mesnet enkesitlerinde hem de orta enkesitlerinde çarpılma meydana gelmemiştir ($\delta_y = 0$).

Tablo 2.16

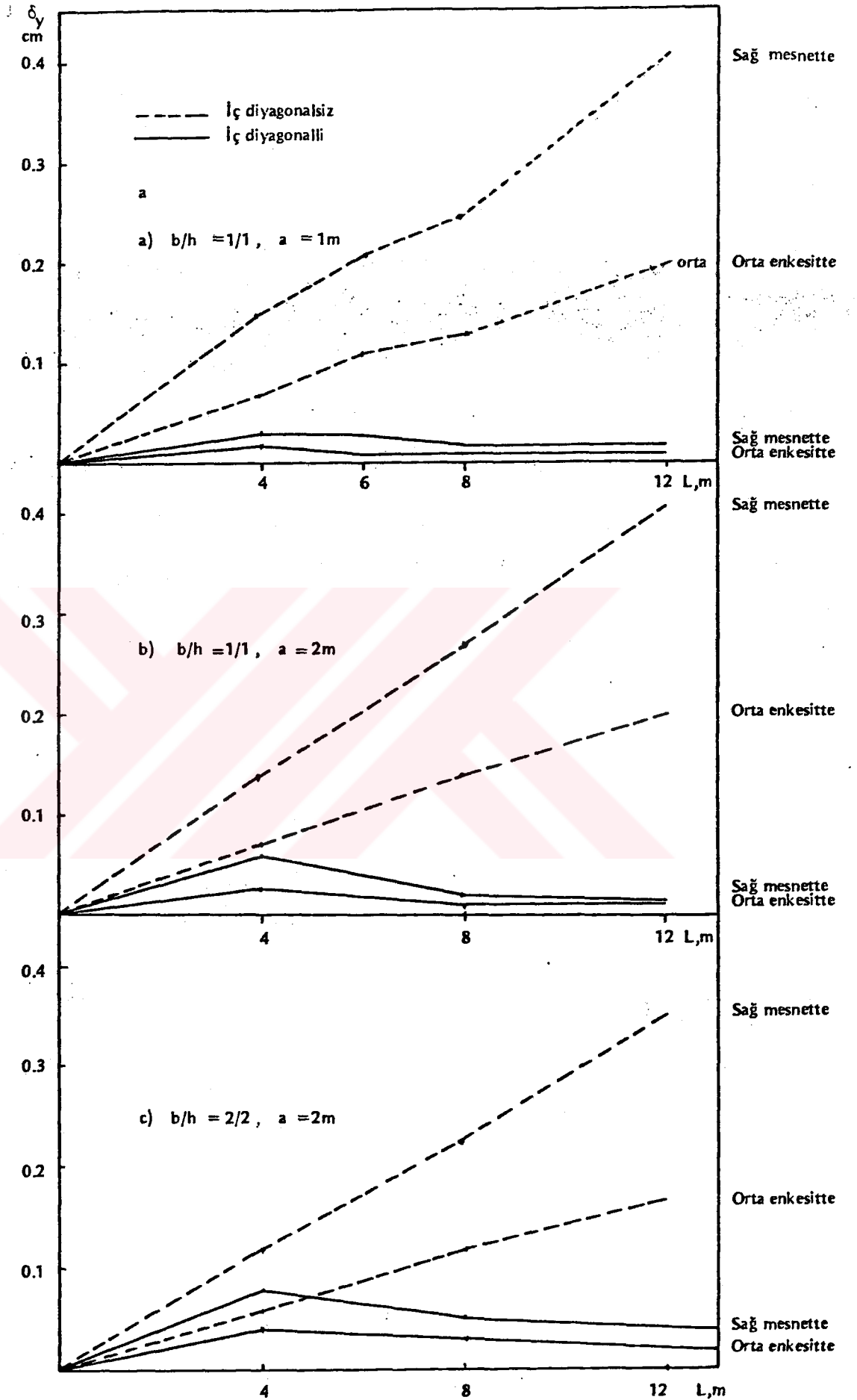
Mesnetleme Durumu	b/h m/m	a m	İç Diyagonal	Kesitin Yeri	L = 4m						L = 6m						L = 8m						L = 12m						
					Solda			Sağda			Solda			Sağda			Solda			Sağda			Solda			Sağda			
					Üst	Alt	0	Üst	Alt	0	Üst	Alt	0	Üst	Alt	0	Üst	Alt	0	Üst	Alt	0	Üst	Alt	0	Üst	Alt	0	
Sabit	1/1	1	Var	Mesnetlerde	0.01	0	-0.01	0	0.01	0	-0.01	0	0.01	0	-0.01	0	0.01	0	-0.01	0	0.01	0	-0.01	0	0.01	0	-0.01	0	
				Mesnetlerde	0.06	0	-0.06	0	0.10	0	-0.10	0	0.14	0	-0.14	0	0.14	0	-0.14	0	0.14	0	-0.14	0	0.21	0	-0.21	0	0.21
	2/2	2	Var	Mesnetlerde	0.01	0	-0.01	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				Mesnetlerde	0.05	0	-0.05	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kayıcı	1/1	1	Yok	Mesnetlerde	0.01	0	-0.01	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
					Mesnetlerde	0.03	0	-0.03	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2/2		2	Var	Sol mesnet	0.02	0	-0.02	0	0.02	0	-0.02	0	0.02	0	-0.02	0	0.02	0	-0.02	0	0.01	0	-0.01	0	0.01	0	-0.01	0	
				Ortada	0.02	0.02	-0.02	-0.02	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01
2/2		2	Yok	Sağ mesnet	0.01	0.03	-0.01	-0.03	0.01	0.03	-0.01	-0.03	0.01	0.03	-0.01	-0.03	0.01	0.03	-0.01	-0.03	0.01	0.02	0.01	-0.02	-0.02	0.00	0.02	0.00	-0.02
				Sol Mesnet	0.14	0	-0.14	0	0.21	0	-0.21	0	0.21	0	-0.21	0	0.21	0	-0.21	0	0.28	0	-0.28	0	0.28	0	-0.28	0	0.42
Kayıcı	1/1	1	Yok	Ortada	0.07	0.07	-0.07	-0.07	0.11	0.11	-0.11	-0.11	0.11	0.11	-0.11	-0.11	0.14	0.14	-0.14	-0.14	0.14	0.14	-0.14	-0.14	0.20	0.20	-0.20	-0.20	
				Sağ mesnet	0.00	0.15	0.00	-0.15	0.00	0.21	0.00	-0.21	0.00	0.21	0.00	-0.21	0.00	0.21	0.00	-0.21	0.00	0.00	0.27	0.01	-0.027	-0.02	0.41	0.02	-0.41
	2/2	2	Var	Sol mesnet	0.03	0	-0.03	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0	-0.01	0	0.01	0	-0.01	0	
				Ortada	0.03	0.03	-0.03	-0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	-0.01	-0.01	0.01	0.01	-0.01	-0.01
	2/2	2	Yok	Sağ mesnet	0.02	0.06	-0.02	-0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.02	-0.01	-0.02	0.01	0.01	-0.01	-0.01
				Sol mesnet	0.13	0	-0.13	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.27	0	-0.27	0	0.41	0	-0.41	0
2/2	2	Var	Ortada	0.07	0.07	-0.07	-0.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.14	-0.14	-0.14	0.20	0.20	-0.20	-0.20		
			Sağ mesnet	0.01	0.14	-0.01	-0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	0.27	0.00	-0.27	0.00	0.41	0.00	-0.41	
2/2	2	Yok	Sol mesnet	0.04	0	-0.04	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02	0	-0.02	0	0.02	0	-0.02	0		
			Ortada	0.04	0.04	-0.04	-0.04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.03	-0.03	-0.03	0.02	0.02	-0.02	-0.02	
2/2	2	Yok	Sağ mesnet	0.03	0.08	-0.03	-0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	0.05	-0.03	-0.05	0.02	0.04	-0.02	-0.04		
			Sol mesnet	0.09	0	-0.09	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.22	0	-0.22	0	0.35	0	-0.35	0	
2/2	2	Yok	Ortada	0.06	0.06	-0.06	-0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.12	0.12	-0.12	-0.12	0.17	0.17	-0.17	-0.17		
			Sağ mesnet	0.02	0.12	-0.02	-0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.23	-0.01	-0.23	0.00	0.35	0.00	-0.35	

Mesnetlenme Şekli	Kayıcı				
	Sabit	Sol Mesnette	Ortada	Sağ Mesnette	
Kesit	Mesnetlerde				
		$a/h = 1/1$	$b/h = 1/1$		
		$1\text{ç Diagonalizli Sistem}$			
		$h/L = 1/4$			
		$1\text{ç Diagonalizli Sistem}$			

Şekil 2.33. Burulmada Çarpılma Örneği



Şekil 2.34 Burulmada $\delta_y - L$ (servis yükünde) (sol mesnet düzleminin üst köşelerinde)



Şekil 2.35 Burulmada $\delta_y - L$ (servis yükünde) (kayıcı sistemlerde alt köşelerde)

2.8. Malzeme Miktarı-Açıklık (G-L) ilişkisi

Tablo 1.1 de belirtilen uzay kafes kirişlerde; herbir çubuk grubu için malzeme miktarı,

$$G_i = d.A.n.L_1 \quad (2.16)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada d malzemenin yoğunluğu, A çubuğun enkesit alanı, n bir gruptaki benzer çubuk adedi, L_1 çubuk boyudur. İncelenen bütün uzay kirişlerde, her çubuk grubu için $A.n.L_1$ değerleri Tablo 2.2-2.6 da verilmiştir.

Uzay kafes kirişteki toplam malzeme miktarı ise,

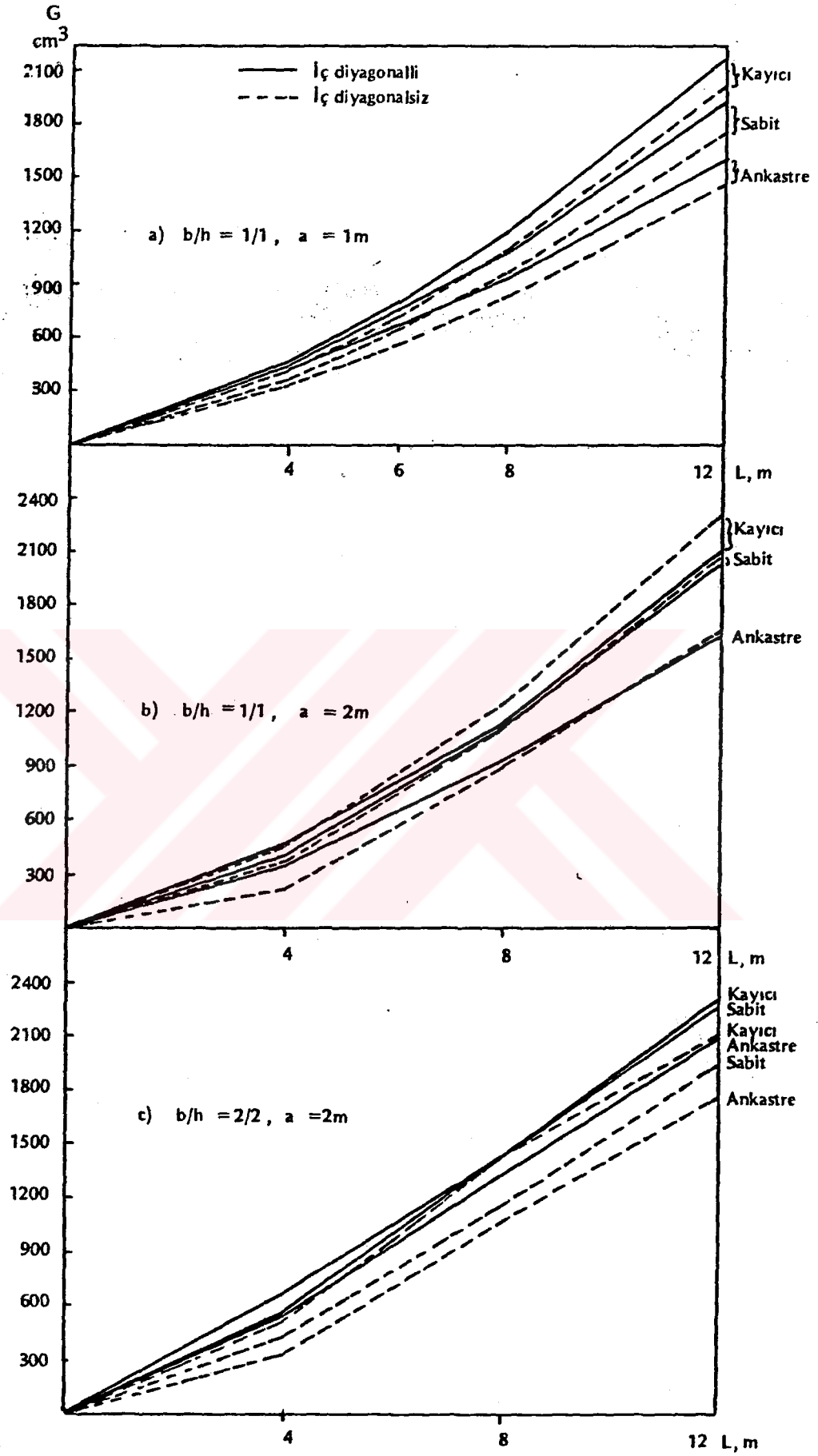
$$G = \sum G_i \quad (2.17)$$

dir. Bu bağıntı G_i nin (2.18) deki değeri yerine konursa;

$$G = d.\sum A.n.L_1 \quad (2.18)$$

elde edilir.

İncelenen bütün uzay kafes kirişler için $\sum A.n.L_1$ değerleri Tablo 2.17 de belirtilmiştir. Bu değerlere göre uzay kafes kirişlerin toplam malzeme miktarı-açıklık (G-L) diyagramları çizilmiştir (Şekil 2.36). Kirişlerin toplam malzeme miktarları hesabında düğüm noktalarındaki birleşim elemanları dikkate alınmamıştır.



Şekil 2.36 Malzeme miktarı – açıklık (servis yükünde)

2.9. Düzlem Kafes Kiriş Çözümü

Servis yüklerine ($P_s = 120$ kN) göre emniyet gerilmeleri yöntemi ile grup çubuklarında $\sigma_{\max} \cong \sigma_{em}$ olacak biçimde boyutlandırılan iç diyagonalı uzay kafes kirişlerde düşey yan düzlemler çubuk enkesitleri değiştirilmeksizin düzlem kafes kiriş olarak alınmış ve bu düzlem kafes kirişlere ait servis yükleri ve bu yüklerden orta noktada oluşan çökme değerleri bulunmuştur. Böylelikle enlemelerin, yatay ve iç diyagonallerin etkileri ihmal edilmiş olmaktadır. Bu bulunan değerler, uzay sistemlerle düzlem sistemleri karşılaştırmak ve uzay kafes kirişlerin düzlem sistemlere göre olumlu etkilerini araştırmak için, iç diyagonalı uzay kafes kirişlerin, eğilme ve eğilmeli burulma yüklemesine göre evvelce bulunan servis yükleri ve bu yüklerden dolayı orta noktada oluşan çökme değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.18-2.21 de verilmiştir. Tablolarda ayrıca düzlem ve uzay kirişlerde servis yüklerinde her çubuk grubunda oluşan maksimum gerilmeler de belirtilmiştir.

Yukarıdaki bölümlerde yapılan çözümlerin değerlendirmesi 4. bölümde verilmiştir.

Tablo 2.18 İç Diagonalı Uzay Sistemleri e Düzlem Sistemlerin Karşılaştırılması

L	m	4									
b/h	m/m	1/1						2/2			
a	m	1			2			2			
Mesnetlenme Durumu		Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre	
P _{UE}	kN	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	
P _{UEB}	kN	129.3	135.2	132.0	128.6	137.5	126.2	122.2	130.6	126.9	
P _D	kN	104.3	97.45	89.89	76.19	98.82	119.1	112.4	119.1	115.9	
Dikmeler	1, 11, 21, 31, ...	A	5.13	4.92	5.01	5.46	4.65	5.34	6.87	5.79	6.66
		i	1.43	1.37	1.39	1.52	1.29	1.48	1.79	1.60	1.75
		$\sigma_{UE \max}$	-120	-108	-115	-116	-105	-126	-107	-109	-125
		$\sigma_{UEB \max}$	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-134	-140
		$\sigma_D \max$	-128	-106	-102	-100	-79	-138	-128	-117	-134
Üst Başlıklar	3, 13, 23, 33, ...	A	7.44	6.99	3.18	6.54	5.31	0.63	5.01	4.41	0.63
		i	1.89	1.81	0.96	1.73	1.48	0.28	1.39	1.23	0.28
		$\sigma_{UE \max}$	-139	-139	-133	-139	-140	-	-140	-140	-
		$\sigma_{UEB \max}$	-80	-92	-83	-80	-140	-	-77	-94	-
		$\sigma_D \max$	-129	-124	-128	-140	-140	-	-139	-130	-
Alt Başlıklar	4, 14, 24, 34, ...	A	5.85	3.30	3.51	4.35	0.63	0.63	5.01	0.63	0.63
		i	1.61	0.98	1.01	1.21	0.28	0.28	1.39	0.28	0.28
		$\sigma_{UE \max}$	139	-132	-138	77	-	-	59	-	-
		$\sigma_{EB \max}$	59	-103	-104	26	-	-	10	-	-
		$\sigma_D \max$	140	-140	-140	86	-	-	73	-	-
Düşey Diagonaller	5, 15, 25, 35, ... 6, 16, 26, 36, ...	A	5.85	6.66	6.18	9.48	11.46	9.75	9.51	10.44	9.57
		i	1.61	1.75	1.67	2.38	2.76	2.48	2.39	2.59	2.40
		$\sigma_{UE \max}$	-141	-140	-140	-139	-140	-139	-141	-139	-141
		$\sigma_{EB \max}$	-133	-124	-133	-119	-136	-128	-126	-140	-138
		$\sigma_D \max$	-125	-118	-107	-82	-119	-139	-134	-139	-139
δ_{UE}	cm	0.33	0.22	0.18	0.29	0.17	0.14	0.12	0.08	0.06	
δ_{UEB}	cm	0.23	0.18	0.14	0.21	0.16	0.13	0.09	0.08	0.05	
δ_D	cm	0.30	0.19	0.14	0.23	0.15	0.14	0.12	0.08	0.06	

Düzlem sistemlerde yalnızca altı çizili çubuk noları bulunmaktadır.

A, cm²; i, cm; σ 'lar N/mm² olarak yazılmıştır.

Tablo 2.19 İç Diyagonalli Uzay Sistemlerle Düzlem Sistemlerin Karşılaştırılması

L		6								
b/h		1/1						2/2		
a		1			2			2		
Mesnetlenme Durumu		Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre
P_{UE}	kN	120.0	120.0	120.0						
P_{UEB}	kN	130.5	134.6	130.9						
P_D	kN	110.2	102.3	101.8						
Dikmeler	1, 11, 21, 31, ...	A	4.95	4.86	4.95					
		i	1.38	1.35	1.38					
		$\sigma_{UE \max}$	-118	-110	-116					
		$\sigma_{UEB \max}$	-140	-140	-140					
		$\sigma_D \max$	-131	-114	-117					
Üst Başlıklar	3, 13, 23, 33, ...	A	11.28	11.10	5.16					
		i	2.73	2.70	1.43					
		$\sigma_{UE \max}$	-139	-139	-140					
		$\sigma_{UEB \max}$	-78	-84	-81					
		$\sigma_D \max$	-134	-125	-133					
Alt Başlıklar	4, 14, 24, 34, ...	A	10.26	4.98	5.40					
		i	2.56	1.38	1.50					
		$\sigma_{UE \max}$	139	-138	-138					
		$\sigma_{EB \max}$	86	-86	-65					
		$\sigma_D \max$	140	-140	-140					
Düşey Diyagonaller	5, 15, 25, 35, ... 6, 16, 26, 36, ...	A	6.12	6.96	6.24					
		i	1.65	1.81	1.68					
		$\sigma_{UE \max}$	-140	-140	-138					
		$\sigma_{EB \max}$	-133	-120	-131					
		$\sigma_D \max$	-131	-122	-119					
δ_{UE}	cm	0.62	0.45	0.36						
δ_{UEB}	cm	0.41	0.33	0.26						
δ_D	cm	0.60	0.41	0.33						

Düzlem sistemlerde yalnızca altı çizili çubuk nolanı bulunmaktadır.

A, cm²; i, cm; σ 'lar N/mm² olarak yazılmıştır.

Tablo 2.20 İç Diyagonalı Uzay Sistemleri ile Düzlem Sistemlerin Karşılaştırılması

L		8									
b/h		1/1						2/2			
a		1			2			2			
Mesnetlenme Durumu		Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre	
P_{UE}	kN	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	
P_{UEB}	kN	129.8	134.0	131.9	126.9	146.1	132.7	127.6	143.3	134.0	
P_D	kN	112.8	105.9	105.9	801.5	728.5	714.3	935.4	883.7	861.9	
Dikmeler	1, 11, 21, 31, ...	A	4.89	4.86	4.95	5.61	5.43	5.55	7.47	7.21	7.21
		i	1.36	1.35	1.38	1.56	1.51	1.54	1.90	1.85	1.85
		$\sigma_{UE \max}$	-118	-111	-115	-124	-90	-114	-124	-98	-112
		$\sigma_{UEB \max}$	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-140	-140
		$\sigma_D \max$	-133	-119	-121	-120	-64	-81	-133	-88	-98
Üst Başlıklar	3, 13, 23, 33, ...	A	15.24	15.18	7.23	14.01	12.51	6.18	9.51	8.98	5.10
		i	3.35	3.35	1.86	3.16	2.93	1.67	2.39	2.25	1.42
		$\sigma_{UE \max}$	-140	-139	-139	-139	-138	-139	-140	-138	-137
		$\sigma_{UEB \max}$	-78	-83	-80	-73	-91	-82	-75	-93	-83
		$\sigma_D \max$	-136	-128	-134	-128	-113	-138	-123	-115	-128
Alt Başlıklar	4, 14, 24, 34, ...	A	14.58	6.90	7.47	8.01	5.85	6.44	4.98	5.16	5.37
		i	3.25	1.80	1.90	2.01	1.61	1.71	1.38	1.43	1.43
		$\sigma_{UE \max}$	-140	-139	-139	136	-138	-139	137	-141	-140
		$\sigma_{EB \max}$	38	-82	-83	77	-102	-93	85	-113	-106
		$\sigma_D \max$	140	-140	-140	140	-140	-140	140	-140	-140
Düşey Diyagonaller	5, 15, 25, 35, ... 6, 16, 26, 36, ...	A	6.18	7.05	6.24	9.12	11.52	9.60	8.82	9.93	9.42
		i	1.67	1.82	1.68	2.29	2.77	2.41	2.21	2.49	2.36
		$\sigma_{UE \max}$	-139	-139	-138	-139	-139	-139	-140	-134	-137
		$\sigma_{EB \max}$	-133	-118	-133	-113	-122	-125	-130	-124	-132
		$\sigma_D \max$	-134	-125	-125	-89	-94	-83	-110	-102	-100
δ_{UE}	cm	1.02	0.76	0.59	1.09	0.66	0.53	0.52	0.31	0.23	
δ_{UEB}	cm	0.65	0.51	0.41	0.69	0.51	0.40	0.34	0.25	0.18	
δ_D	cm	1.00	0.70	0.56	0.96	0.49	0.40	0.47	0.25	0.18	

Düzlem sistemlerde yalnızca altı çizgili çubuk noları bulunmaktadır.

A, cm^2 ; i, cm; σ 'lar N/mm^2 olarak yazılmıştır.

Tablo 2.21 İç Diyagonalli Uzay Sistemler (e Düzlem Sistemlerin Karşılaştırılması)

L		12									
b/h		1/1						2/2			
a		1			2			2			
Mesnetlenme Durumu		Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre	Kayıcı	Sabit	Ankastre	
P_{UE}	kN	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	120.0	
P_{UEB}	kN	131.4	132.7	132.0	128.0	144.8	133.0	126.7	139.7	129.1	
P_D	kN	115.4	110.1	110.5	88.14	83.96	84.04	101.5	98.42	94.65	
Dikmeler	1, 11, 21, 31, ...	A	4.86	4.80	4.92	5.55	5.43	5.52	7.17	7.02	7.02
		i	1.35	1.33	1.37	1.54	1.51	1.54	1.85	1.82	1.82
		$\sigma_{UE \max}$	-116	-113	-116	-123	-93	-113	-124	-108	-116
		$\sigma_{UEB \max}$	-140	-140	-140	-139	-140	-140	-140	-140	-140
		$\sigma_D \max$	-132	-125	-127	-123	-83	-97	-138	-102	-114
Üst Başlıklar	3, 13, 23, 33, ...	A	22.71	22.63	11.22	21.63	20.31	9.72	13.71	13.14	7.50
		i	4.73	4.71	2.72	4.50	4.23	2.44	3.11	3.03	1.91
		$\sigma_{UE \max}$	-139	-140	-139	-138	-140	-134	-139	-139	-132
		$\sigma_{UEB \max}$	-78	-81	-79	-73	-87	-76	-73	-85	-73
		$\sigma_D \max$	-138	-132	-135	-126	-122	-137	-127	-124	-121
Alt Başlıklar	4, 14, 24, 34, ...	A	23.20	10.77	11.43	15.44	8.94	9.87	9.24	7.08	7.38
		i	4.83	2.64	2.75	3.38	2.24	2.48	2.32	1.83	1.88
		$\sigma_{UE \max}$	140	-139	-139	143	-134	-133	141	-139	-142
		$\sigma_{EB \max}$	82	-79	-81	-79	-84	-77	-82	-88	-85
		$\sigma_D \max$	140	-140	-140	140	140	-140	-140	-140	-140
Düsey Diyagonaller	5, 15, 25, 35, ... 6, 16, 26, 36, ...	A	6.27	7.17	6.24	9.27	12.12	9.60	9.00	10.08	9.57
		i	1.68	1.84	1.68	2.33	2.87	2.41	2.26	2.53	2.40
		$\sigma_{UE \max}$	-139	-139	-139	-139	-139	-139	-140	-139	-131
		$\sigma_{EB \max}$	-135	-116	-134	-115	-117	-124	-117	-122	-122
		$\sigma_D \max$	-119	-128	-131	-101	-108	-98	-120	-117	-105
δ_{UE}	cm	2.10	1.59	1.19	2.23	1.41	1.11	1.06	0.67	0.48	
δ_{UEB}	cm	1.29	1.02	0.78	1.33	1.00	0.76	0.64	0.49	0.33	
δ_D	cm	2.08	1.52	1.15	1.99	1.20	0.99	0.98	0.60	0.42	

Düzlem sistemlerde yalnızca altı çizili çubuk noları bulunmaktadır.

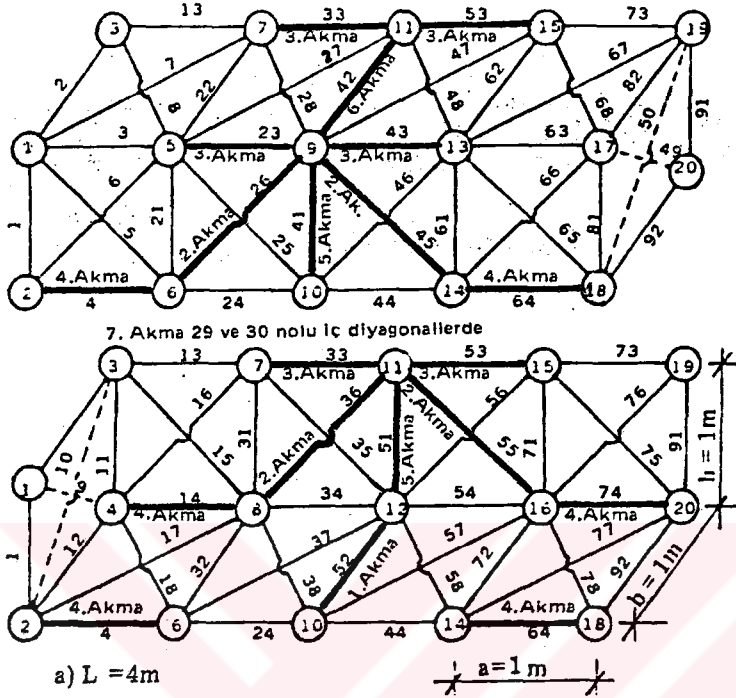
A, cm^2 ; i, cm; σ 'lar N/mm^2 olarak yazılmıştır.

BÖLÜM 3 ELASTİK-PLASTİK ANALİZ ve GÖÇME YÜKÜ

3.1. Elastik-Plastik Analizde İzlenen Yolun Açıklanması

Bu bölümde, Tablo 1.1 de belirtilen uzay kafes girişlerin elastik-plastik analizleri yük artımı yöntemiyle yapılmıştır [24]. Çubuklarda oluşan maximum gerilme, bir çubukta (ya da çubuk grubunda) $\sigma_{max} \cong \sigma_y$ oluncaya kadar yük arttırılmış ve böylece ilk akma elde edilmiş, bu yüklemekten elde edilen çubukların gerilmeleri tabloya σ_1 olarak işlenmiştir. Bu yüklemekte σ_y 'ye çok yaklaşan ($\sigma \cong 235 \text{ N/mm}^2$) çubukların aktığı kabul edilmiş ve bunlar sistemden çıkarılmış ve geriye kalan çubuklarla sisteme tekrar sıfırdan itibaren artan ΔP_1 yüklemesi yapılmış ve çubuklarda $\Delta\sigma$ gerilmeleri elde edilmiştir. Bir kısım çubuklarda $\sigma_1 + \Delta\sigma$ değerleri σ_y 'yi aşmayacak şekilde ($\sigma_1 + \Delta\sigma_1 \cong \sigma_y$) ΔP_1 yüklemesinin değeri bulunmuş ve bu çubuklarda bu yüklemekten oluşan $\Delta\sigma_1$ gerilmeleri tabloya işlenmiştir. Burada çubuklarda önceden oluşan σ_1 gerilmeleri ile $\Delta\sigma_1$ gerilmeleri toplanmış ve σ_2 gerilmeleri elde edilmiştir. σ_2 gerilmeleri içinde σ_y 'ye çok yaklaşan çubuklar sistemden çıkarılarak tekrar ΔP yüklemesi yapılmıştır. Benzer şekilde $\Delta\sigma$ gerilmeleri elde edilmiş ve toplam gerilmeler bulunmuştur. Her seferinde gerilmesi σ_y 'ye ulaşan veya yaklaşan çubuklar sistemden çıkarılarak ΔP yüklemesi işlemine sistem göçme durumuna ulaşınca kadar devam edilmiştir. Böylece sistemin elastik-plastik analizi tamamlanmıştır. Bu yöntemle yapılan işlemlere ait bir örnek Tablo 3.1 de verilmiştir. Tabloda, yapılan yüklemeler ve çubuklarda her adımda oluşan gerilmeler görülmektedir. Şekil 3.1 de de her adımda akmaların hangi çubuklarda olduğu sistem üzerinde belirtilmiştir.

Her adımda oluşan çökme değerleri de bir önceki çökme değerleri ile toplanarak akma anındaki çökme değerleri elde edilmiştir.

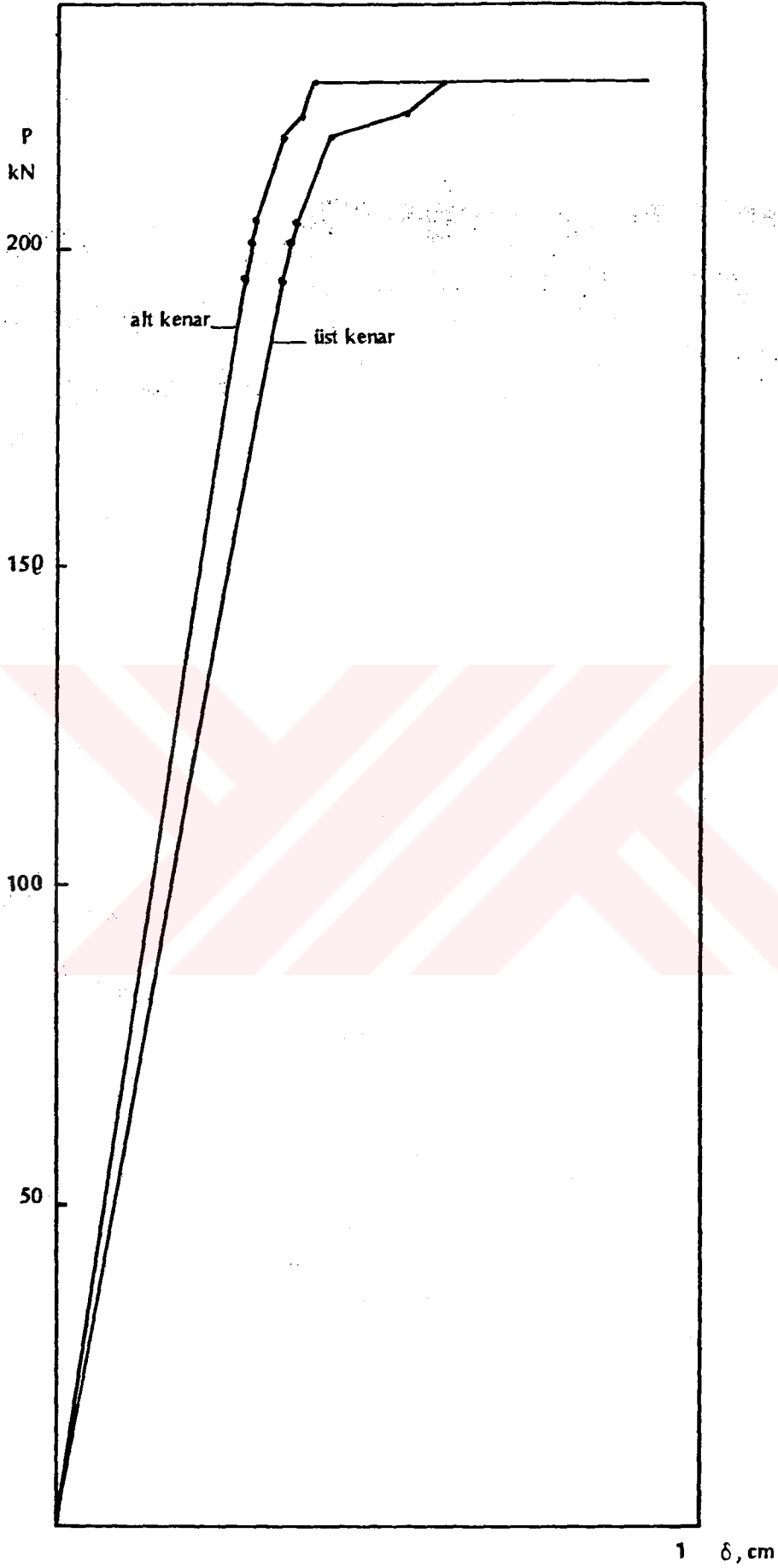


Şekil 3.1. Eğilmede elastik-plastik analiz (iç diyagonalli ankastre sistem)

Bu elastik-plastik analiz örneğine ait her adımda orta enkesitte üst ve alt noktalarda oluşan çökmeler, diğer uzay kafes kirişlere ait yük ve çökme değerleriyle aynı tabloda verilmiştir (Tablo 3.2). Bu yük ve çökme değerlerinden hareketle sistemin yük-çökme ilişkisi Şekil 3.2 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Eğilmede Elastik-Plastik Analiz Örneği (İç Diyagonalı Ankastre, $L=4$; $b/h=1/1$; $a=1$)

ΔP_i		kN	-	6.00	3.00	1.50	12.15	13.40	4.85	Akma No
$P_{i-1} + \Delta P_i$		kN	195.00	201.00	204.00	205.50	217.65	231.05	235.90	
		Çubuk No	σ_1	$\Delta\sigma_1$ σ_2	$\Delta\sigma_2$ σ_3	$\Delta\sigma_3$ σ_4	$\Delta\sigma_4$ σ_5	$\Delta\sigma_5$ σ_6	$\Delta\sigma_6$ σ_7	
Dikmeler	1, 11, ...	1-11	-	0	0	0	0	0	0	-
		81-91	0	0	0	0	0	0	0	-
		21-31	-	0.4	-1.8	-1.0	-8.1	-8.4	-2.7	-
		61-71	17.6	18.0	16.2	15.2	7.1	-1.3	-4.0	-
		41-51	-187.0	-192.5	-200.1	-203.9	234.7	-	-	5
Enlemeler	2, 12, ...	2	-	0	0	0	0	0	0	-
		82	0	0	0	0	0	0	0	-
		22	-	-4.5	-0.7	-0.6	-0.7	-16.6	-39.4	-
		62	-129.0	-133.5	-134.2	-134.8	-141.8	-158.4	-197.8	-
		42	-	4.9	3.6	2.3	20.3	59.3	-	6
			144.3	149.2	152.8	155.1	175.4	234.7	-	-
		12	-	0	0	0	0	0	-	
		92	0	0	0	0	0	0	-	
		32	-	0.7	0.3	0.2	2.7	-69.0	-15.3	-
		72	9.8	10.5	10.8	11.0	13.7	-55.3	-70.6	-
		52	-	-	-	-	-	-	-	1
			-235.0	-	-	-	-	-	-	-
Üst Başlıklar	3, 13, ...	3-13	-	3.3	2.6	2.0	16.7	20.3	12.2	-
		63-73	106.1	109.4	112.0	114.0	130.7	151.0	163.2	-
		23-33	-	-7.0	-5.6	-	-	-	-	-
		43-53	-222.6	-229.6	-235.2	-	-	-	-	3
Ait Başlıklar	4, 14, ...	4-14	-	-7.1	-1.4	-0.8	-	-	-	-
		64-74	-225.5	-232.7	-234.1	-234.9	-	-	-	-
		24-34	-	3.6	0.7	0.4	5.7	-9.7	-1.1	-
		44-54	115.4	119.0	119.7	120.1	125.8	116.1	115.0	-
Düsey Diyagonaller	5, 15, ... 6, 16, ...	5-15	-	3.4	1.8	1.0	8.1	12.5	5.4	-
		66-76	113.1	116.5	118.3	119.3	127.4	139.9	145.3	-
		25-35	-	2.7	3.4	1.7	13.8	15.3	5.4	-
		46-56	86.5	89.2	92.6	94.3	108.0	123.3	128.7	-
		45-55	-	-6.9	-	-	-	-	-	-
		26-36	-227.9	-234.8	-	-	-	-	-	-
		65-75	-	-5.6	-2.5	-1.0	-9.2	-4.5	0	-
		6-16	-183.3	-188.9	-191.4	-192.4	-201.6	-206.1	-206.1	-
Yatay Diyagonaller	7, 17, ... 8, 18, ...	7-67	-	1.3	1.2	0.9	7.8	9.0	3.5	-
		8-68	44.7	46.0	47.2	48.1	55.9	64.9	68.4	-
		27-47	-	-2.0	-1.3	-1.2	-10.5	3.5	8.6	-
		28-48	-71.3	-73.3	-74.6	-75.8	-86.3	-82.8	-74.2	-
		17-77	-	-4.6	-0.8	-0.4	-6.2	-5.6	-1.9	-
		18-78	-155.6	-160.2	-161.0	-161.4	-167.6	-173.2	-175.1	-
		37-57	-	0.9	0.7	0.3	2.3	23.9	8.6	-
		38-58	45.0	45.9	46.6	46.9	50.1	74.0	82.6	-
İç Diyagonaller	9, 19, ... 10, 20, ...	9-40	-	0	0	0	0	0	0	-
		10-50	0	0	0	0	0	0	0	-
		19-39	-	0.1	-1.3	-0.7	-5.4	-18.4	-9.9	-
		20-40	2.9	3.0	1.7	1.0	-4.4	-22.8	-32.7	-
		29	-	-3.6	-2.9	-1.3	-12.2	-90.6	-32.8	-
		30	-91.5	-95.1	-98.0	-99.3	-111.5	-202.1	-234.9	7



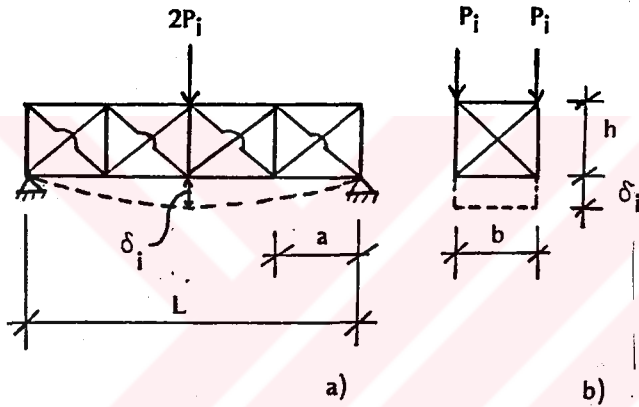
Şekil 3.2 Eğilmede $P - \delta$ (elastik – plastik analiz) örneği
(iç diyagonalı ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1m$)

3.2. Elastik-Plastik Analiz Sonuçları

Tablo 1.1 de belirtilen uzay kafes kirişlerin eğilme, eğilmeli burulma ve burulma yüklemelerine göre, ayrı ayrı elastik-plastik analizleri aşağıdaki bölümlerde yapılmıştır. Bu bölümlerde elde edilen sonuçların değerlendirilmesi 4. bölümde yapılacaktır.

3.2.1. Eğilmeye Elastik-Plastik Analiz Sonuçları

Bu bölümde Tablo 1.1 de belirtilen uzay kafes kirişlerin Şekil 3.3 de görülen eğilme yüklemesine göre elastik-plastik analizleri bölüm 3.1 de anlatıldığı gibi yük artımı yöntemiyle yapılmıştır.

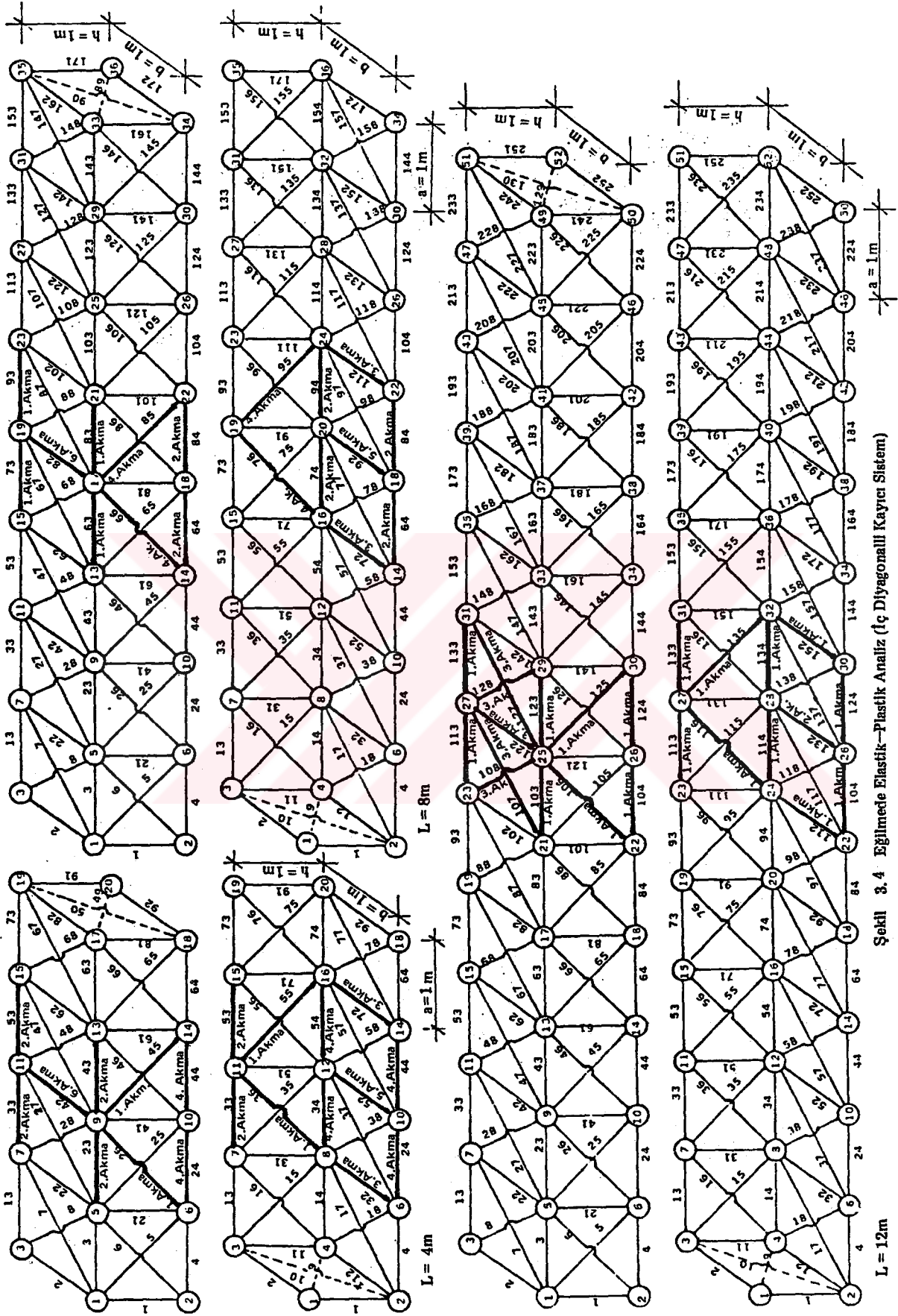


Şekil 3.3

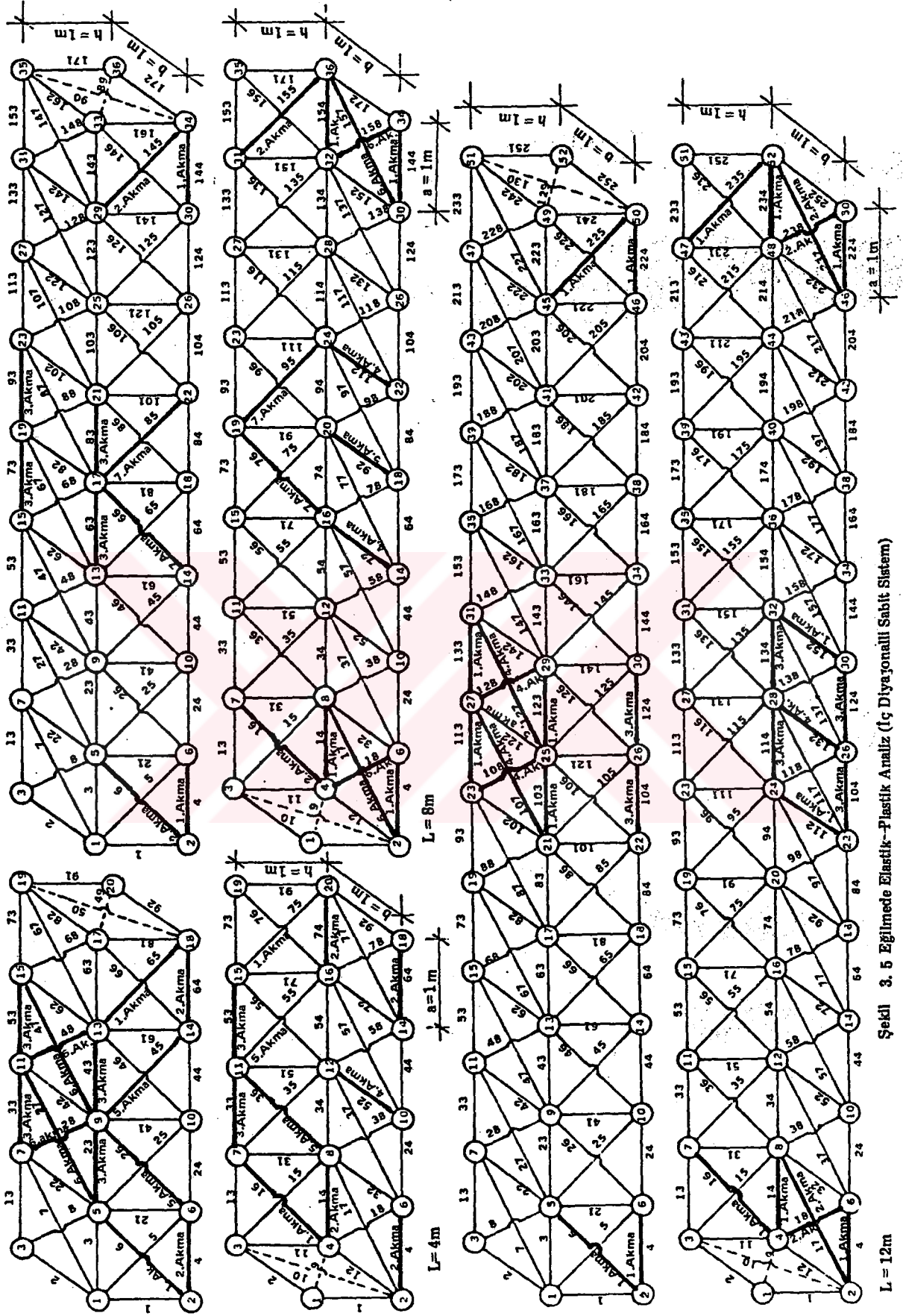
Uzay kafes kirişlerde elastik-plastik analiz sonucu her yük artımında oluşan akmalara hangi çubuklarda meydana geldikleri Şekil 3.4-3.11 de belirtilmiştir.

Uzay kafes kirişlerin çubuklarında her akma anındaki yükleri, orta enkesitteki alt ve üst noktaların çökme değerleri Tablo 3.2-3.6 da verilmiştir.

Ayrıca, Tablo 3.2-3.6 da verilen yük ve çökme değerlerinden yararlanarak uzay kafes kirişlerin göçme yüküne kadar tüm davranışını gösteren yük-çökme ($P-\delta$) diyagramları da çizilmiştir (Şekil 3.12-3.16).

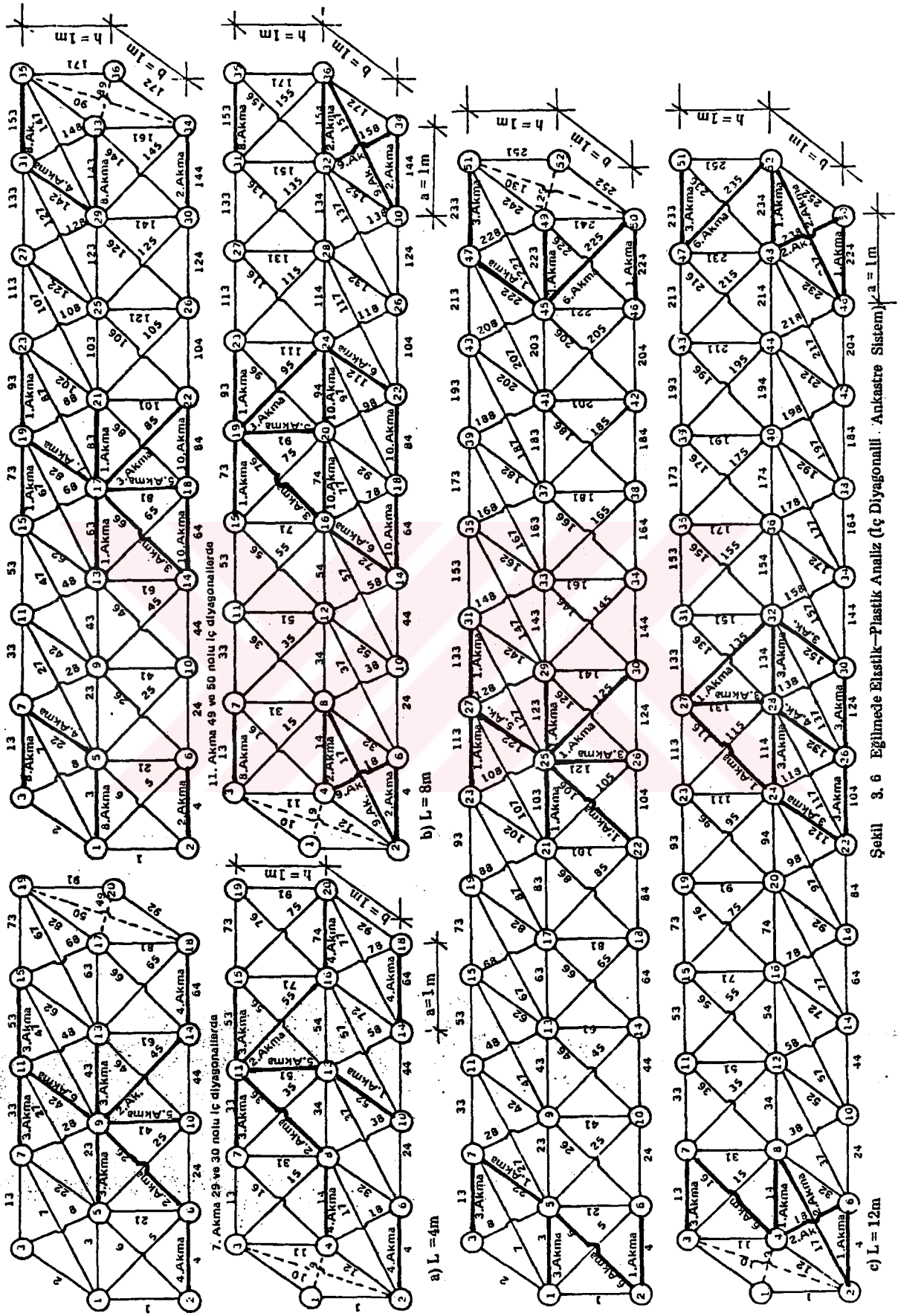


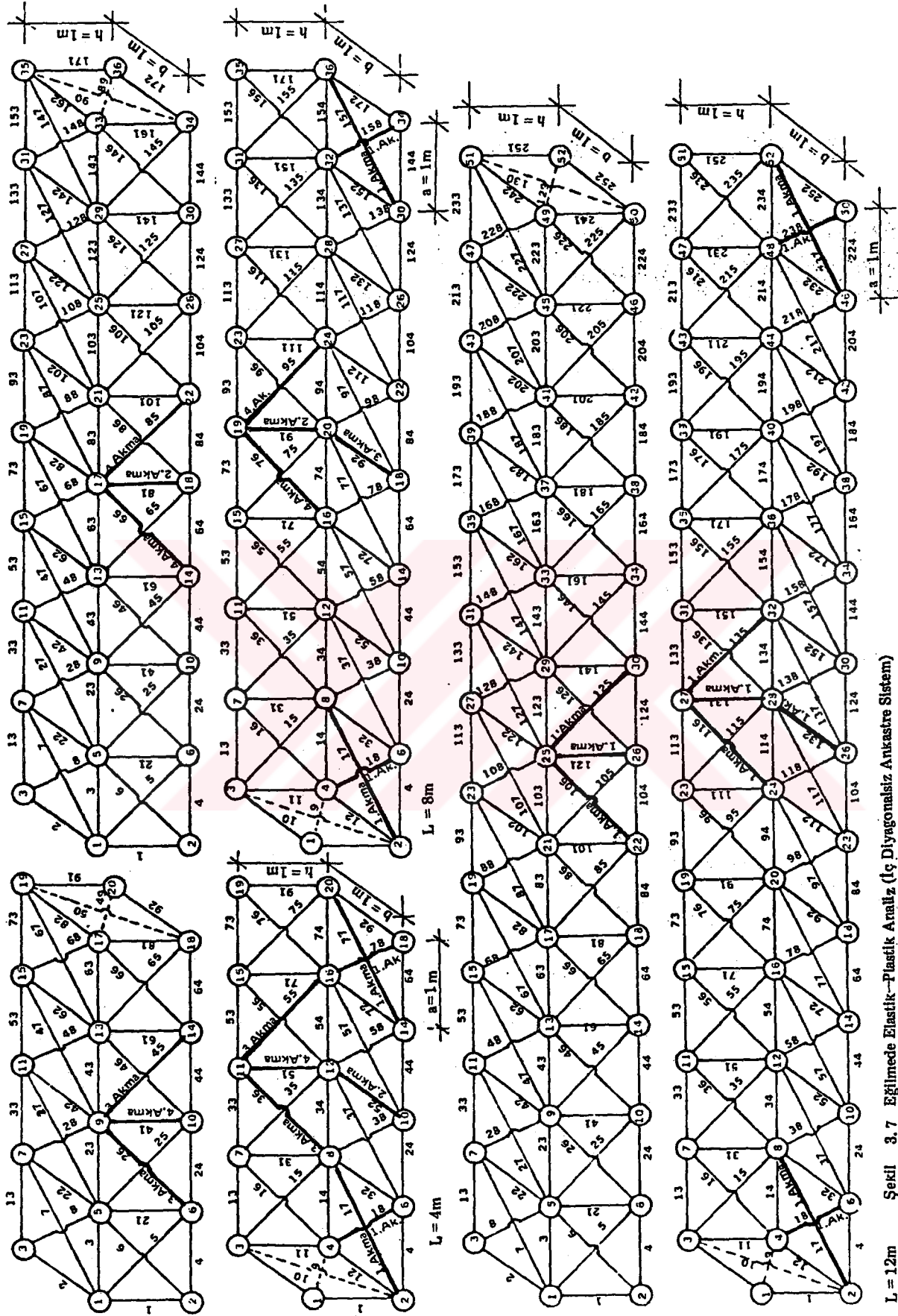
Şekil 3.4 Eğilmede Elastik-Plastik Analiz (Ç Diyagonalı Kayıcı Sistem)



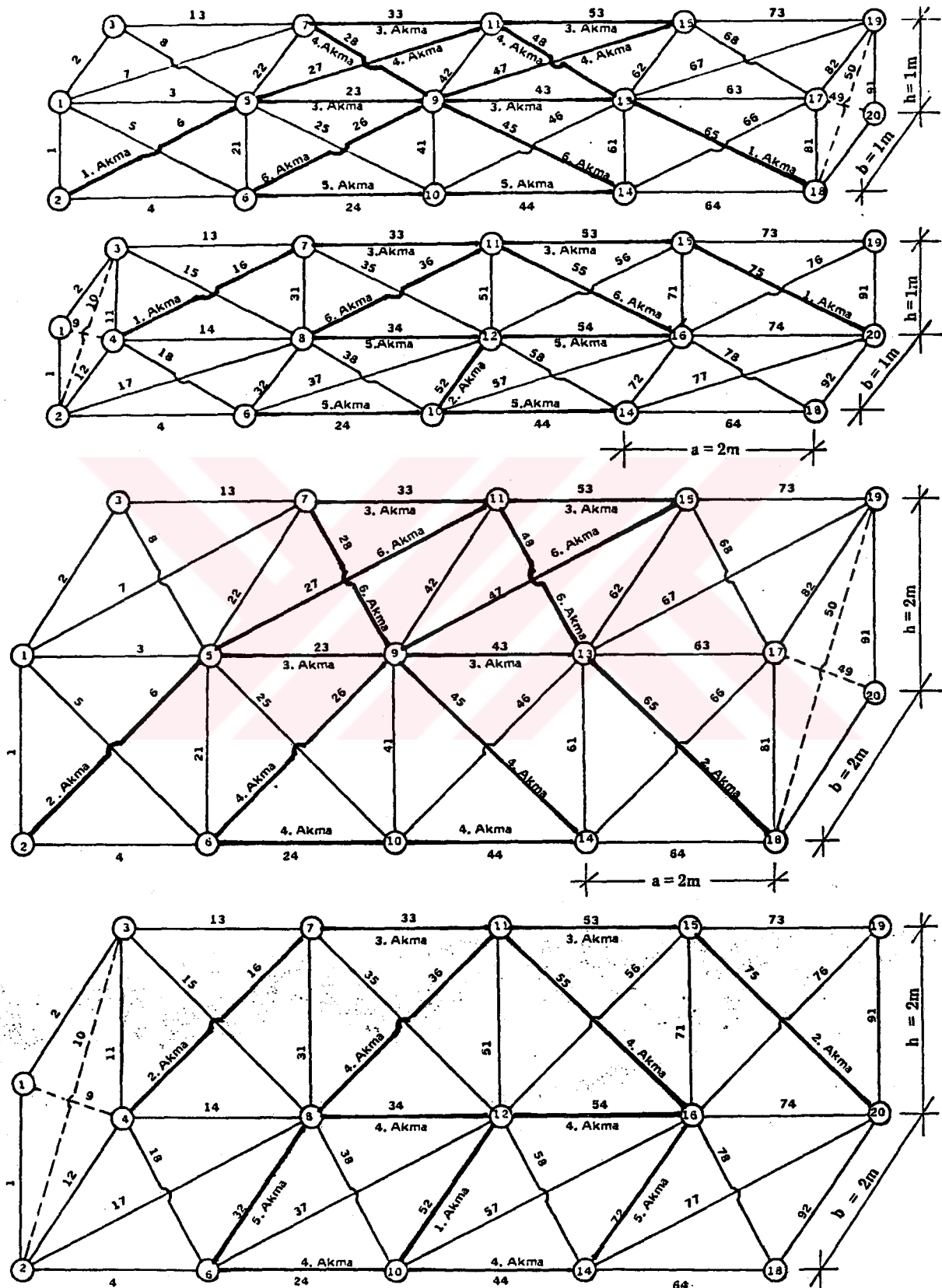
Şekil 3.5 Eğilmede Elastik-Plastik Analiz (İç Diyaformalı Sabit Sistem)

L = 12m

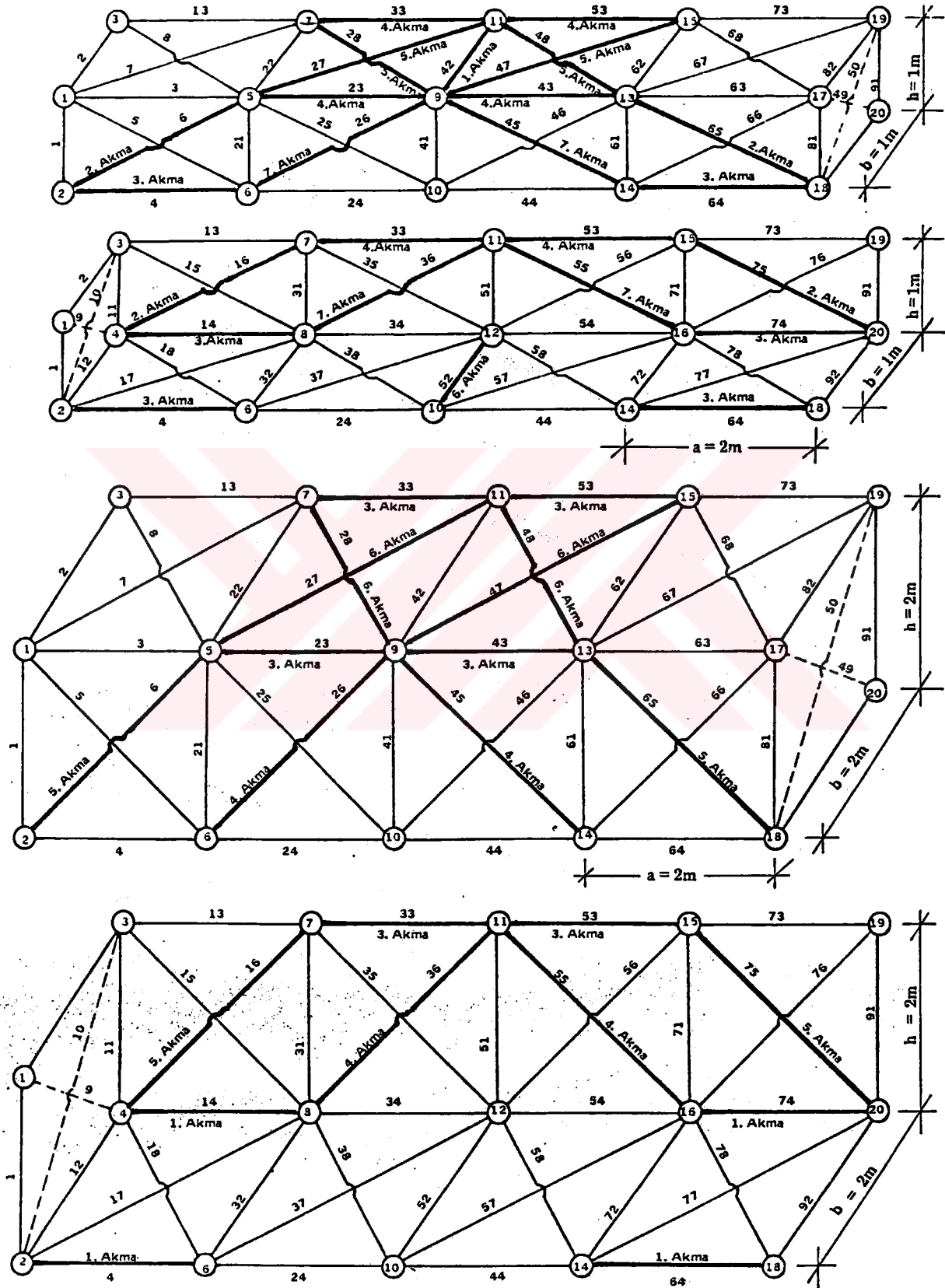




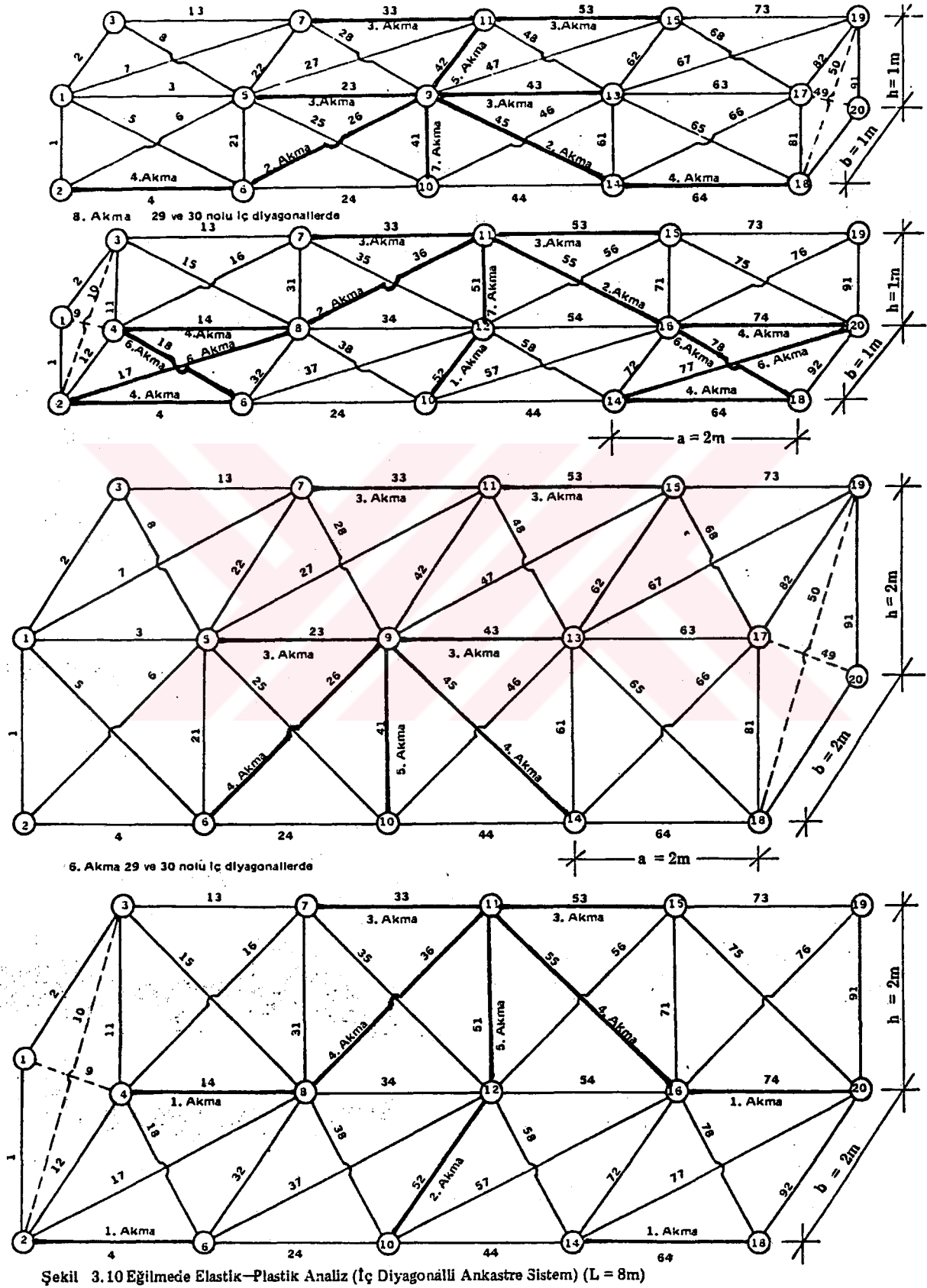
L = 12m Şekil 3.7 Eğilmede Elastik-Plastik Analiz (İç Diyağonsuz Ankastr Sistem)

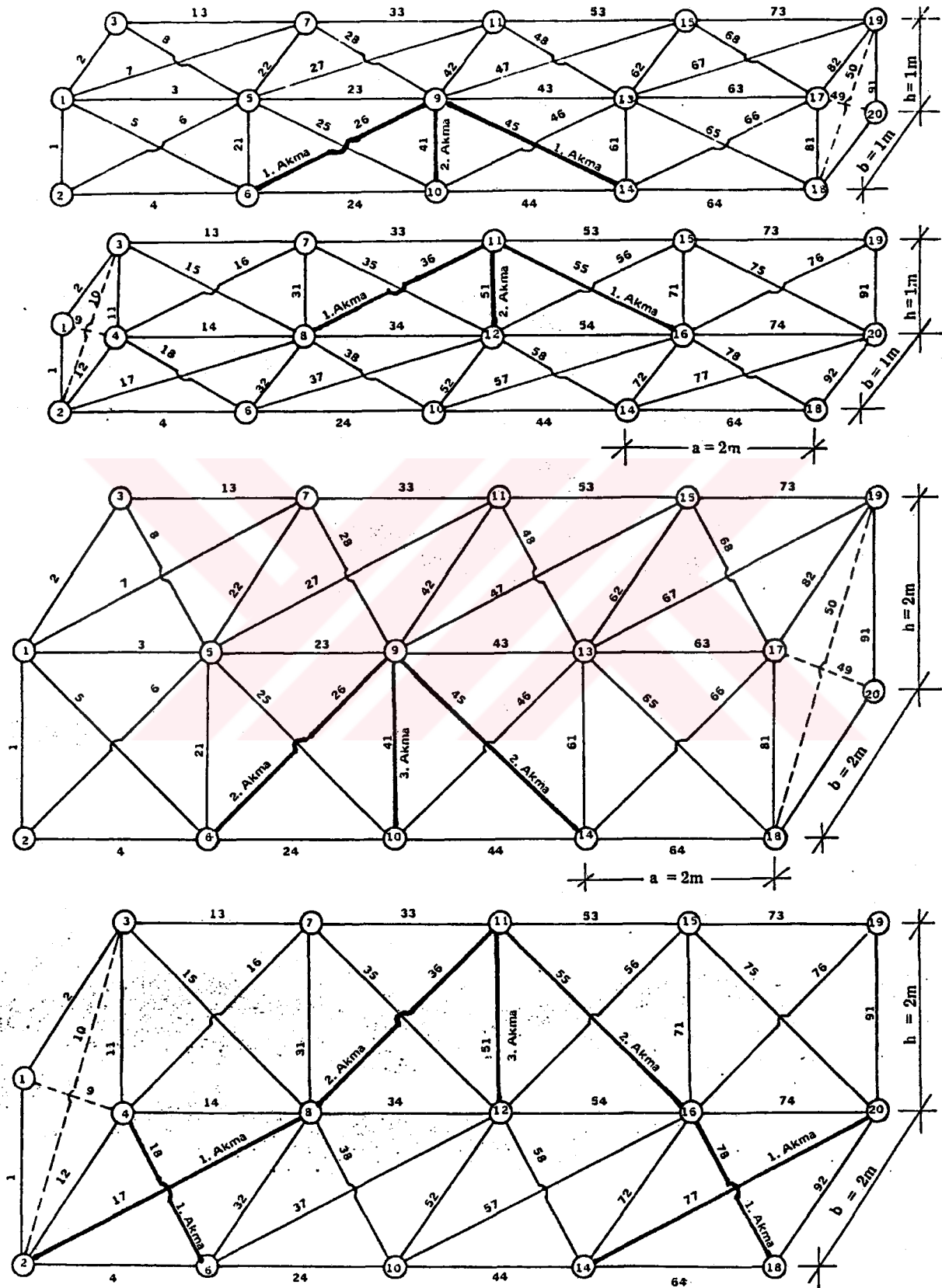


Şekil 3.8 Eğilmede Elastik-Plastik Analiz (İç Diyağonalli Kayıcı Sistem) ($L = 8\text{m}$)

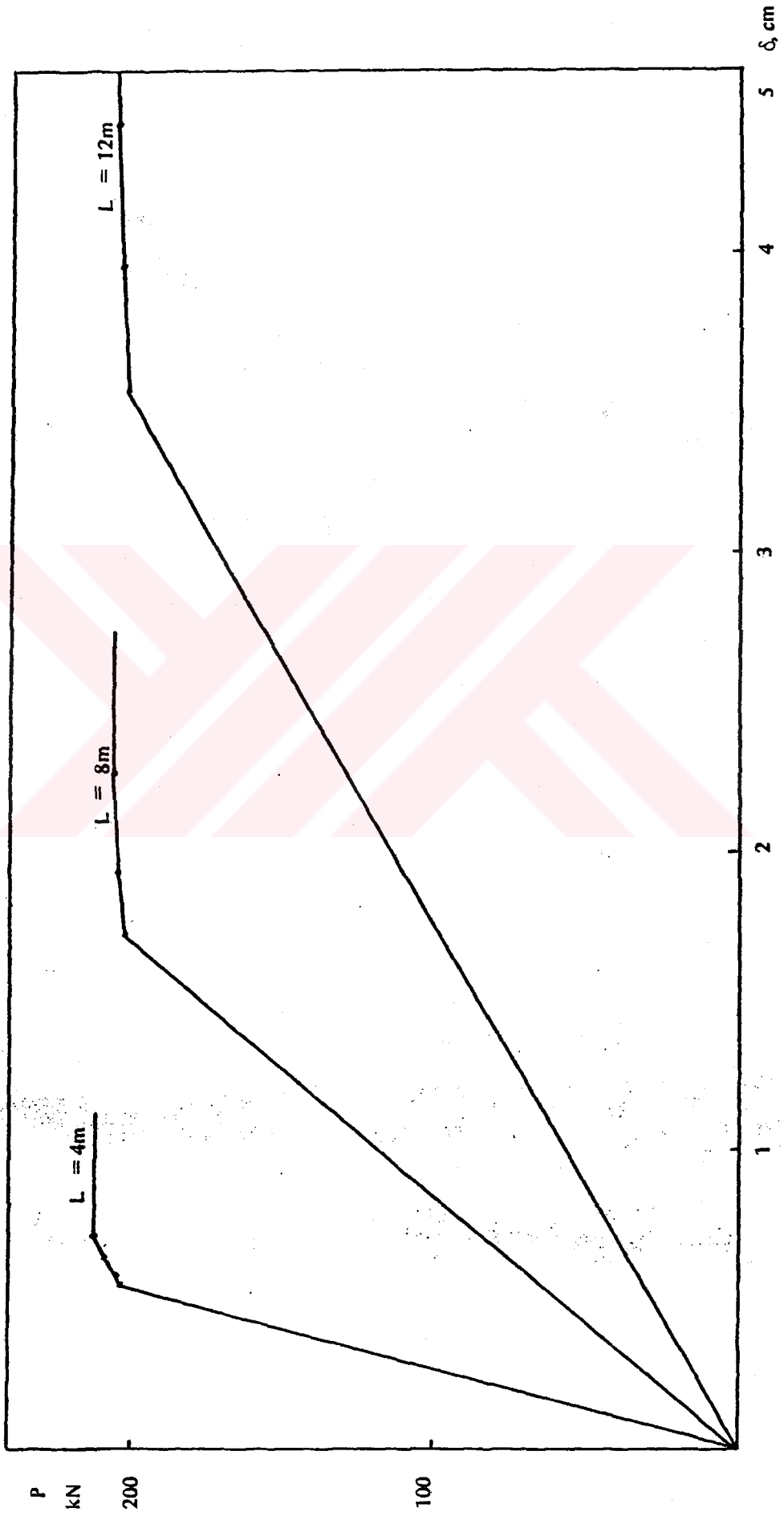


Şekil 3.9 Eğilmede Elastik-Plastik Analiz (İç Diyağonalli Sabit Sistem) ($L = 8\text{m}$)

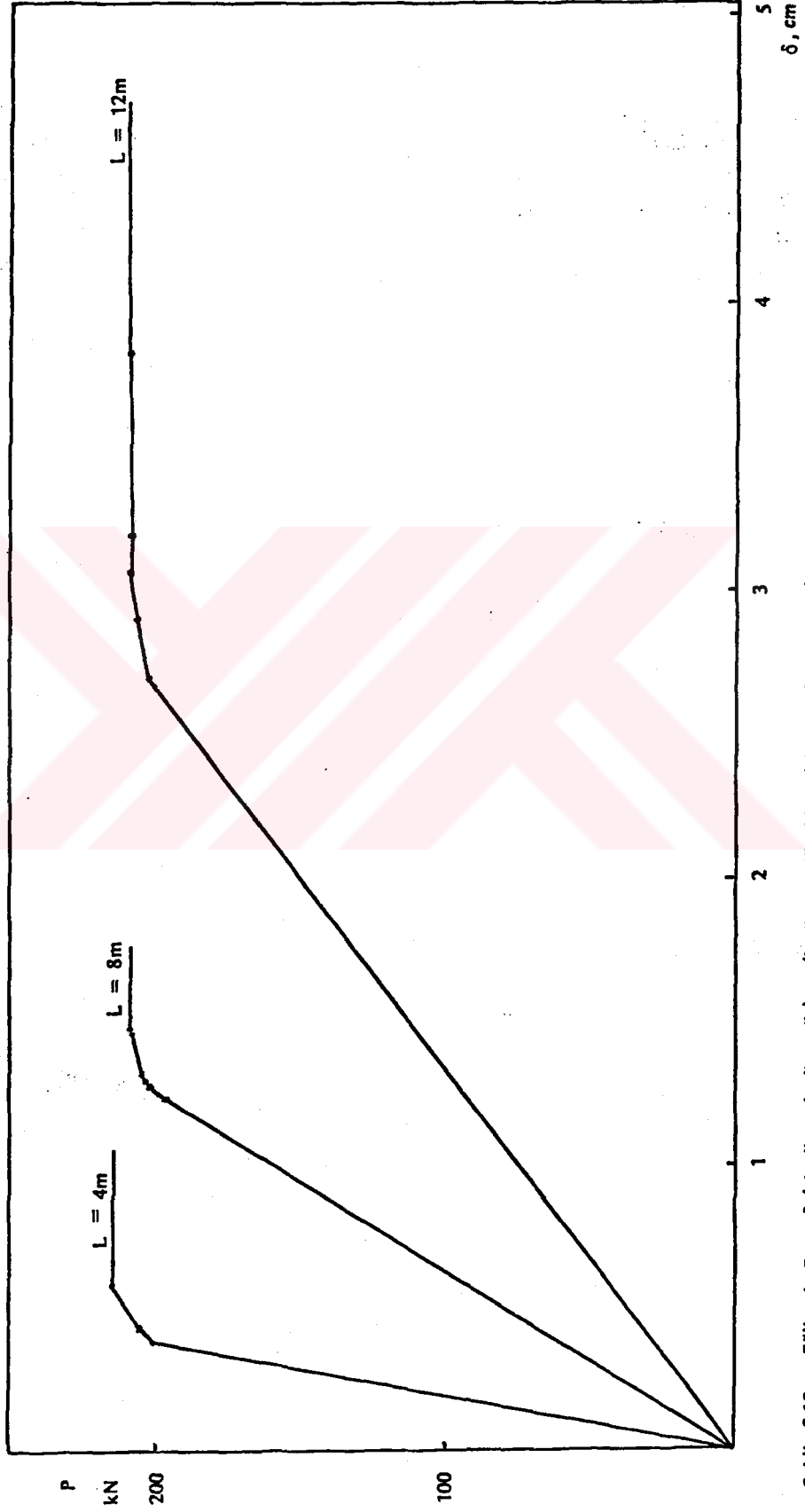




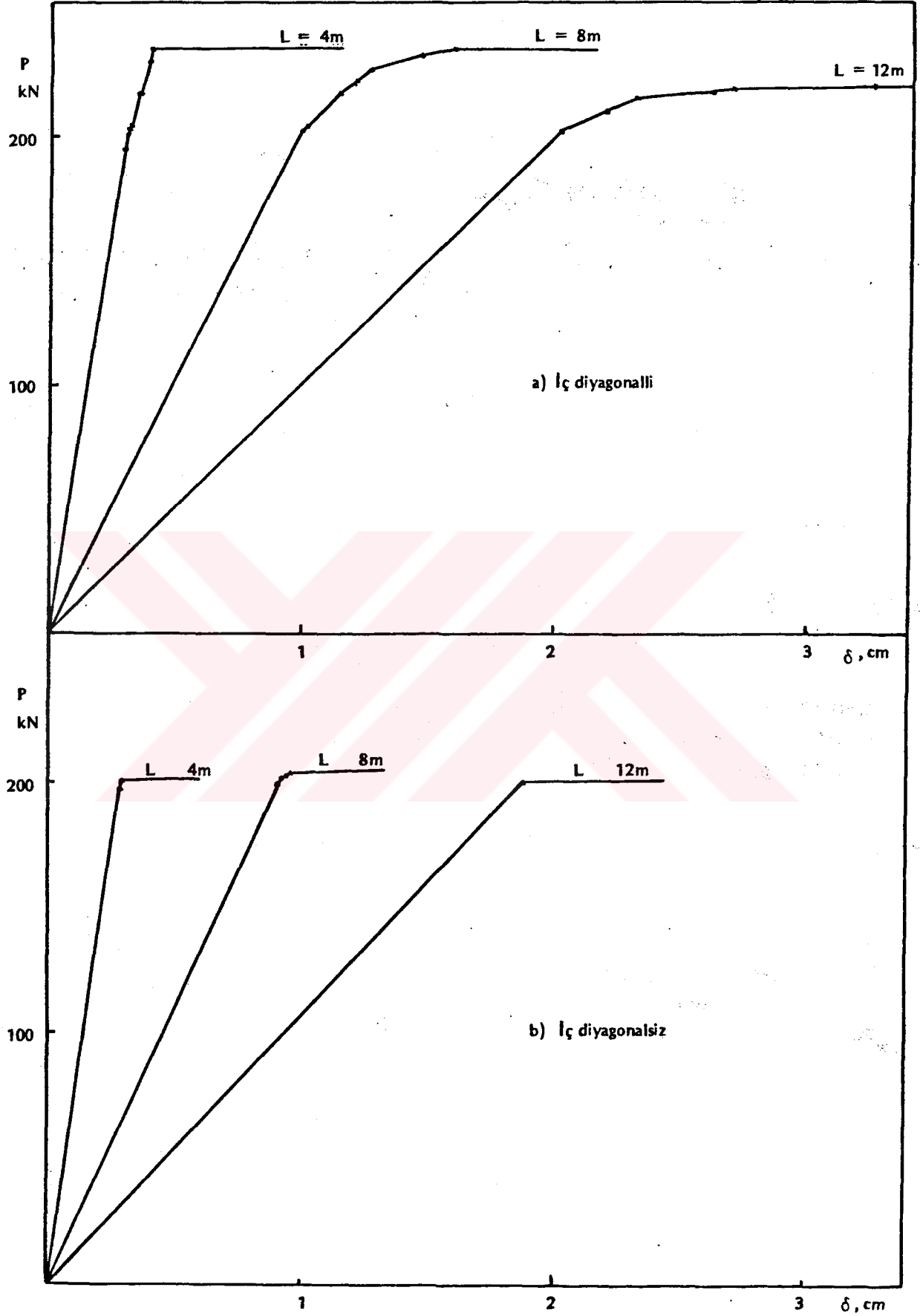
Şekil 3.11 Eğilmede Elastik-Plastik Analiz (İç Diyağonsuz Ankastr Sistem) ($L = 8\text{m}$)



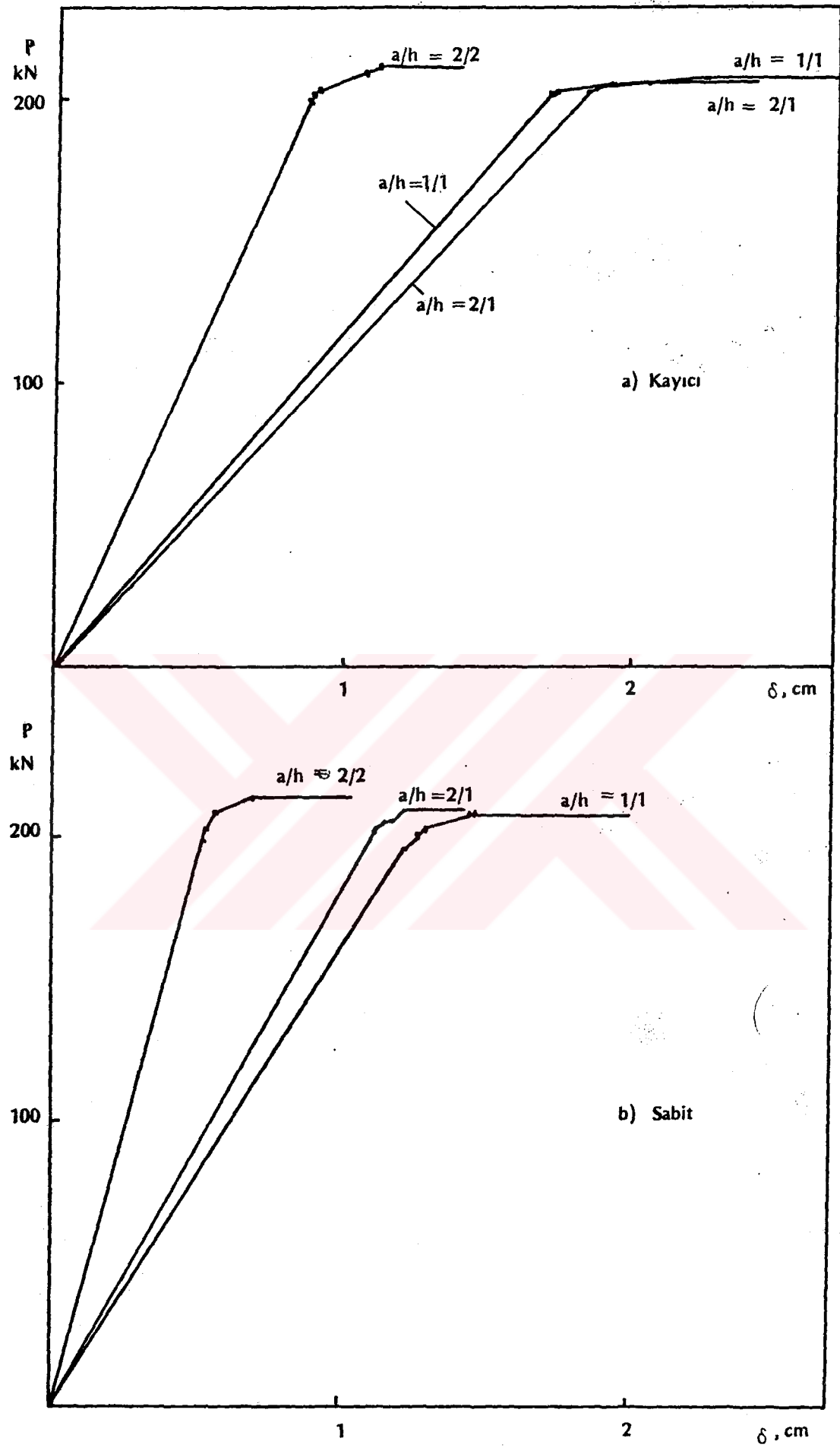
Şekil 3.12 Eğilmede $P - \delta$ (elastik - plastik analiz) (iç diyagonalı kayıcı, $b/h = 1/1$, $a = 1\text{m}$)



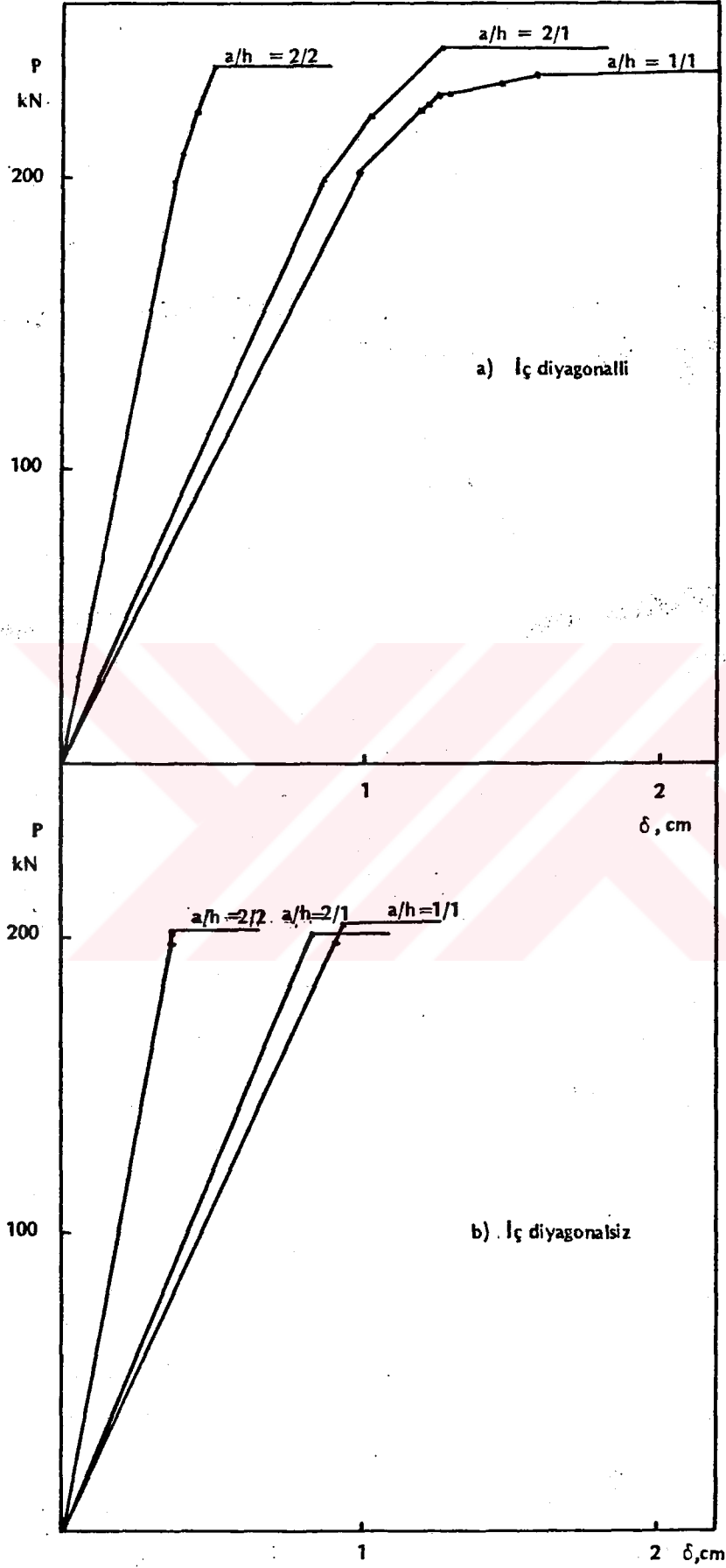
Şekil 3.13 Eğilmede $P - \delta$ (elastik - plastik analiz) (iç diyagonalı sabit, $b/h = 1/1$, $a = 1\text{m}$)



Şekil 3.14 Eğilmede $P - \delta$ (elastik - plastik analiz) (ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1m$)



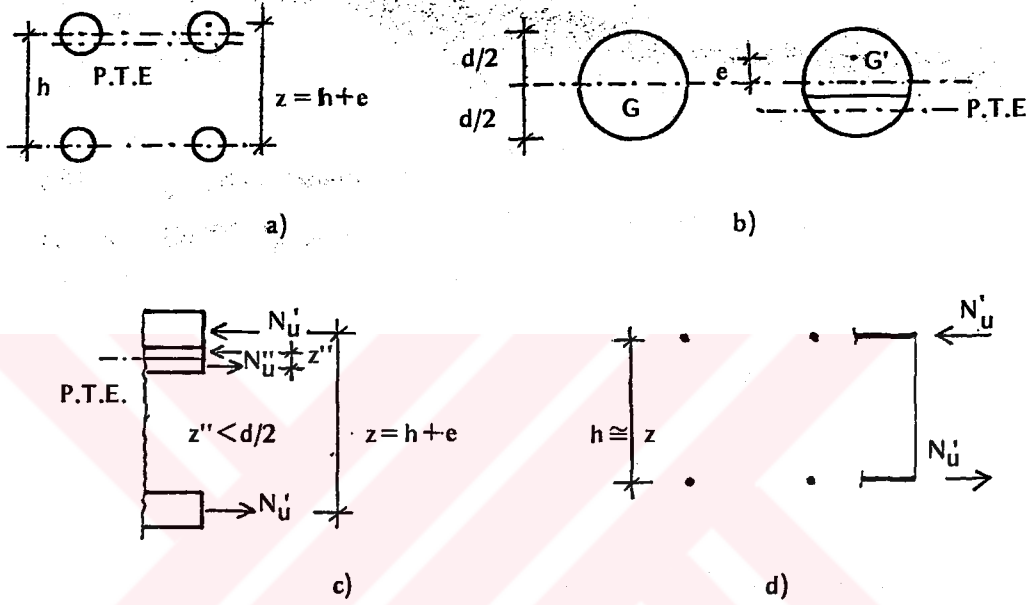
Şekil 3.15 Eğilmede $P - \delta$ (elastik - plastik analiz) (iç diyagonalı, $L = 8m$)



Şekil 3.16 Eğilmede $P-\delta$ (elastik – plastik analiz) (ankastre, $L = 8\text{m}$)

3.2.1.1. Basit Plastik Teori ile Çözüm

Uzay kafes kirişlerin göçme yükleri; bu kez de sistemlerin, sadece üst ve alt başlıklardan oluşan sürekli, mafsalsız ve diyagonal-siz dolu gövdeli kirişler olduğu varsayımıyla basit plastik teori kullanılarak bulunmuştur (Şekil 3.17 ve Tablo 3.7), | 1 | ; | 2 | .



Şekil 3.17

Şekil 3.17 de üst başlık enkesitinin alt başlık enkesitinden büyük ($A_{üst} > A_{alt}$) olması halinde plastik tarafsız eksenin yeri (P.T.E) gösterilmiştir. Üst başlığın tarafsız eksenin üstünde kalan alandan, altında kalan alan, çıkarıldıktan sonra kalan alan ki, bu alan A_{alt} 'a yani A_{min} 'e eşittir. Bu alanın ağırlık merkezi G' ile tam kesitin (üst başlığın) ağırlık merkezi G arasındaki fark "e" sembolü ile (b) de gösterilmiştir. (c) de de eğilme yüklemesi sonucu başlıklarda oluşan kuvvet çiftleri görülmektedir.

Şekil 3.11 (a) ve (c) de görüldüğü gibi manivela kolu z , kesit yüksekliği h den biraz büyüktür ($z = h + e$). Ancak (b) de görüldüğü üzere $e < d/2$ olmak zorundadır. (d) de görüldüğü gibi üst başlığın çapı (d), başlıklar arası düşey mesafe (h) yanında çok küçük olduğundan e değeri h yanında ihmal edilebilir ve $z \approx h$ alınabilir. (c) de görüldüğü

gibi z'' değeri z veya h yanında çok küçük olduğundan N''_U kuvvet çiftlerinin moment etkileri ihmal edilebilir.

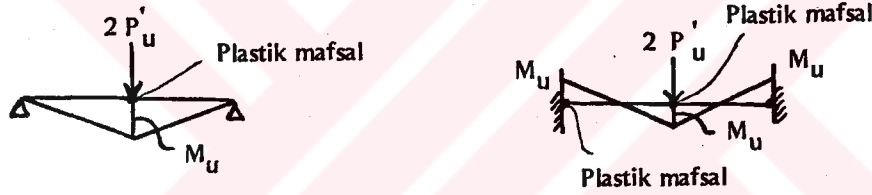
Göçme yükü P'_U nedeniyle meydana gelen moment; kayıcı ve sabit sistemlerde,

$$M_U = \frac{2P'_U \cdot L}{4} \quad (3.1)$$

ankastre sistemlerde,

$$M_U = \frac{2P'_U \cdot L}{8} \quad (3.2)$$

dır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18

Diğer taraftan göçme anındaki eğilme momentleri, Şekil 3.17 yardımıyla,

$$M_U = N'_U \cdot h \quad (3.3)$$

olarak bulunur. Burada,

$$N'_U = 2 A_{min} \cdot \sigma_y \quad (3.4)$$

dir. Bu değer (3.3) de yerine konursa,

$$M_u = 2 A_{\min} \cdot \sigma_y \cdot h \quad (3.5)$$

olarak elde edilir.

Bu bağintı, sistemlerde dış y¼kten oluşan moment bağintıları (3.1) ve (3.2) ile eşitlenir ve P'_u ya g¼re c¼z¼l¼rse kayıcı ve sabit sistemlerde,

$$P'_u = \frac{4 A_{\min} \cdot \sigma_y \cdot h}{L} \quad (3.6)$$

ankastre sistemlerde de,

$$P'_u = \frac{8 A_{\min} \cdot \sigma_y \cdot h}{L} \quad (3.7)$$

bulunur.

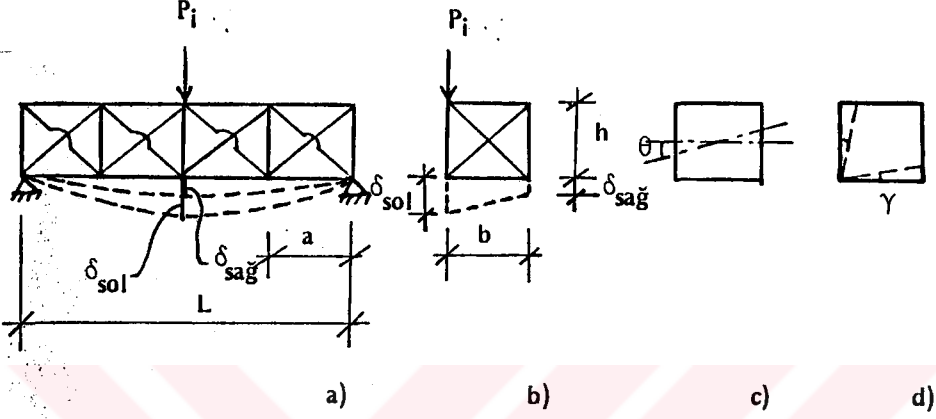
İncelenen uzay kafes kirişlerin P'_u taşıma g¼çleri yukarıdaki ifadeler yardımıyla hesaplanmış ve sonuçlar topluca Tablo 3.7 de verilmiştir. Ayrıca tablonun son s¼tununda da uzay kafes kirişlerin gercek taşıma g¼çlerinin (P_u), basit plastik teoriden bulunan taşıma g¼çlerine (P'_u) oranları (P_u/P'_u) belirtilmiştir.

Tablo 3.7 Eğilme Yüklemesine Göre Farklı Çözümlerdeki Taşıma Güçleri ve Oranları

L m	$\frac{\sigma_y \cdot h}{L}$ kN/cm ²	b/h m/m	a/h m/m	Mesnetleme Durumu	İç Diagonal	A üst cm ²	A alt cm ²	$P_u = 4(8) \frac{\sigma_y \cdot h}{L} \cdot A_k$ kN	P_u kN	$\frac{P_u}{P_u}$
4	$\frac{24 \cdot 100}{400} = 6$	1/1	1/1	Kayıcı	Var	7.44	5.85	140.40	211.65	1.507
				Sabit	Var	6.99	3.51	84.24	214.10	2.542
				Ankastre	Var	3.12	3.51	149.76	229.40	1.532
8	$\frac{24 \cdot 100}{800} = 3$	1/1	1/1	Ankastre	Yok	3.72	4.14	178.56	201.80	1.130
				Kayıcı	Var	15.24	14.58	174.96	206.19	1.178
				Sabit	Var	15.18	6.90	82.80	207.77	2.509
				Ankastre	Var	7.23	7.47	173.52	234.99	1.354
				Kayıcı	Yok	7.98	8.52	191.52	204.67	1.069
				Sabit	Var	14.01	8.01	96.120	205.83	2.141
12	$\frac{24 \cdot 200}{800} = 6$	2/2	2/2	Ankastre	Var	12.51	5.85	70.200	209.51	2.984
				Kayıcı	Var	6.18	6.44	148.32	245.14	1.653
				Sabit	Yok	8.08	8.40	193.92	201.94	1.041
				Ankastre	Var	9.51	4.98	119.52	211.15	1.766
				Kayıcı	Var	8.94	5.16	123.84	213.91	1.727
				Sabit	Var	5.10	5.37	244.80	238.85	0.976
12	$\frac{24 \cdot 100}{1200} = 2$	1/1	1/1	Ankastre	Yok	5.55	6.15	266.40	203.16	0.763
				Kayıcı	Var	22.71	23.20	181.68	204.73	1.127
				Sabit	Var	22.63	10.77	86.16	208.11	2.415
				Ankastre	Var	11.22	11.43	179.52	220.28	1.228
				Kayıcı	Yok	12.09	12.63	193.44	201.72	1.043
				Sabit	Yok					

3.2.2. Eğilmeli Burulmada Elastik-Plastik Analiz Sonuçları

Bu bölümde Tablo 1.1 de belirtilen uzay kafes kirişlerin eğilmeli burulma yüklemesine göre yine bölüm 3.1 de anlatıldığı gibi yük artımı yöntemiyle elastik-plastik analizleri yapılmıştır (Şekil 3.19).

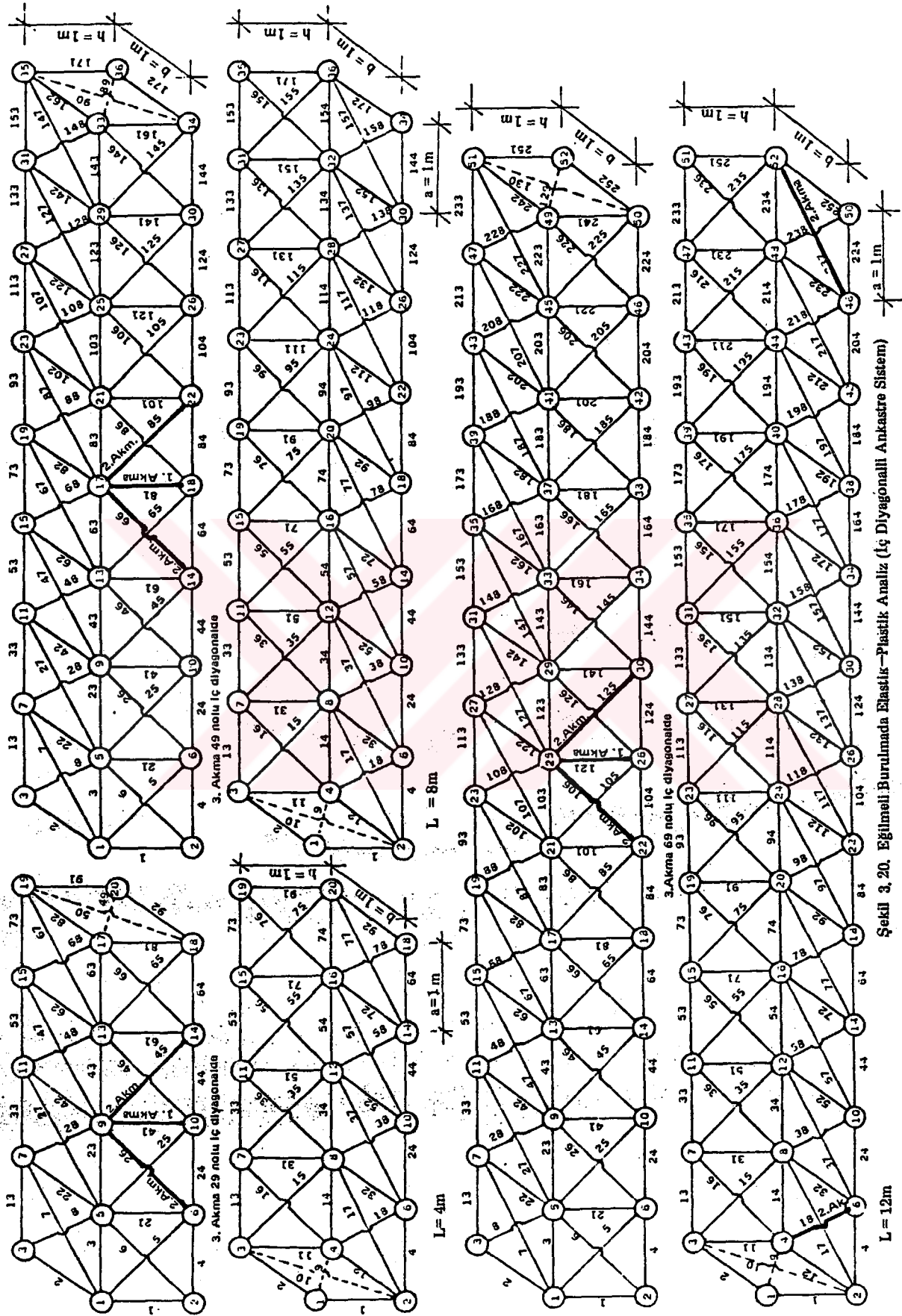


Şekil 3.19

Uzay kafes kirişlerde eğilmeli burulmada elastik-plastik analiz sonucu oluşan akma anlarının hangi çubuklarda meydana geldikleri Şekil 3.20-3.23 de belirtilmiştir.

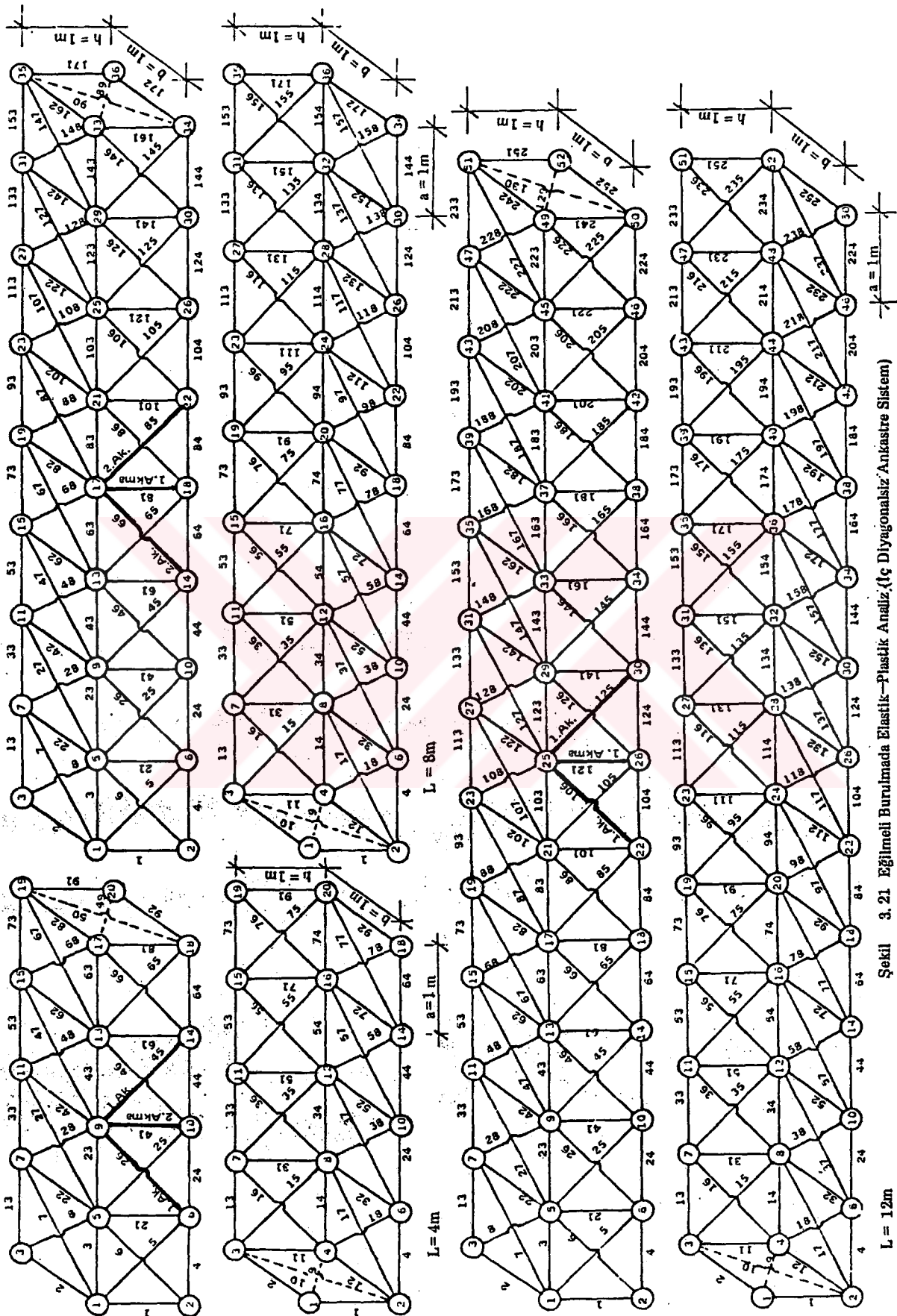
Uzay kafes kirişlerin akma anlarındaki kapasiteleri (akmayı oluşturan yükler) ve orta enkesitteki üst ve alt noktaların deplasmanları (δ_x ve δ_z) bulunarak çökmeler Tablo 3.2-3.6 da ve yatay ve dikey deplasmanlar Tablo 3.8-3.12 de verilmiştir.

Her akma anındaki dönme ve açı değişimleri bölüm 2.6 da olduğu gibi hesaplanmış ve Tablo 3.8-3.12 de verilmiştir. Bu tablolardaki değerler yardımı ile, eğilmeli burulma yüklemesinde; yük-çökme eğrileri ($P-\delta$) Şekil 3.24-3.25 de, yük-dönme eğrileri ($P-\theta$) Şekil 3.26-3.27 de ve yük-açı değişimi eğrileri de ($P-\gamma$) Şekil 3.9-3.10 da verilmiştir.



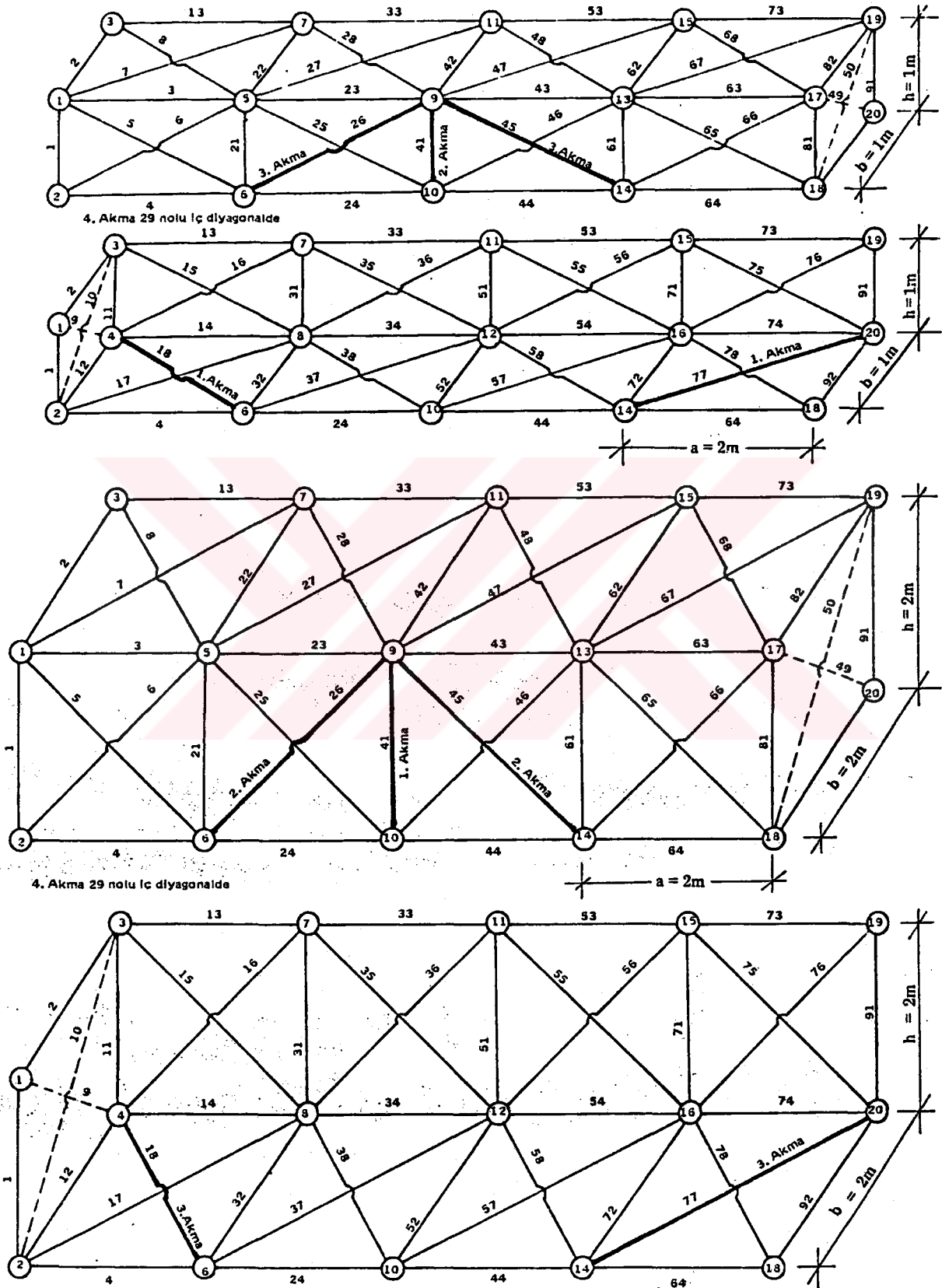
Şekil 3.20. Eğilmeli Burulmada Elastik-Plastik Analiz (1.ç Diyagonalı Ankastr Sistem)

L = 12m

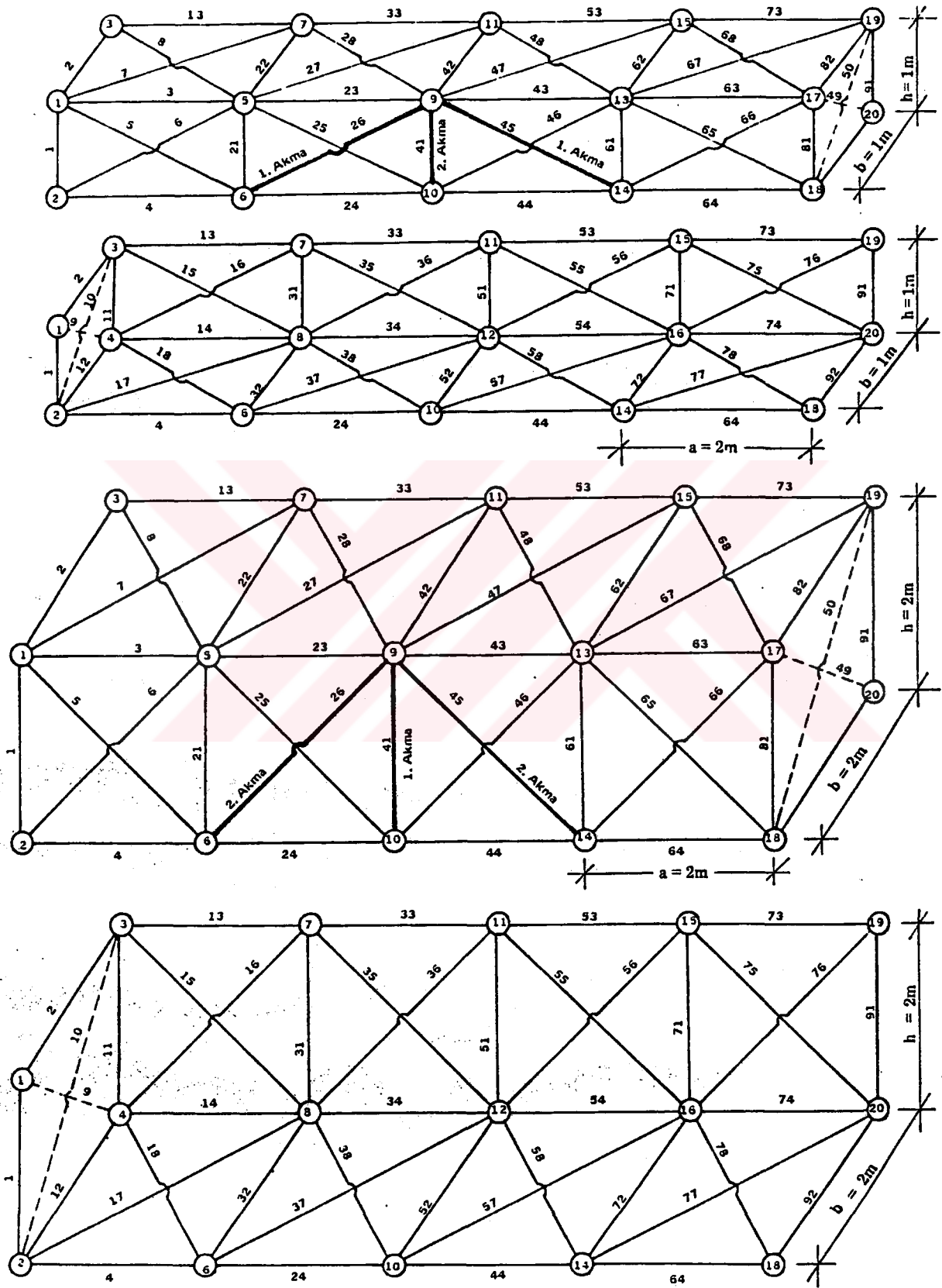


Şekil 3.21 Eğilmeli Burumuda Elastik-Plastik Analiz.(4ç Diyagonalız Ankastr Sistem)

L = 12m



Şekil 3. 22 Eğilmeli Burulma'ya Elastik-Plastik Analiz (İç Diyagonalı Anı Sistem) ($L = 8\text{m}$).



Şekil 3.23 Eğilmeli Burulmada Elastik-Plastik Analiz (İç Diyagonalsız Ankastr Sistem) ($L = 8m$)

Tablo 3.8

Akma Anlarında Orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açı Değişimleri													
Yükleme Durumu	L	m	4										
	b/h	m/m	1/1										
	a	m	i										
	Mesnetleme Durumu	Ankastre											
	İç Diyagonal	Var				Yok							
Eğilmeli Burulma	Yük : P_i	kN	221.80	229.50	236.02				199.45	201.68			
	Aşağı doğru yükü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.09	-0.094	-0.104				0.05	0.0509		
			δ_z	0.31	0.324	0.371				0.36	0.3676		
		Alt Nokta	δ_x	0.06	0.061	0.061				-0.06	-0.0603		
			δ_z	0.23	0.235	0.241				0.29	0.2955		
	Dönme	θ_{sol}	15000	15500	16500				-11000	-11120			
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.05	-0.052	-0.052				0.06	0.0612		
			δ_z	0.09	0.093	0.103				-0.01	-0.0101		
		Alt Nokta	δ_x	0.04	0.041	0.042				-0.07	-0.0704		
			δ_z	0.10	0.104	0.114				-0.01	-0.0101		
	Dönme	$\theta_{sağ}$	9000	9300	9400				-13000	-13160			
	Başlık-larda	Üst	$\theta_{ü}$	22000	23100	26800				37000	37770		
		Alt	θ_a	13000	13100	16800				30000	30560		
	Ortalama	Yatay	θ_y	17500	18100	19750				33500	34165		
		Düşey	θ_d	12000	12400	12950				-12000	-12140		
		Açı D.	γ	5500	5700	6800				45500	46325		
	Burulma	Yük : P_i	kN	202.50	203.22	203.57	235.97			195.00	197.03	197.19	
		Aşağı doğru yükü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.12	-0.1205	-0.1206	-0.1406			0.11	0.1115	0.1116
				δ_z	0.20	0.2010	0.2017	0.2717			0.37	0.3771	0.3777
			Alt Nokta	δ_x	0.10	0.1002	0.1003	0.1103			-0.13	-0.1310	-0.1311
δ_z				0.12	0.1201	0.1201	0.1301			0.30	0.3051	0.3055	
Dönme		θ_{sol}	22000	22070	22090	25090			-24000	-24250	-24270		
Yukarı doğru yükü yan kenarda		Üst Nokta	δ_x	-0.12	-0.1205	-0.1207	-0.1407			0.11	0.1116	0.1117	
			δ_z	-0.20	-0.2007	-0.2011	-0.2411			-0.37	0.3738	-0.3741	
		Alt Nokta	δ_x	0.10	-0.1003	-0.1003	-0.1103			-0.13	-0.1309	-0.1310	
			δ_z	-0.12	-0.1204	-0.1207	-0.1607			-0.30	-0.3031	-0.3034	
Dönme		$\theta_{sağ}$	22000	22080	22100	25100			-24000	-24250	-24270		
Başlık-larda		Üst	$\theta_{ü}$	40000	40170	40280	51280			74000	75090	75180	
		Alt	θ_a	24000	24050	24080	29080			60000	60820	60890	
Ortalama		Yatay	θ_y	32000	32110	32180	40180			67000	67955	68035	
		Düşey	θ_d	22000	22075	22095	25095			-24000	-24250	-24270	
		Açı D.	γ	10000	10035	10085	15085			91000	92205	92305	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-7} radyan olarak verilmiştir.

Tablo 3.9

Akma Anlarında Orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açılış Değişimleri														
Yükleme Durumu	L	m	8											
	b/h	m/m	1/1											
	a	m	1											
	Mesnetleme Durumu	Ankastre												
	İç Diyagonal	Var						Yok						
Eğilme Burulma	Yük : P _i		kN	221.25	229.08	234.67				202.64	204.63			
	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.16	-0.1672	-0.1772				0.28	0.282			
			δ_z	0.76	0.7896	0.8396				1.02	1.031			
		Alt Nokta	δ_x	0.13	0.1333	0.1333				-0.28	-0.283			
			δ_z	0.68	0.7010	0.7210				0.95	0.958			
	Dönme	θ_{sol}	29000	30050	31050				-56000	-56500				
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.13	-0.1353	-0.1353				0.30	0.303			
			δ_z	0.40	0.4138	0.4238				-0.02	-0.02			
		Alt Nokta	δ_x	0.11	0.1133	0.1233				-0.31	-0.313			
			δ_z	0.40	0.4145	0.4245				-0.02	-0.02			
	Dönme	$\theta_{sağ}$	24000	24860	25860				-61000	-61600				
	Başlık-larda	Üst	$\theta_{ü}$	36000	37580	41580				104000	105100			
		Alt	θ_a	28000	28650	29650				97000	97800			
	Ortalama	Yatay	θ_y	32000	33115	35615				100500	101450			
		Düşey	θ_d	26500	27455	28455				-58500	-59050			
		Açılış D.	γ	5500	5660	7160				159000	160500			
	Burulma	Yük : P _i		kN	202.44	202.79	205.87	206.50	220.96	234.72	201.86	202.03	202.54	204.64
		Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.27	-0.2704	-0.2744	-0.2753	-0.3053	-0.3353	0.58	0.5808	0.5833	0.5933
				δ_z	0.33	0.3306	0.3386	0.3403	0.3853	0.4313	1.04	1.0409	1.0436	1.0556
			Alt Nokta	δ_x	0.22	0.2204	0.2224	0.2230	0.2430	0.2630	-0.59	-0.5905	-0.5931	-0.6041
δ_z				0.26	0.2605	0.2625	0.2631	0.2811	0.3011	0.97	0.9708	0.9733	0.9823	
Dönme		θ_{sol}	49000	49080	49680	49830	54830	59830	-117000	-117130	-117640	-119740		
Yukarı doğru yüklü yan kenarda		Üst Nokta	δ_x	-0.27	-0.2704	-0.2744	-0.2754	-0.3054	-0.3354	0.58	0.5808	0.5832	0.5932	
			δ_z	-0.33	-0.3306	-0.3366	-0.3379	-0.3679	-0.4079	-1.04	-1.0412	-1.0459	-1.0649	
		Alt Nokta	δ_x	0.22	0.2203	0.2223	0.2228	0.2428	0.2628	-0.59	-0.5905	-0.5930	-0.6040	
			δ_z	-0.26	-0.2605	-0.2655	-0.2664	-0.2667	-0.2967	-0.97	-0.9711	-0.9755	-0.9935	
Dönme		$\theta_{sağ}$	49000	49070	49670	49820	54820	59820	-117000	-117130	-117620	-119720		
Başlık-larda		Üst	$\theta_{ü}$	66000	66120	67520	67820	75320	83920	208000	208210	208950	212050	
		Alt	θ_a	52000	52100	52800	52950	54780	59770	194000	194190	194880	197580	
Ortalama		Yatay	θ_y	59000	59110	60160	60385	65050	71845	201000	201200	201915	204815	
		Düşey	θ_d	49000	49075	49675	49825	54825	59825	-117000	-117130	-117630	-119740	
		Açılış D.	γ	10000	10035	10485	10560	10225	12020	318000	318330	319450	324555	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-7} radyan olarak verilmiştir.

Tablo 3.10

Akma Anlarında Orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açı Değişimleri												
Yükleme Durumu	L	m/m	8									
	b/h	m/m	1/1									
	a	m/m	2									
	Mesnetleme Durumu	Ankastre										
	İç Diyagonal	Var						Yok				
Eğilmeli Burulma	Yük : P _i	kN	209.90	222.17	231.83	235.07			201.34	201.65		
	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.20	-0.208	-0.228	-0.235			0.21	0.2105	
			δ_z	0.71	0.757	0.847	0.880			0.98	0.9823	
		Alt Nokta	δ_x	0.16	0.179	0.199	0.205			-0.23	-0.2302	
			δ_z	0.63	0.673	0.723	0.734			0.91	0.9121	
	Dönme	θ_{sol}	36000	38700	42700	44000			-44000	-44070		
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.15	-0.155	-0.165	-0.168			0.24	0.2405	
			δ_z	0.29	0.307	0.327	0.333			-0.07	-0.0701	
		Alt Nokta	δ_x	0.14	0.157	0.187	0.196			-0.25	-0.2502	
			δ_z	0.29	0.307	0.337	0.345			-0.07	-0.0701	
	Dönme	$\theta_{sağ}$	29000	31200	35200	36400			-49000	-49070		
	Başlık-larda	Üst	$\theta_{ü}$	42000	45000	52000	54700			105000	105240	
		Alt	θ_a	34000	36600	38600	38900			98000	98220	
	Ortalama	Yatay	θ_y	38000	40800	45300	46800			101500	101730	
		Düşey	θ_d	32500	34950	38950	40200			-46500	-46570	
		Açı D.	γ	5500	5850	6350	6600			148000	148300	
	Burulma	Yük : P _i	kN	202.35	203.37	203.43	245.20			201.57	201.65	
		Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.33	-0.332	-0.3321	-0.4121			0.45	0.4502
				δ_z	0.40	0.4025	0.4027	0.6427			1.06	1.0606
			Alt Nokta	δ_x	0.29	0.2918	0.2919	0.3219			-0.48	-0.4802
δ_z				0.33	0.3321	0.3322	0.3522			0.98	0.9806	
Dönme		θ_{sol}	62000	62380	62400	73400			-93000	-93040		
Yukarı doğru yüklü yan kenarda		Üst Nokta	δ_x	-0.33	-0.3320	-0.3321	-0.4121			0.45	0.4502	
			δ_z	-0.40	-0.4025	-0.4027	-0.5427			-1.06	-1.0604	
		Alt Nokta	δ_x	0.29	0.2918	0.2919	0.3119			-0.48	-0.4801	
			δ_z	-0.33	-0.3321	-0.3322	-0.4522			-0.98	-0.9804	
Dönme		$\theta_{sağ}$	62000	62380	62400	72400			-93000	-93030		
Başlık-larda		Üst	$\theta_{ü}$	80000	80500	80540	118540			212000	212100	
		Alt	θ_a	66000	66420	66440	80440			196000	196100	
Ortalama		Yatay	θ_y	73000	73460	73490	99490			204000	204100	
		Düşey	θ_d	62000	62380	62400	72900			-93000	-93035	
		Açı D.	γ	11000	11080	11090	26590			297000	297135	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-7} radyan olarak verilmiştir.

Tablo 3.11

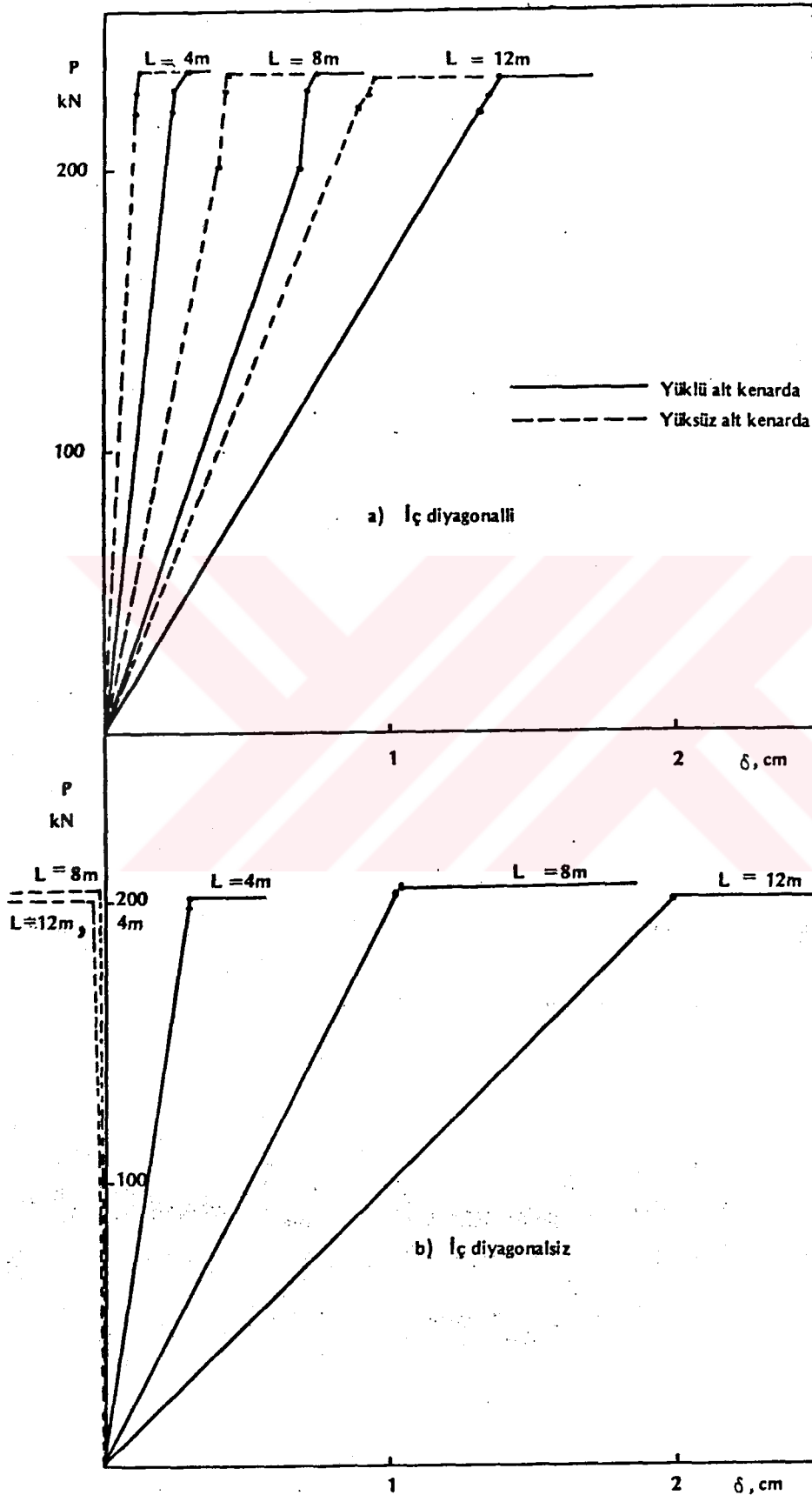
Akma Anlarında Orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açı Değişimleri												
Yükleme Durumu	L	m.	8									
	b/h	m/m	2/2									
	a	m	2									
	Mesnetleme Durumu	Ankastre										
	İç Diyagonal	Var						Yok				
Eğilimli Burulma	Yük : P _i		kN	224.97	233.99	235.09	238.82			203.17	203.22	
	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.11	-0.116	-0.118	-0.125			0.07	0.07	
			δ_z	0.40	0.421	0.431	0.464			0.49	0.4902	
		Alt Nokta	δ_x	0.08	0.081	0.082	0.085			-0.08	-0.08	
			δ_z	0.30	0.307	0.308	0.313			0.39	0.3901	
	Dönme	θ_{sol}	9500	9850	10000	10500			-7500	-7500		
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.06	-0.063	-0.064	-0.066			0.09	0.09	
			δ_z	0.12	0.124	0.125	0.128			-0.02	-0.02	
		Alt Nokta	δ_x	0.06	0.062	0.064	0.071			-0.10	-0.10	
			δ_z	0.13	0.136	0.138	0.144			-0.02	-0.02	
	Dönme	$\theta_{sağ}$	6000	6250	6400	6850			-9500	-9500		
	Başlık larda	Üst	$\theta_{ü}$	14000	14850	15300	16800			25500	25510	
		Alt	θ_a	8500	8550	8500	8450			20500	20505	
	Ortalama	Yatay	θ_y	11250	11700	11900	12625			23000	23075	
		Düşey	θ_d	7750	8050	8200	8675			-8500	-8500	
		Açı D.	γ	3500	3650	3700	3950			31500	31508	
	Burulma	Yük : P _i		kN	202.44	209.44	245.14			202.13	202.72	203.21
		Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.16	-0.1605	-0.1905			0.15	0.1505	0.1509
				δ_z	0.25	0.2512	0.3512			0.50	0.5017	0.5037
			Alt Nokta	δ_x	0.12	0.1205	0.1305			-0.18	-0.1809	-0.1818
δ_z				0.15	0.1507	0.1607			0.40	0.4014	0.4021	
Dönme		θ_{sol}	14000	14050	16050			-16500	-16570	-16635		
Yukarı doğru yüklü yan kenarda		Üst Nokta	δ_x	-0.16	-0.1606	-0.2006			0.15	0.1505	0.1508	
			δ_z	-0.25	-0.2511	-0.3111			-0.50	-0.5017	-0.5031	
		Alt Nokta	δ_x	0.12	0.1204	0.1304			-0.18	-0.1809	-0.1818	
			δ_z	-0.15	-0.1508	-0.2008			-0.40	-0.4014	-0.4025	
Dönme		$\theta_{sağ}$	14000	14050	16550			-16500	-16570	-16630		
Başlık larda		Üst	$\theta_{ü}$	25000	25115	33115			50000	50170	50340	
		Alt	θ_a	15000	15075	18075			40000	40140	40230	
Ortalama		Yatay	θ_y	20000	20095	25595			45000	45155	45285	
		Düşey	θ_d	14000	14050	16300			-16500	-16570	-16633	
		Açı D.	γ	6000	6045	9295			61500	61725	61918	

δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-7} radyan olarak verilmiştir.

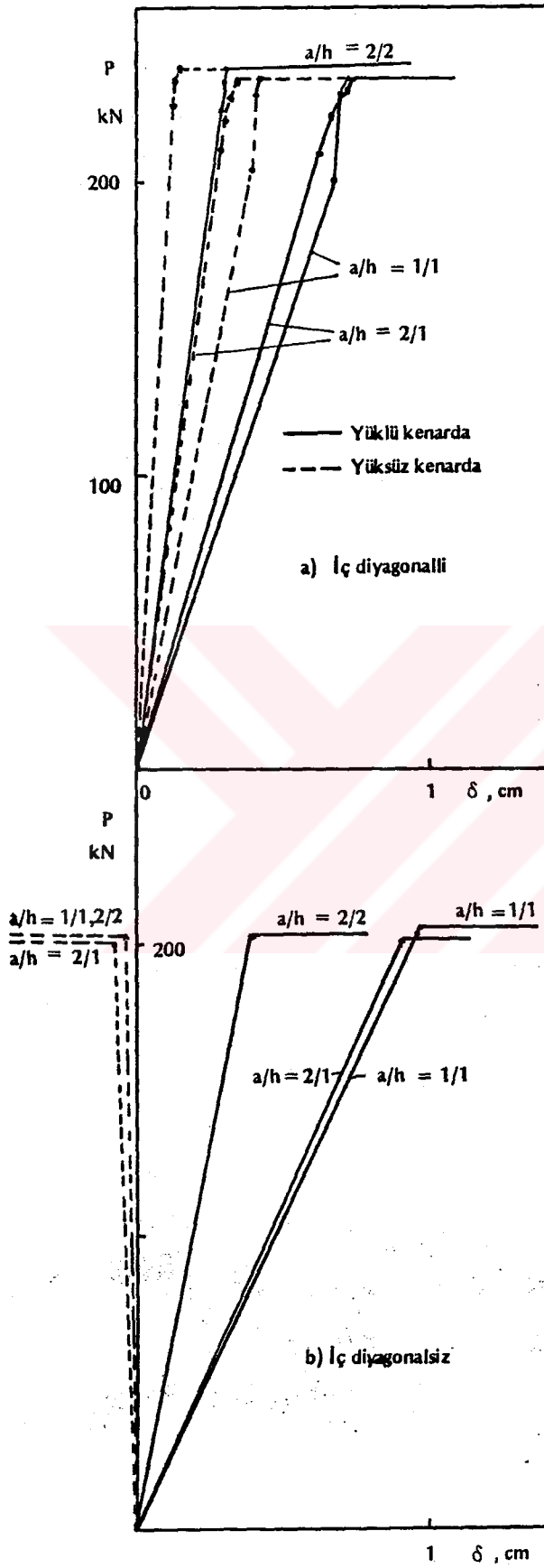
Tablo 3.12

Akma Anlarında Orta Kesitteki Deplasman, Dönme ve Açık Değişimleri														
Yükleme Durumu	L	m	12											
	b/h	m/m	1/1											
	a	m	1											
	Mesnetleme Durumu	Ankastre												
	İç Diyagonal	Var						Yok						
Eğilmeli Burulma	Yük : P _i		kN	221.44	227.59	233.29					201.63			
	Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.24	-0.25	-0.26					-0.67			
			δ_z	1.39	1.43	1.50					1.99			
		Alt Nokta	δ_x	0.21	0.21	0.22					-0.67			
			δ_z	1.32	1.35	1.38					1.92			
	Dönme	θ_{sol}	45000	46000	48000					-134000				
	Yüksüz yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.20	-0.21	-0.22					0.69			
			δ_z	0.88	0.90	0.92					-0.04			
		Alt Nokta	δ_x	0.19	0.20	0.21					-0.69			
			δ_z	0.88	0.91	0.94					-0.04			
	Dönme	$\theta_{sağ}$	39000	41000	43000					-138000				
	Başluklarda	Üst	$\theta_{ü}$	51000	53000	58000					203000			
		Alt	θ_a	44000	44000	44000					196000			
	Ortalama	Yatay	θ_y	47500	48500	51000					199500			
		Düşey	θ_d	42000	43500	45500					-136000			
		Açık D.	γ	5500	5000	5500					335500			
	Burulma	Yük : P _i		kN	201.43	209.42	225.72	232.16				201.43		
		Aşağı doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.40	-0.42	-0.47	-0.49				1.36		
				δ_z	0.47	0.50	0.57	0.60				2.03		
			Alt Nokta	δ_x	0.36	0.38	0.42	0.44				-1.35		
				δ_z	0.39	0.41	0.46	0.48				1.96		
		Dönme	θ_{sol}	76000	80000	89000	93000				-271000			
		Yüksüz doğru yüklü yan kenarda	Üst Nokta	δ_x	-0.40	-0.42	-0.47	-0.49				1.36		
				δ_z	-0.47	-0.49	-0.55	-0.57				-2.03		
Alt Nokta			δ_x	0.36	0.37	0.41	0.43				-1.35			
			δ_z	-0.39	-0.41	-0.46	-0.48				-1.96			
Dönme		$\theta_{sağ}$	76000	76000	88000	92000				-271000				
Başluklarda		Üst	$\theta_{ü}$	94000	99000	112000	117000				406000			
		Alt	θ_a	78000	82000	92000	96000				392000			
Ortalama		Yatay	θ_y	86000	90500	102000	106500				399000			
		Düşey	θ_d	76000	78000	88500	92500				-271000			
		Açık D.	γ	10000	12500	13500	14000				670000			

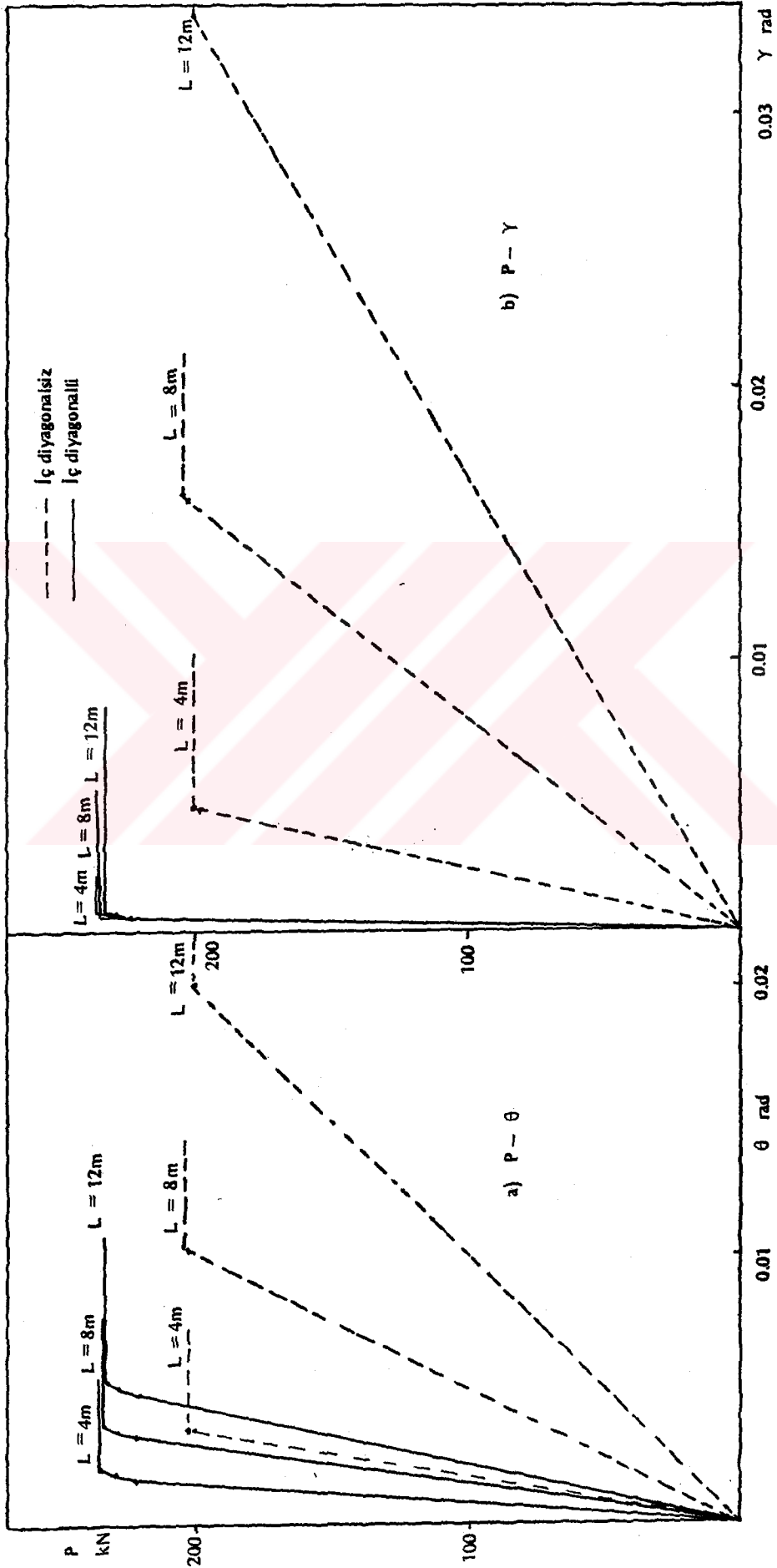
δ değerleri cm, θ ve γ değerleri ise 10^{-7} radyan olarak verilmiştir.



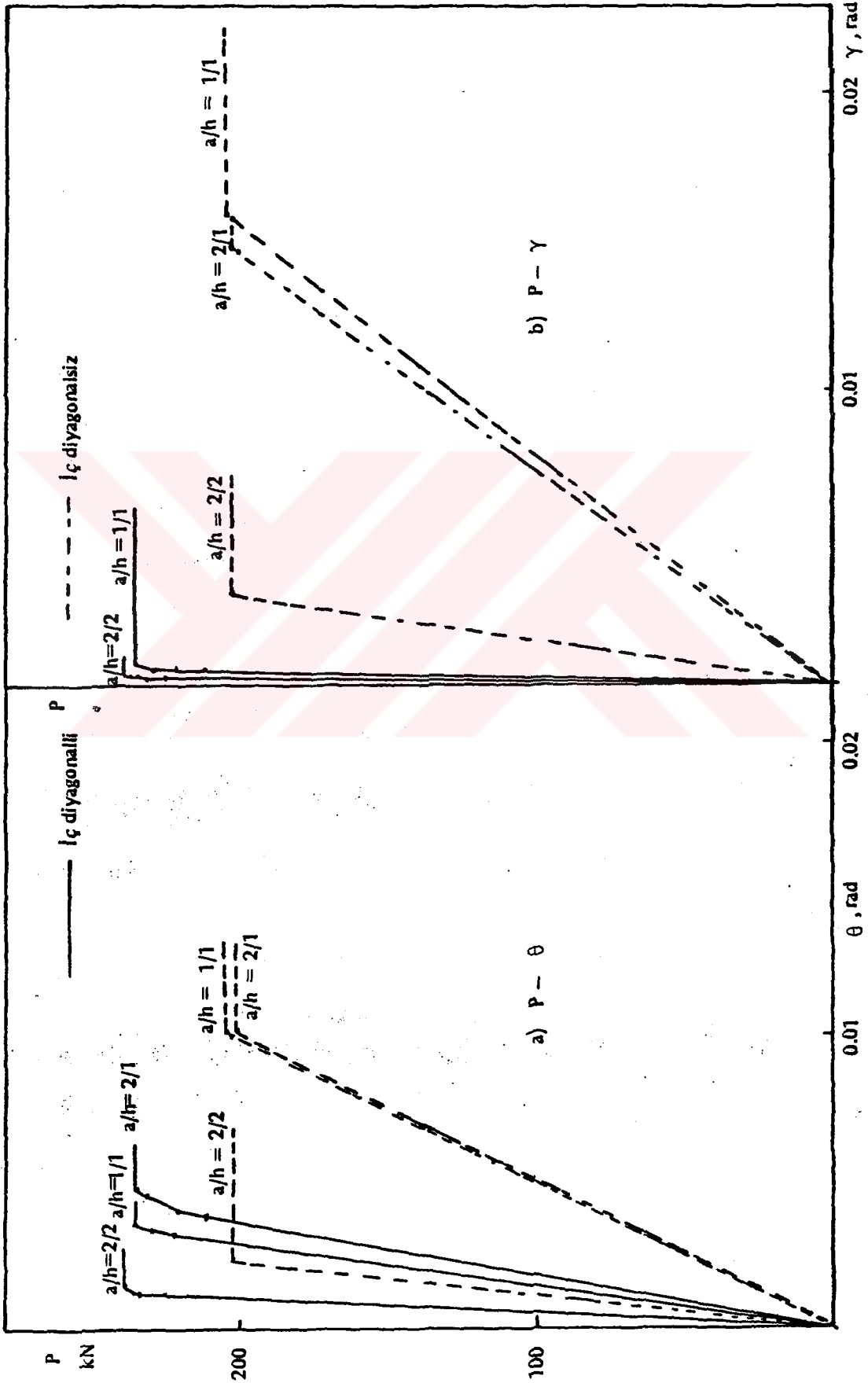
Şekil 3.24 Eğilmeli burulmada $P - \delta$ (elastik - plastik analiz) (ankastre, $b/h=1/1$, $a=1m$)



Şekil 3.25 Eğilmeli burulmada $P - \delta$ (elastik - plastik analiz)
(ankastre sistem, $L = 8m$)



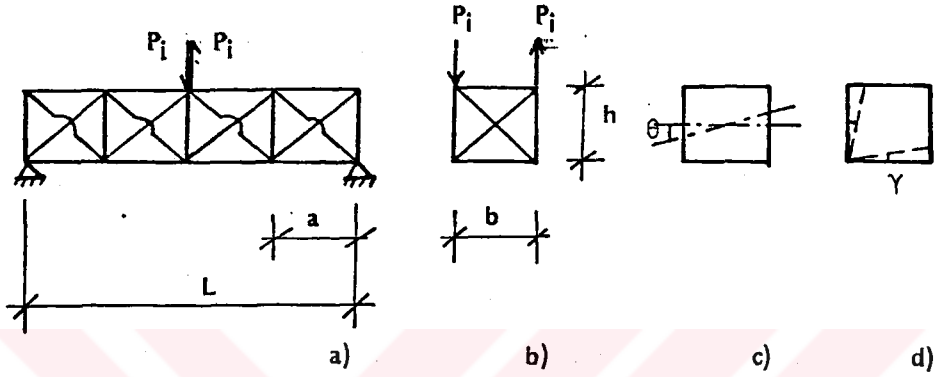
Şekil 3.26 Eğilmeli burulmada $P - \theta$, $P - \gamma$ (elastik - plastik analiz) (ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1\text{m}$)



Şekil 3.27 Eğilmeli burulmada P - θ , P - γ (elastik - plastik analiz) (ankastre, $L = 8m$)

3.2.3. Burulmada Elastik-Plastik Analiz Sonuçları

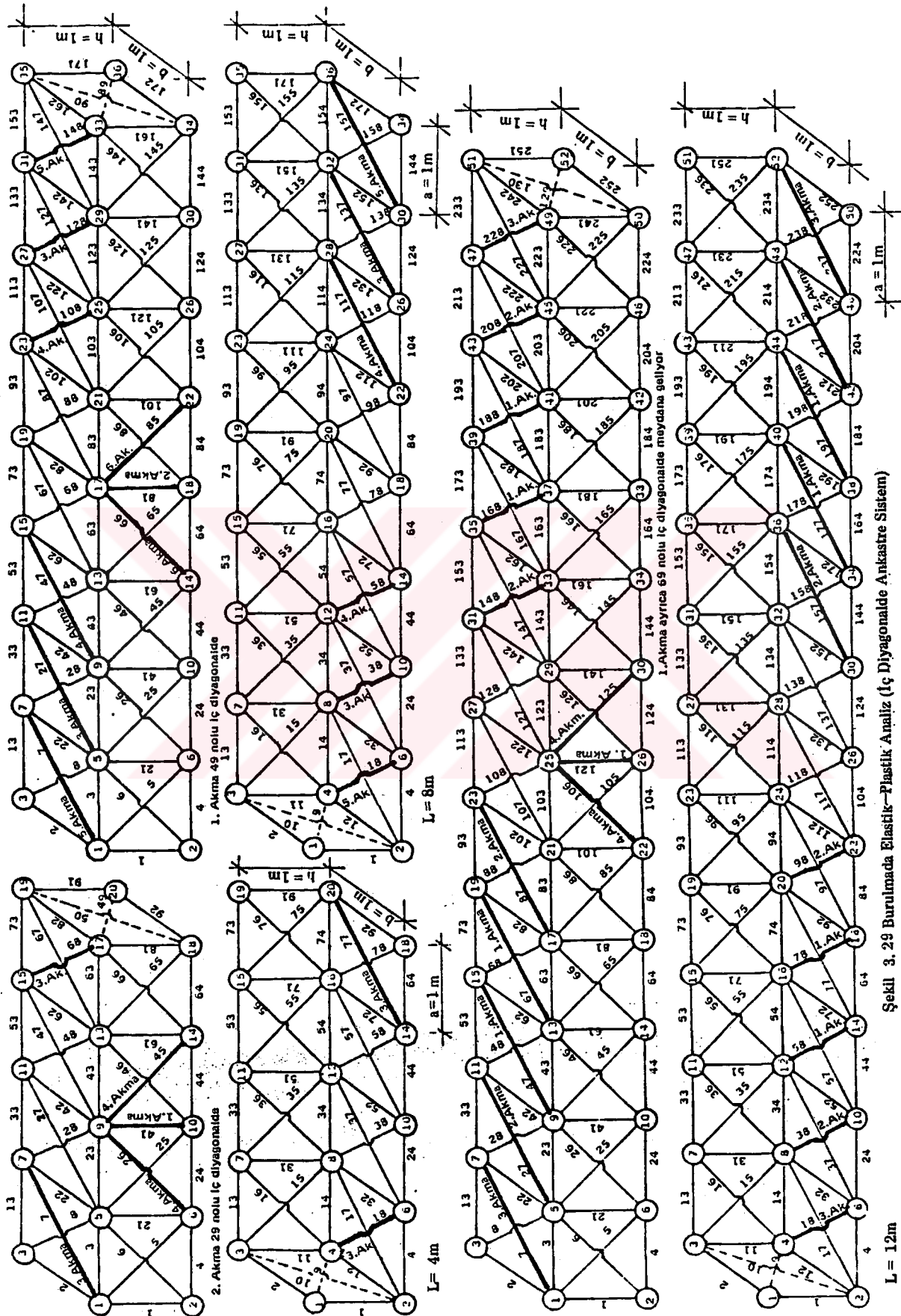
Tablo 1.1 de belirtilen sistemlerin bu kez de Şekil 3.28 de görülen burulma yüklemesine göre yine bölüm 3.1 de olduğu gibi yük artımı yöntemiyle elastik-plastik analizleri yapılmıştır.



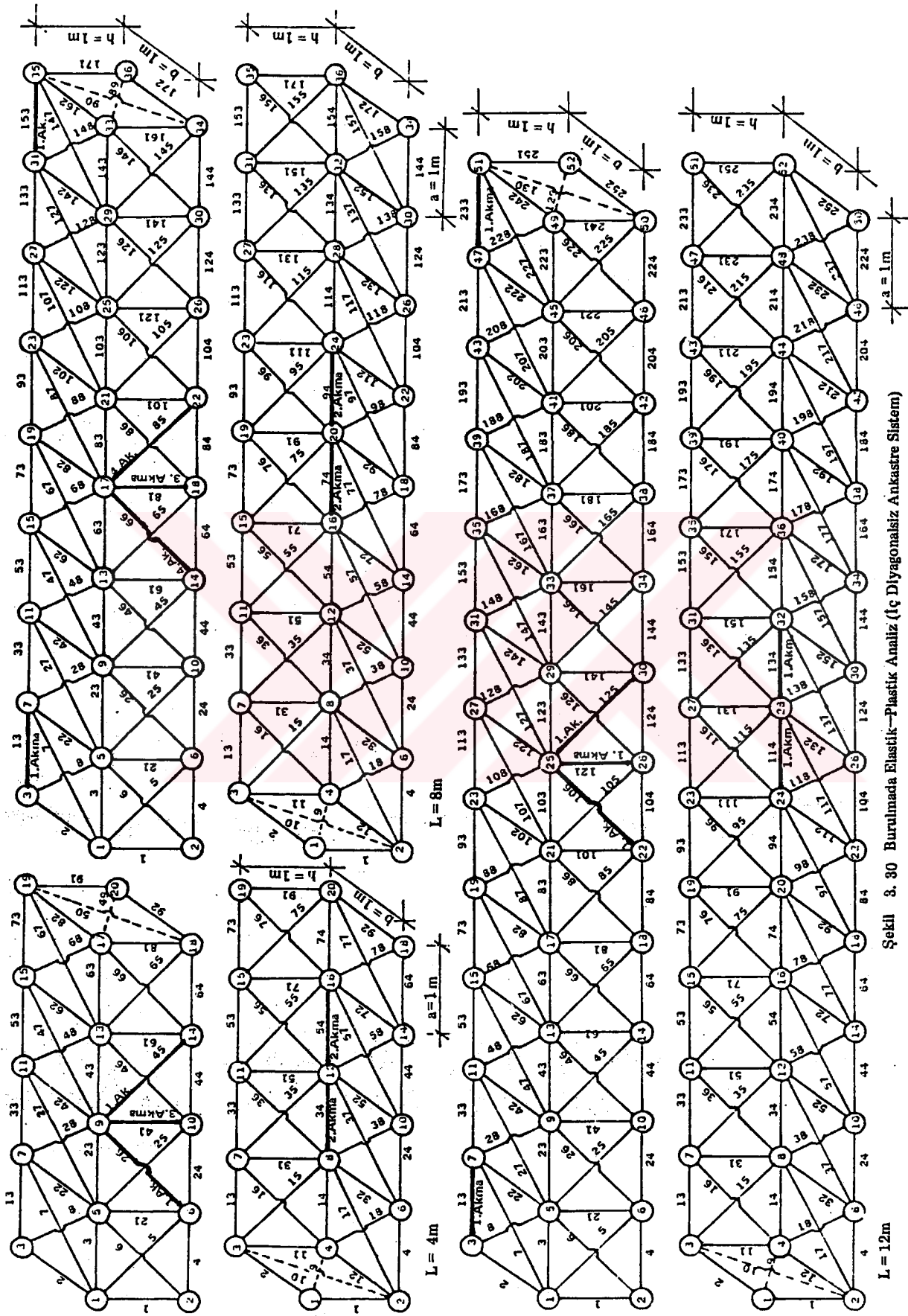
Şekil 3.28

Uzay kafes kirişlerin burulmada elastik-plastik analiz sonucu oluşan akmalara hangi çubuklarda meydana geldikleri Şekil 3.29-3.32 de belirtilmiştir.

Uzay kafes kirişlerin akma anlarındaki yük kapasiteleri (akmayı oluşturan yükler) ve orta enkesitteki üst ve alt noktanın deplasmanları (δ_x ve δ_z) yine bölüm 3.1 de anlatıldığı gibi benzer şekilde bulunarak Tablo 3.8-3.12 de verilmiştir. Dönme ve açı değişimleri de bölüm 2.2.4 de olduğu gibi hesaplanarak yine aynı tablolara işlenmiştir (Tablo 3.8-3.12). Bu değerlerden hareketle burulma yüklemesine ait yük-dönme ($P-\theta$) ve yük-açı değişimi ($P-\gamma$) eğrileri çizilmiştir (Şekil 3.33-3.35).

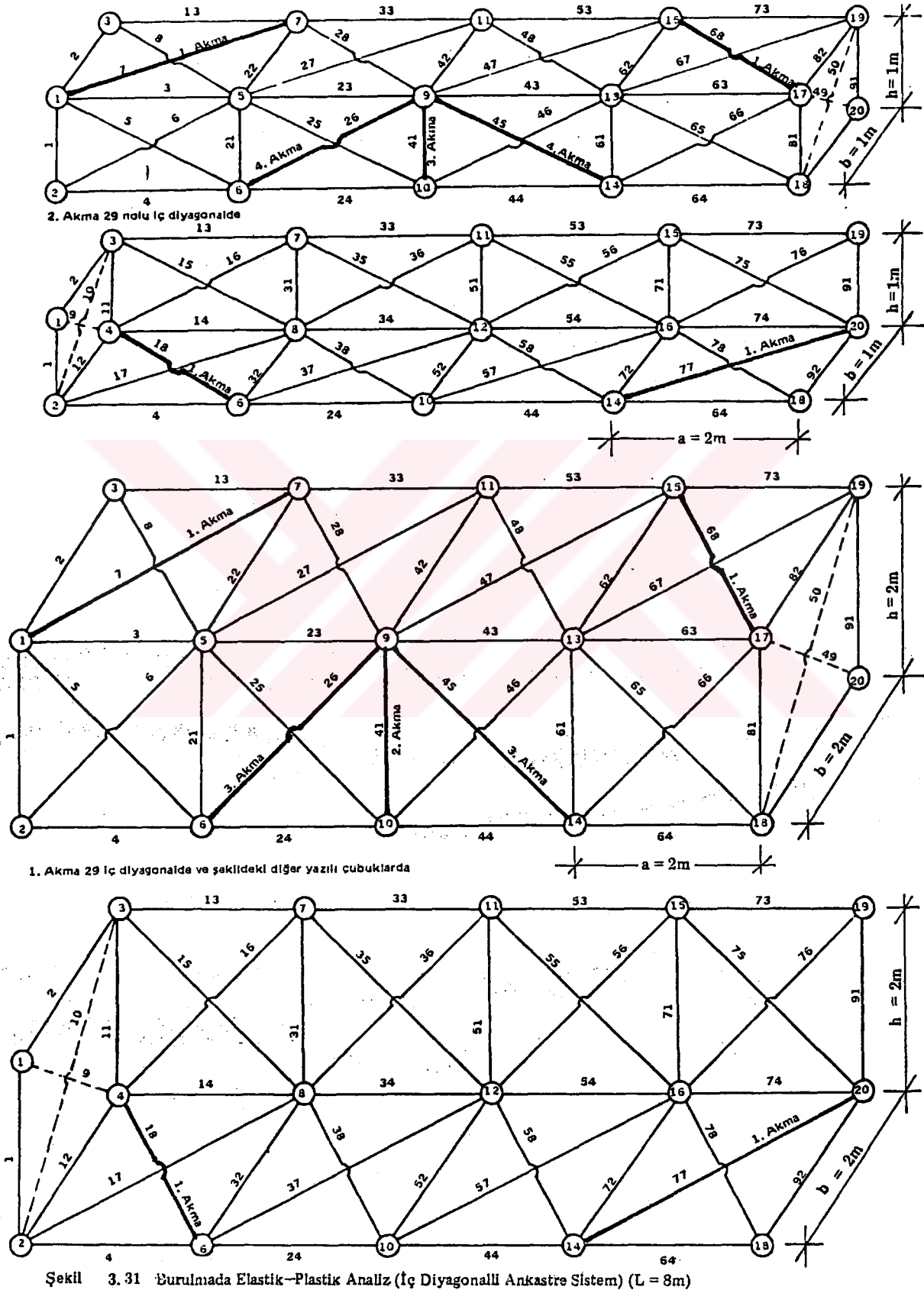


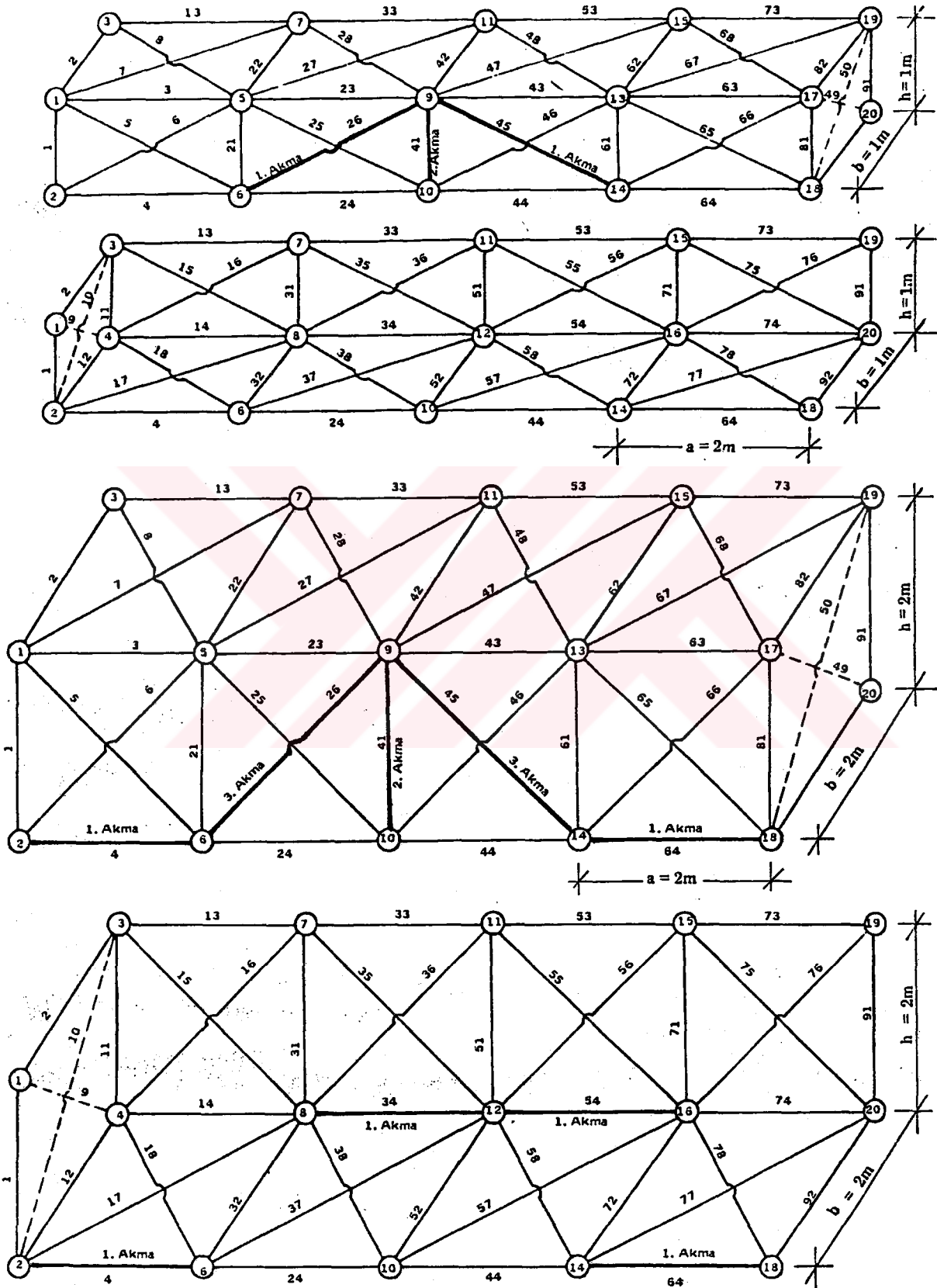
Şekil 3.29 Burulmada Elastik-Plastik Analiz (İç Diyagonalde Ankastrate Sistem)



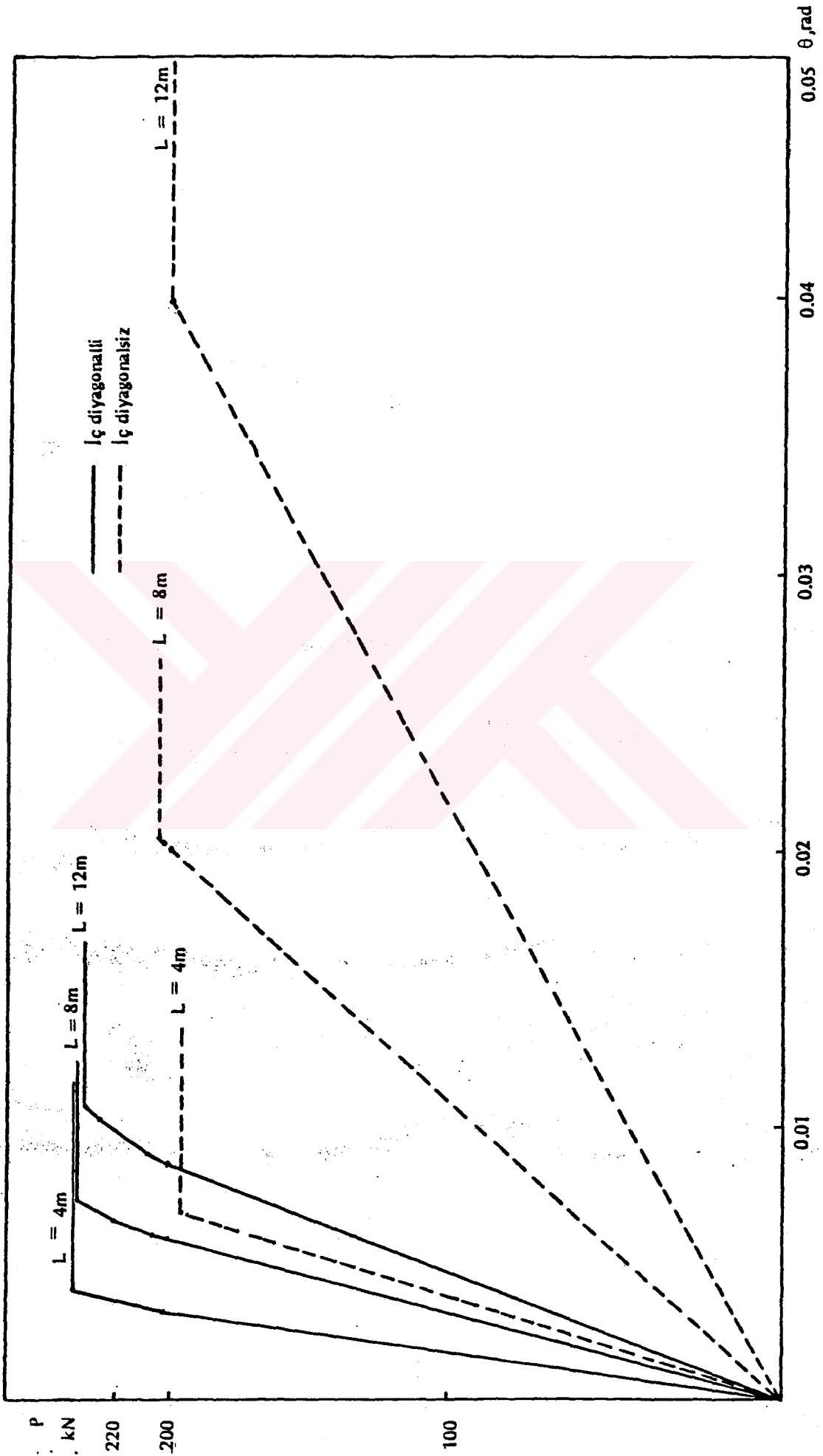
Şekil 8.30 Burulmada Elastik-Plastik Analiz (İç Diagonaliz Ankastr Sistem)

$L = 12\text{m}$

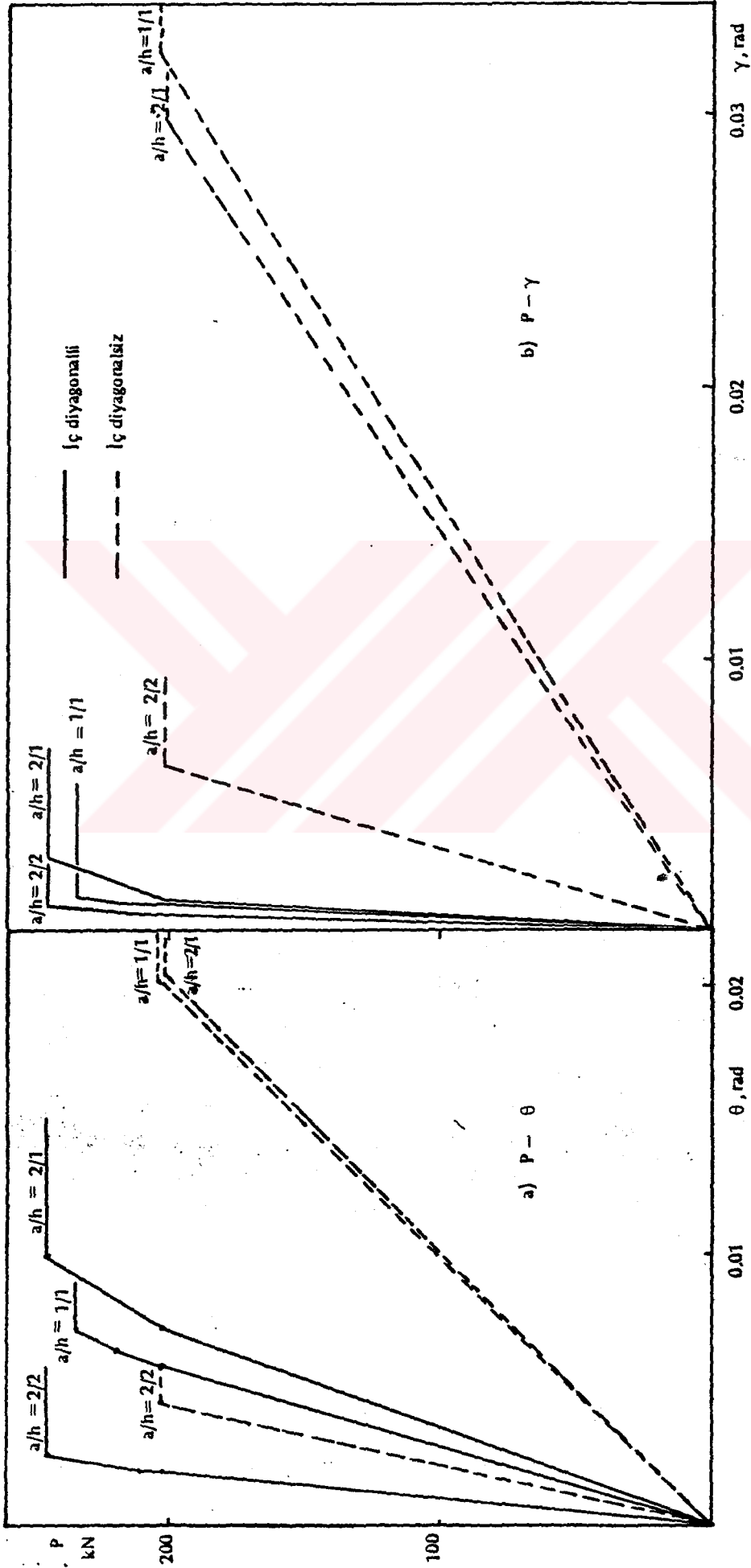




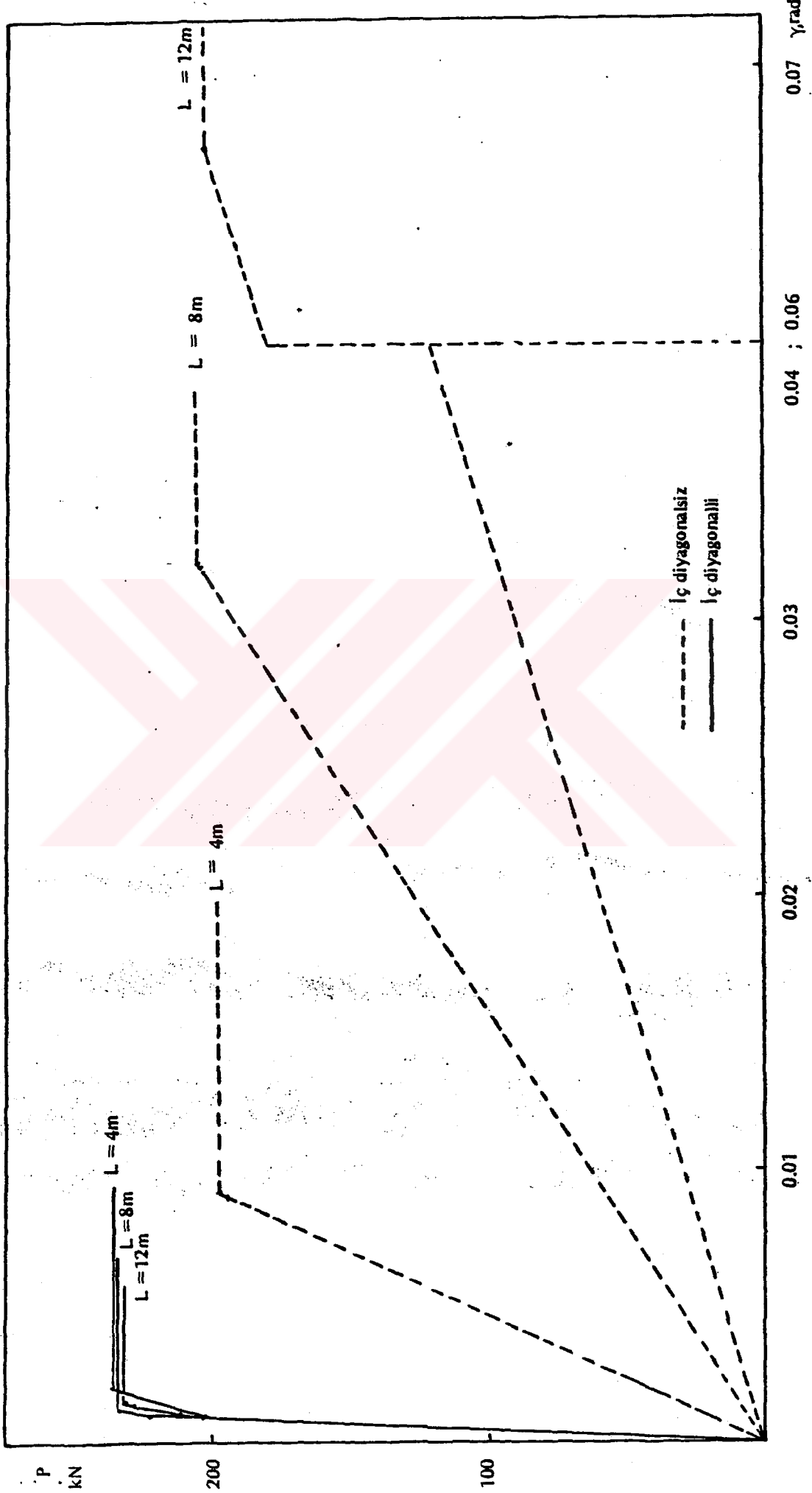
Şekil 3.32 Burulmada Elastik-Plastik Analiz (İç Diyagonalsız Ankastré Sistem) (L = 8m)



Şekil 3.33 Burulmada $P - \theta$ (elastik - plastik analiz) (ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1\text{m}$)



Şekil 3.34 Burulmada P - θ , P - γ (elastik - plastik analiz) (ankastre, L = 8m)



Şekil 3.35 Burulmada $P - \gamma$ (elastik - plastik analiz) (ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1m$)

BÖLÜM 4 GENEL DEĞERLENDİRME

Bu bölümde 2. ve 3. bölümlerde yapılan çözümlerden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

4.1. Eğilme Yüklemesi

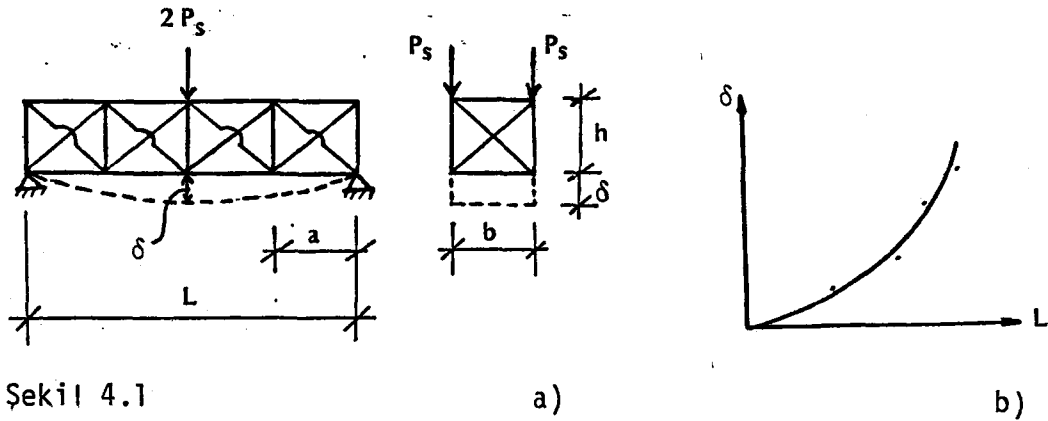
Eğilme etkisinde kalan uzay kafes kirişte, karakteristik deplasman, δ , kirişin orta noktasındaki çökmedir (Şekil 4.1 a). Aşağıda bu çökme ile kiriş açıklığı arasındaki ilişki, elastik ve elastik-plastik çözümlerden elde edilen sonuçlara göre belirtilmeye çalışılmıştır.

4.1.1. Elastik Çözüm

Servis yüklerine ($P_s = 120$ kN) göre grup çubuklarda $\sigma_{\max} \approx \sigma_{em}$ olacak biçimde boyutlandırılan uzay kafes kirişlere ait orta noktadaki çökme değerleri Tablo 2.2-2.6 da verilmiştir. Bu değerlere göre çizilen çökme-açıklık diyagramları da Şekil 2.12 de görülmektedir. Bu değerlerden en küçük kareler yöntemine göre geçirilen sürekli eğri denklemini için,

$$\delta = m_{\delta} \cdot L^{n_{\delta}} \quad (4.1)$$

bağıntısı uygun olmaktadır (Şekil 4.1 b).



Şekil 4.1

a)

b)

Bu bağıntı ile Şekil 4.1 a da görülen ve Bölüm 1.3 de tanımlanan kirişler için geçerli olmak üzere çökme açıklığa bağlı olarak

hesaplanabilir. İfadedeki m_δ ve n_δ katsayıları, kesitin büyüklüğüne, dikme aralığına, iç diyagonalin bulunup bulunmamasına ve mesnetlenme durumuna göre değişen katsayılardır (Tablo 4.1). Burada L , m ; δ , cm cinsindedir.

Tablo 4.1 $m_\delta ; n_\delta$ değerleri (eğilmede)

b/h m/m	a m	İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu		
			Kayıcı	Sabit	Ankastre
1/1	1	Var	0,0310;1,687	0,0180;1,802	0,0166;1,719
		Yok	0,0249;1,759	0,0187;1,771	0,0158;1,713
	2	Var	0,0221;1,863	0,0118;1,929	0,0103;1,888
		Yok	0,0204;1,802	0,0133;1,836	0,0114;1,811
2/2	2	Var	0,00770;1,997	0,00548;1,937	0,00435;1,898
		Yok	0,00809;1,884	0,00569;1,912	0,00305;2,033

Boyutlandırma grup çubuklarda $\sigma_{\max} \cong \sigma_{em}$ olacak biçimde yapıldığı için bağıntılarda yük bulunmamaktadır.

Servis yükündeki çökme üzerinde, iç diyagonalin, mesnetlenme durumlarının, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkileri aşağıdaki bölümlerde incelenmiştir.

4.1.1.1. İç Diyagonallerin Etkisi

Çökme üzerinde iç diyagonallerin etkisini incelemek üzere Tablo 4.2 oluşturulmuştur. Burada iç diyagonallerin bulunması ve bulunmaması durumlarına ait çökme değerleri birbirleri ile oranlanarak iç diyagonal etkisini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Örneğin Tablo 4.2 satır 1 de kayıcı sistemlerde, $b/h=1/1$, $a=1$ m ve açıklığın $L=4; 6; 8; 12$ m değerleri için; içdiyagonalli kirişlerin çökmeleri, iç diyagonalsizlerin çökmelerinin sırasıyla 1.138; 1.088; 1.074; 1.050 ortalama olarakta 1.088 katı olmaktadır.

Tablo 4.2 δ iç d. var/ δ iç d. yok (eğilmede)

Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)				Ortalama
			4	6	8	12	
Kayıcı	1/1	1	1.138	1.088	1.074	1.050	1.088
		2	1.160	—	1.282	1.225	1.222
	2/2	2	1.091	—	1.268	1.218	1.192
Sabit	1/1	1	1.000	1.023	1.041	1.032	1.024
		2	1.000	—	1.100	1.102	1.101
	2/2	2	1.000	—	1.000	1.031	1.016
Ankastre	1/1	1	1.059	1.059	1.073	1.063	1.064
		2	1.000	—	1.060	1.088	1.078
	2/2	2	1.200	—	1.045	1.043	1.044

Not: Sabit ve ankastre sistemlerde $a=2m$ için $L=4m$ 'ye ait değerler ortalamaya katılmamıştır.

Burada iç diyagonalli sistemlerin çökmelerinin, iç diyagonal-sizlere göre arttığı görülmektedir. Bunun nedeni iç diyagonalli sistemlerde başlıkların kesit alanlarının, iç diyagonal-sizlere göre küçük olmasıdır. Bu artış, küçük açıklıklarda fazla, büyük açıklıklarda az olmaktadır. Yani açıklık arttıkça azalmaktadır. İç diyagonal-lerin, çökme üzerindeki bu olumsuz etkisi en çok kayıcı sistemlerde, en az da sabit sistemlerde görülmektedir. Yine bu artış, kayıcı sistemlerde dikme aralığının ve kesitin büyümesi ile artarken sabit ve ankastre sistemlerde ise, dikme aralığının büyümesi ile artmış, kesitin büyümesi ile azalmıştır. Burada özel bir durum olarak $L=4m$ ve $a=2m$ olan sistemlerde başlıklar minimum alındığından bu sistemlerdeki çökmeler dikkate alınmamıştır.

4.1.1.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi

Çökme üzerinde mesnetlenme durumlarının etkisini incelemek üzere Tablo 4.3 oluşturulmuştur. Burada farklı mesnetlenme durumları (Şekil 1.4) için hesaplanan çökme değerleri birbirleri ile oranlanarak mesnetlerdeki fazla bağıllılığın etkisini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Örneğin Tablo 4.3 satır 1 de, $b/h=1/1$, $a=1m$ ve iç diyagonal-li kirişlerde, açıklığın $L=4; 6; 8; 12m$ değerleri için sabit sistemlerde çökmeler, kayıcı sistemlerin çökmesinin sırasıyla 0.667; 0.692; 0.745; 0.757; ortalama olarakta 0.715 katı olmaktadır.

Tabloda görüldüğü üzere mesnetlerdeki fazla bağıllılığın çökme üzerindeki olumlu etkisi (azalma oranı) bağ sayısı arttıkça artmaktadır. Ortalama olarak çökmeler; sabit sistemlerde, kayıcı sistemlerin 0.694 katı, ankastre sistemlerde ise kayıcı sistemlerin 0.530 katı, sabit sistemlerin 0.764 katı olmaktadır.

Tablo 4.3 Mesnetlenme Durumlarının Etkisi

	b/h m/m	a m	İç Diyagonal	L (m)				Ortalamalar	
				4	6	8	12		
$\delta_{Sab.} / \delta_{Kay.}$	1/1	1	Var	0.667	0.692	0.745	0.757	0.715	0.741
			Yok	0.759	0.772	0.768	0.770	0.767	
		2	Var	0.586	—	0.606	0.632	0.608	0.652
			Yok	0.680	—	0.706	0.703	0.696	
	2/2	2	Var	0.667	—	0.596	0.632	0.632	0.688
			Yok	0.727	—	0.756	0.747	0.743	
$\delta_{Ank.} / \delta_{Kay.}$	1/1	1	Var	0.545	0.581	0.578	0.567	0.568	0.574
			Yok	0.586	0.596	0.579	0.560	0.580	
		2	Var	0.483	—	0.486	0.498	0.489	0.529
			Yok	0.560	—	0.588	0.560	0.569	
	2/2	2	Var	0.500	—	0.442	0.453	0.465	0.486
			Yok	0.455	—	0.536	0.529	0.507	
$\delta_{Ank.} / \delta_{Sab.}$	1/1	1	Var	0.818	0.800	0.776	0.748	0.786	0.772
			Yok	0.773	0.773	0.753	0.727	0.757	
		2	Var	0.824	—	0.803	0.787	0.805	0.812
			Yok	0.824	—	0.833	0.797	0.818	
	2/2	2	Var	0.750	—	0.742	0.716	0.736	0.709
			Yok	0.625	—	0.710	0.708	0.681	

Mesnetlerdeki fazla bağıllılığın, çökme üzerindeki olumlu etkisi; sabit sistemlerde, kayıcı sistemlere göre, açıklığın artması ile azalmıştır. Buna karşılık ankastre sistemlerde ise, hem kayıcı hem de sabit sistemlere göre, açıklığın artması ile artmıştır. Yine bu olumlu etki, hem sabit hem de ankastre sistemlerde, kayıcı sistemlere göre, iç diyagonalin bulunması, dikme aralığının artması ve kesitin büyümesi durumlarında da artmaktadır. Buna karşılık ankastre sistemlerde, sabit sistemlere göre, kesitin büyümesi ile aynı şekilde artarken, iç diyagonalin bulunması ve dikme aralığının artması durumlarında azalmıştır.

4.1.1.3. Dikme Aralığının Etkisi

Çökme üzerinde dikme aralığının etkisini incelemek üzere Tablo 4.4 oluşturulmuştur. Burada $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerdeki çökme miktarları, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=1$ m olan kirişlerin çökme miktarlarına bölünerek dikme aralığının etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4. 4 $\delta_{2/1} / \delta_{1/1}$ Oranları

Mesnetlenme Durumu	İç Diagonal	L (m)		
		4	8	12
Kayıcı	Var	0.879	1.069	1.062
	Yok	0.862	0.895	0.910
Sabit	Var	0.773	0.868	0.887
	Yok	0.773	0.822	0.831
Ankastre	Var	0.778	0.898	0.933
	Yok	0.824	0.909	0.911

Dikme aralığı, $a=2$ m olan kirişlerin çökmeleri, dikme aralığı $a=1$ m olan kirişlerin çökmelerinin; iç diyagonalli kayıcı sistemlerde, uzun açıklıklarda ($L=8-12$ m) 1.069-1.062 katı olurken, kısa açıklıkta ($L=4$ m) 0.879 katı olmaktadır. Bir başka deyişle dikme aralığının iki katı artması sonucu, iç diyagonalli kayıcı sistemlerde çökme miktarları; uzun açıklıklarda artarken kısa açıklıklarda azalmıştır. Buna karşılık; iç diyagonalsiz kayıcı sistemlerde hem uzun hem de kısa açıklıklarda azalmıştır.

Aynı şekilde $a=2$ m olan kirişlerin çökmeleri, $a=1$ m olan kirişlerin çökmelerinin; hem iç diyagonalli hem de iç diyagonalsiz sabit ve ankastre kirişlerin 0.773-0.933 katı olmaktadır. Yani dikme aralığının artışı ile çökmeler burada da azalmıştır. Bu azalma en çok sabit sistemlerde olmuştur. Yine bu azalma iç diyagonalsizlerde iç diyagonalilere göre daha çok olmuştur.

4.1.1.4. Kesit Büyüklüğünün Etkisi

Çökme üzerinde kesit büyüklüğünün etkisini belirlemek üzere Tablo 4.5 oluşturulmuştur. Burada $b/h=2/2$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerdeki çökme miktarları, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerin çökme miktarlarına oranlanarak kesit büyüklüğünün etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.5 $\delta_{2/2} / \delta_{1/1}$ Oranları

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)		
		4	8	12
Kayıcı	Var	0.414	0.477	0.475
	Yok	0.440	0.482	0.478
Sabit	Var	0.471	0.470	0.475
	Yok	0.471	0.517	0.508
Ankastre	Var	0.429	0.434	0.432
	Yok	0.357	0.440	0.451

Örneğin Tablo 4.5 satır 1 de iç diyagonalli kayıcı sistemlerde açıklığın $L=4; 8; 12$ m değerleri için $b/h=2/2$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerin çökme miktarları, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerin çökmesinin sırasıyla 0.414; 0.477; 0.475 katı olmaktadır.

Kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesi sonucu, çökmeler yarıdan çok azalmıştır. Bu azalma, küçük açıklıklarda, büyük açıklıklara göre daha çok olmuştur. Yine bu azalma iç diyagonalilerde, iç diyagonalsizlere göre daha çok olmuştur. Bu azalma en çok ankastre sistemlerde, ondan sonra kayıcı sistemlerde, en az da sabit sistemlerde görülmektedir.

4.1.1.5. Mukavemet Çözümleri İle Karşılaştırma

Yaklaşık bir çökme bağıntısı olarak dolu gövdeli bir kiriş için mukavemettekine benzer şekilde,

$$\delta = K \frac{PL^3}{EI} \quad (4.2)$$

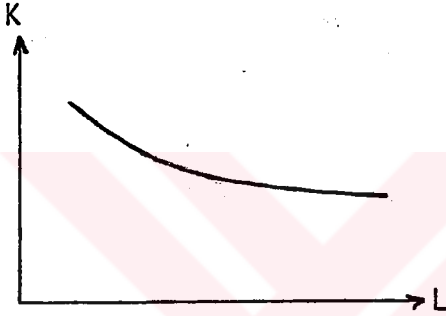
bağıntısı önerilebilir. Burada P, ortadaki tekil yükler; L, kiriş

açıklığı; E, elastisite modülü; I, dört adet halka kesitten oluşan kiriş kesitinin x eksenine göre atalet momentidir (Şekil 4.1 a).

(4.2) bağıntısındaki K katsayısı mukavemette sabit iken (örneğin, kayıcı ve sabit sistemlerde, $K=1/48$) burada,

$$K = m_K L^{-n_K} \quad (4.3)$$

şeklindedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2

Bu bağıntıdaki m_K ve n_K katsayıları, iç diyagonalin bulunup bulunmamasına ve mesnetlenme durumuna göre değişen katsayılardır (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 $m_K ; n_K$ değerleri $b/h = 1/1$, $a = 1m$

İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu		
	Kayıcı	Sabit	Ankastre
Var	0,0373;0,173	0,0158;0,122	0,0104;0,167
Yok	0,0436;0,236	0,0192;0,170	0,0129;0,246

Bu tablo yardımıyla K hesaplanır ve (4.2) de yazılırsa gerçek çökmeler bulunabilir.

Mukavemetteki hesap yönteminin verdiği sonuçlar (δ 'ler) ile bu değerler karşılaştırılırsa aşağıdaki durum ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7 δ / δ' oranları

Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	İç Diyagonal	L (m)				Ort.
				4	6	8	12	
Kayıcı	1/1	1	Var	1,422	1,297	1,248	1,173	1,285
			Yok	1,548	1,341	1,263	1,186	1,335
		2	Var	1,120	—	0,913	0,978	1,004
			Yok	1,337	—	1,179	1,121	1,212
	2/2	2	Var	1,579	—	1,118	1,140	1,279
			Yok	1,667	—	1,395	1,248	1,437
Sabit	1/1	1	Var	0,649	0,602	0,592	0,565	0,614
			Yok	0,733	0,680	0,639	0,610	0,684
		2	Var	0,126	—	0,432	0,426	0,429
			Yok	0,127	—	0,505	0,484	0,495
	2/2	2	Var	0,232	—	0,668	0,600	0,634
			Yok	0,231	—	0,733	0,661	0,697
Ankastre	1/1	1	Var	1,579	1,481	1,425	1,312	1,449
			Yok	1,753	1,643	1,491	1,348	1,559
		2	Var	0,232	—	1,100	1,059	1,080
			Yok	0,232	—	1,355	1,239	1,297
	2/2	2	Var	0,397	—	1,586	1,391	1,489
			Yok	0,331	—	1,692	1,489	1,591

NOT : Sabit ve ankastre sistemlerde $a \approx 2m$ için $L = 4m$ 'ye ait değerler ortalamaya katılmamıştır.

Gerçek çökme δ ; mukavemetten hesap edilen δ' 'den, kayıcı ve ankastre sistemlerde fazla olurken ($\delta/\delta' > 1$), sabit sistemlerde az olmaktadır ($\delta/\delta' < 1$). Bunun nedeni, uzay kafes kirişlerin düğüm noktalarda mafsallı olması dolayısıyla daha fazla çökme yapmasıdır. Sabit sistemlerdeki azalma ise; uzay kafes kirişlerde bütün mesnetlerdeki yatay hareketlerin engellenmesi hesaba katılırken, mukavemette bu olayın dikkate alınmamasından meydana gelmektedir.

Örneğin; Tablo 4.7 satır 1 de iç diyagonal kayıcı sistemlerde, $b/h = 1/1$, $a = 1 m$ ve açıklığın $L = 4; 6; 8; 12 m$ değerleri için; uzay kirişin gerçek çökmeleri, mukavemetten (dolu gövdeli) hesap edilen çökmelerin sırasıyla 1.422; 1.297; 1.248; 1.173, ortalama olarakta 1.285 katı olmaktadır. Aynı özellikleri gösteren sabit sistemlerde bu değerler sırasıyla 0.649; 0.602; 0.592; 0.565 ve ortalama olarakta 0.614 katıdır.

Kayıcı ve ankastre sistemlerin çökmelerindeki δ/δ' oranının artışı, iç diyagonalin bulunması, açıklığın ve dikme aralığının artışı ile azalırken, kesitin büyümesi ile ise artmaktadır (yalnız bir ayrıcalık olarak, bu durumun tersine iç diyagonalli kayıcı sistemlerde kesitin büyümesi ile azalmıştır).

Sabit sistemlerin çökmelerindeki δ/δ' oranının azalması, iç diyagonalin bulunması, açıklığın ve dikme aralığının artışı ile artmaktadır. Buna karşılık kesitin büyümesi ile azalmaktadır.

4.1.1.6. Düzlem Sistemlerle Karşılaştırma

Servis yüklerine ($P_S = 120$ kN) göre emniyet gerilmeleri yöntemiyle grup çubuklarında $\sigma_{\max} = \sigma_{em}$ olacak biçimde boyutlandırılan iç diyagonalli uzay kafes kirişlerin, düşey düzlemleri için çubuk kesit değerleri değiştirilmeden düzlem kafes kirişin servis yükleri ve çökmeleri bulunmuştur. Düzlem kirişlerin servis yükleri ve bu yüklerden orta noktada oluşan çökme değerleri Tablo 2.18-2.21 de verilmiştir.

İç diyagonalli uzay kirişlerin servis yükleri ile düzlem kirişlerin servis yükleri aynı şekilde iç diyagonalli kirişlerin orta noktasındaki çökmeler ile düzlem kirişlerin orta noktasındaki çökmeler karşılaştırılırsa aşağıdaki durum ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.8). Bu tabloda; P_{UE} ve δ_{UE} , uzay kafes kirişlerin eğilme yüklemesine göre servis yüklerini ve çökmelerini, P_D ve δ_D , düzlem kafes kirişlerin servis yüklerini ve çökmelerini gösteriyor.

Bu tabloda kirişlerin uzay sistem olarak çalışmasının olumlu etkisi görülmektedir. Örneğin; iç diyagonalli kayıcı sistemlerde $b/h = 1/1$ ve dikme aralığı $a = 1$ m olan açıklığın $L = 4; 6; 8; 12$ m değerleri için; uzay kirişlerin servis yükleri düzlem kirişlerin servis yüklerinin sırasıyla 1.151; 1.089; 1.064; 1.040; katı olurken servis yüklerinde uzay kirişlerinin orta noktasındaki çökmeler, düzlem kirişlerin çökmelerinin 1.100; 1.033; 1.020; 1.010 katı olmaktadır. Burada uzay sistemlerin çökmelerinin düzlem sistemlerin çökmelerinden fazla olması; uzay sistemlerin servis yüklerinin düzlem sistemlere göre fazla olmasındandır. Nitekim uzay sistemin çökmelerinin düzlem

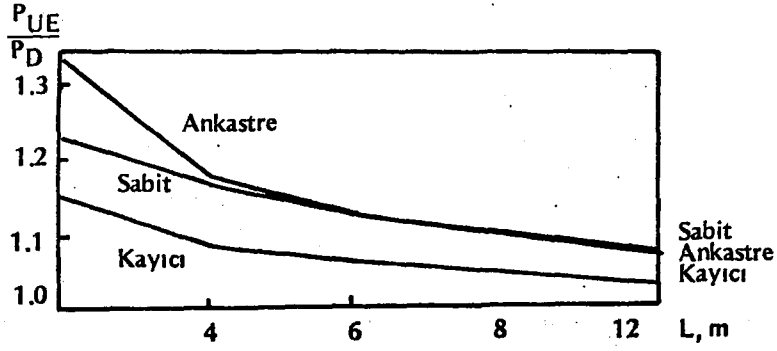
sistemlere göre artışı servis yüklerinin artışından daha az olmuştur. Buradan çökme açısından da uzay kirişlerin düzlem kirişlere göre avantajlı olduğu söylenebilir.

Tablo 4.8 Eğilmeye Uzay ve Düzlem Sistemlerin Karşılaştırılması

Oranlar	Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)			
				4	6	8	12
P_{UE}/P_D	Kayıcı	1/1	1	1.151	1.089	1.064	1.040
			2	1.575	—	1.497	1.361
		2/2	2	1.068	—	1.283	1.182
	Sabit	1/1	1	1.231	1.173	1.133	1.090
			2	1.214	—	1.647	1.429
		2/2	2	1.008	—	1.360	1.219
	Ankastre	1/1	1	1.335	1.179	1.133	1.086
			2	1.008	—	1.680	1.428
		2/2	2	1.035	—	1.392	1.268
δ_{UE}/δ_D	Kayıcı	1/1	1	1.100	1.033	1.020	1.010
			2	1.261	—	1.135	1.121
		2/2	2	1.000	—	1.106	1.082
	Sabit	1/1	1	1.158	1.098	1.086	1.046
			2	1.133	—	1.347	1.175
		2/2	2	1.000	—	1.240	1.117
	Ankastre	1/1	1	1.286	1.091	1.054	1.035
			2	1.000	—	1.325	1.111
		2/2	2	1.000	—	1.278	1.143

Uzay sistemlerin düzlem sistemlere göre bu olumlu etkisi; dikme aralığının artışı ve kesitin büyümesi ile artarken açıklığın artması ile azalmıştır. Burada, $a=2$ m olan sabit ve ankastre sistemlerde $L=4$ m için özel bir durum olması nedeniyle bu durumun tersi sözkonusu olmuştur. Bu nedenle bu değerler, değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Yine bu olumlu etki, sabit ve ankastre sistemler bir birine yakın değerlerde olurken kayıcı sistemlerde daha az olmaktadır (Şekil 4.3).

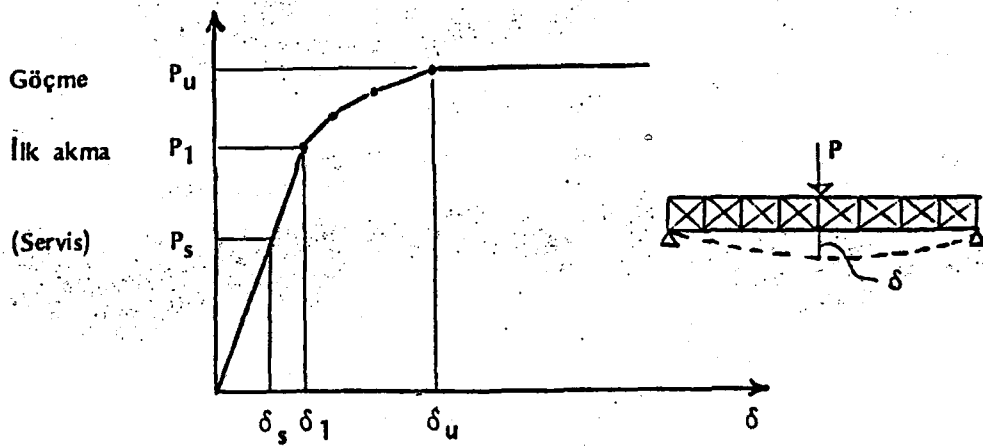


Şekil 4.3

4.1.2. Elastik-Plastik Çözüm

Bölüm 3 de kirişin orta noktalarındaki P yüklerinin arttırılması ve çökmelerinin hesaplanması ile göçme yüküne kadar tüm davranışını veren $P-\delta$ diyagramları çizilmiştir (Şekil 3.12-3.16, Tablo 3.7-3.8).

Bu diyagramların şematik bir biçimi Şekil 4.4 de verilmiştir. Şekilde servis, ilk akma ve göçme yükleri ve bu yüklere karşı gelen çökmeleri görülmektedir.



Şekil 4.4

Aşağıda göçme yükü ve çökmelerinin ($b/h=1/1$ ve $a=1$ m) servis ve ilk akma yük ve çökmelerine oranları verilmiştir (Tablo 4.9).

Tablo 4.9 P ve δ Oranları , $b/h = 1/1$, $a=1$ m

Oranlar	İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu	L (m)			Ort.
			4	8	12	
P_1/P_s	Var	Kayıcı	1,676	1,678	1,678	1,677
		Sabit	1,662	1,621	1,678	1,654
		Ankastre	1,625	1,682	1,685	1,664
	Yok	Ankastre	1,646	1,658	1,681	1,662
P_u/P_s	Var	Kayıcı	1,763	1,712	1,706	1,727
		Sabit	1,784	1,731	1,734	1,750
		Ankastre	1,966	1,958	1,835	1,920
	Yok	Ankastre	1,682	1,705	1,681	1,689
P_u/P_1	Var	Kayıcı	1,052	1,024	1,016	1,031
		Sabit	1,073	1,068	1,033	1,058
		Ankastre	1,210	1,164	1,089	1,154
	Yok	Ankastre	1,022	1,028	1,000	1,017
δ_1/δ_s	Var	Kayıcı	1,636	1,676	1,681	1,664
		Sabit	1,727	1,605	1,685	1,672
		Ankastre	1,611	1,678	1,689	1,659
	Yok	Ankastre	1,647	1,654	1,678	1,660
δ_u/δ_s	Var	Kayıcı	2,189	2,207	2,104	2,167
		Sabit	2,582	1,920	2,402	2,301
		Ankastre	2,194	2,701	2,740	2,545
	Yok	Ankastre	1,694	1,700	1,678	1,691
δ_u/δ_1	Var	Kayıcı	1,338	1,316	1,252	1,302
		Sabit	1,495	1,196	1,425	1,372
		Ankastre	1,362	1,609	1,621	1,531
	Yok	Ankastre	1,028	1,027	1,000	1,018

Tablodan görüldüğü üzere, ilk akmanın hemen hemen aynı P_1 yükünde meydana geldiği söylenebilir. Buna karşılık göçme yüklerinin (taşıma güçlerinin) ise mesnetlenme durumuna ve iç diyagonalin bulunup bulunmamasına göre değiştiği görülür.

Kirişin gerçek güvenliği (P_U/P_S) iç diyagonalli sistemlerde mesnetlenme durumuna göre en büyük değeri, ankastre sistemlerde (ortalama olarak 1.920), sonra sabit sistemlerde (1.750) en az değeri de kayıcı sistemlerde (1.727) almaktadır. Buradan iç diyagonalli sistemlerde mesnetlerdeki fazla bağıllılığın gerçek güvenliği arttırdığı söylenebilir. Bu artış küçük açıklıklarda, büyük açıklıklara göre daha fazla olmaktadır.

Kirişin gerçek güvenliği (P_U/P_S) ankastre sistemlerde, iç diyagonalin bulunması durumunda ortalama olarak 1.920, iç diyagonalin bulunmaması durumunda ise 1.689 olmaktadır. Burada iç diyagonalin bulunması gerçek güvenliği (1.920/1.689 1.137), %13.7 arttırmaktadır. Yani iç diyagonalin gerçek güvenliği arttırmada önemli etkisi olmaktadır.

Süneklik (δ_U/δ_I) ise iç diyagonalli sistemlerde mesnetlenme durumuna göre, en büyük değeri yine, ankastre sistemlerde ortalama olarak (1.531), ondan sonra sabit sistemlerde (1.372), en az değeri de kayıcı sistemlerde (1.302) almaktadır. Buradan iç diyagonalli sistemlerde, mesnetlerdeki fazla bağıllılığın sünekliği arttırdığı söylenebilir. Bu artış kayıcı sistemlerde açıklık arttıkça azalırken ankastre sistemlerde ise açıklık arttıkça artmaktadır.

Süneklik (δ_U/δ_I) ankastre sistemlerde, iç diyagonalin bulunması durumunda ortalama olarak 1.531 iken iç diyagonalin bulunmaması durumunda 1.018 olmaktadır. Burada iç diyagonalin bulunması sünekliği (1.531/1.018 1.504) %50.4 arttırmaktadır. Yani iç diyagonalin düktiliteyi arttırmada çok olumlu etkisi olmuştur. Diğer taraftan iç diyagonalisiz sistemlerin sünek olmadıklarını, ilk akmadaki çökmeye çok yakın bir çökme değerinde sistemin göçtüğü söylenebilir.

Gerçek güvenlik ve süneklik üzerinde, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkisini incelemek üzere Tablo 4.10 oluşturulmuştur. Tabloda, 3. bölümde elastik-plastik analizi yapılan $L=8$ m ve $b/h=1/1$ $a=1$, $b/h=1/1$ $a=2$ ve $b/h=2/2$ $a=2$ olan sistemlerin; göçme yükü ve çökmelerinin servis ve ilk akma yük ve çökmelerine oranları verilmiştir. Ayrıca tablonun son iki sütununda da bu oranların; farklı

dikme aralığı ve kesit büyüklüğü için birbirlerine oranları bulunmuştur ($a/h=2/1$ olan sistemlerin yük ve çökme oranları, $a/h=1/1$ olan sistemlerin yük ve çökme oranlarına bölünmüştür. Benzer şekilde $a/h=2/2$ olan sistemlerin yük ve çökme oranları da $a/h=2/1$ olan sistemlerin yük ve çökme oranlarına bölünmüştür).

Tablo 4.10 P ve δ Oranları , $L=8m$

Oranlar	İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu	a/h (m/m)			(...) 2/1	(...) 2/2
			1/1	2/1	2/2	(...) 1/1	(...) 2/1
P_1/P_s	Var	Kayıcı	1.678	1.684	1.657	1.004	0.984
		Sabit	1.621	1.682	1.659	1.038	0.986
		Ankastre	1.682	1.664	1.673	0.989	1.005
	Yok	Ankastre	1.658	1.678	1.640	1.012	0.977
P_u/P_s	Var	Kayıcı	1.718	1.715	1.759	0.998	1.026
		Sabit	1.731	1.746	1.782	1.009	1.021
		Ankastre	1.958	2.043	1.990	1.043	0.974
	Yok	Ankastre	1.705	1.683	1.693	0.987	1.006
P_u/P_1	Var	Kayıcı	1.024	1.018	1.061	0.994	1.042
		Sabit	1.068	1.038	1.074	0.972	1.035
		Ankastre	1.164	1.227	1.189	1.054	0.969
	Yok	Ankastre	1.028	1.002	1.032	0.975	1.030
δ_1/δ_s	Var	Kayıcı	1.676	1.688	1.673	1.007	0.991
		Sabit	1.605	1.682	1.677	1.048	0.997
		Ankastre	1.678	1.660	1.652	0.989	0.995
	Yok	Ankastre	1.654	1.660	1.636	1.004	0.986
δ_u/δ_s	Var	Kayıcı	2.207	1.870	2.164	0.847	1.157
		Sabit	1.920	1.862	2.218	0.970	1.191
		Ankastre	2.701	2.394	2.230	0.886	0.931
	Yok	Ankastre	1.700	1.662	1.692	0.978	1.018
δ_u/δ_1	Var	Kayıcı	1.316	1.108	1.293	0.842	1.167
		Sabit	1.196	1.107	1.322	0.926	1.194
		Ankastre	1.609	1.442	1.349	0.896	0.936
	Yok	Ankastre	1.027	1.001	1.033	0.975	1.032

Tablodan görüldüğü üzere dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün değişimi ile ilk akmanın meydana geldiği P_1 yükünün pek değişmediği söylenebilir. Buna karşılık göçme yükünün ise çok az da olsa değiştiğini görmekteyiz.

Dikme aralığının iki kat artması sonucu, kirişin gerçek güvenliği (P_U/P_S); iç diyagonalli kirişlerde, kayıcı sistemlerde aynı kalırken sabit sistemlerde %0.9, ankastre sistemlerde %4.3 artmış, buna karşılık iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde ise %1.3 azalmıştır.

Dikme aralığının iki kat artması sonucu, süneklik (δ_U/δ_I); iç diyagonalli kirişlerde, kayıcı sistemlerde %13.8, sabit sistemlerde %7.4, ankastre sistemlerde %10.4, gibi önemli ölçüde azalırken, iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde ise %2.5 gibi önemsiz denebilecek kadar az miktarda azalmıştır. Burada diğerlerine göre iç diyagonalsiz ankastre sistemlerdeki duktilitenin bu kadar az azalması; duktilitenin zaten $a/h=1/1$ olan iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde de düşük olmasındandır.

Buradan dikme aralığının artmasının, kirişlerin gerçek güvenliklerini pek deyiştirmediği, buna karşılık sünekliği azalttığı söylenebilir.

Kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesi sonucu, kirişin gerçek güvenliği (P_U/P_S); iç diyagonalli kirişlerde, kayıcı sistemlerde %2.6, sabit sistemlerde %2.1 artarken ankastre sistemlerde ise %2.6 azalmış, iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde ise %0.6 artmıştır.

Kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesi sonucu, süneklik (δ_U/δ_I); iç diyagonalli kirişlerde, kayıcı sistemlerde %16.7, sabit sistemlerde %19.4 artarken ankastre sistemlerde ise %6.4 azalmıştır. Buna karşılık iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde ise %3.2 artmıştır. Burada iç diyagonalsiz ankastre sistemlerdeki süneklik artışının önemi yoktur. Zaten kesitin küçük olduğu ($b/h=1/1$) durumda da süneklik yok denecek kadar azdı.

Buradan kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesinin, kirişin gerçek güvenliğini pek deyiştirmediği, buna karşılık iç diyagonalli kayıcı ve sabit sistemlerde sünekliği arttığını, ankastre sistemlerde ise azalttığı söylenebilir.

4.1.2.1. Basit Plastik Teori İle Karşılaştırma

Uzay kafes kirişlerin göçme yükleri; bu kez de sistemlerin, sadece üst ve alt başlıklardan oluşan sürekli, mafsalsız ve diyagonal-siz dolu gövdeli kirişler olduğu varsayımıyla basit plastik teori kullanılarak bulunmuştur (Tablo 3.7).

Kirişlerin gerçek taşıma güçlerini (P_U), basit plastik teoriden bulunan taşıma güçleri (P'_U) ile karşılaştırmak için; P_U/P'_U oranları Tablo 4.11 de verilmiştir.

Tablo 4.11 P_U/P'_U Oranları

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	b/h m/m	a m	L (m)		
				4	8	12
Kayıcı	Var	1/1	1	1.507	1.178	1.127
			2	—	2.141	—
			2/2	2	—	1.767
Sabit	Var	1/1	1	2.542	2.509	2.415
			2	—	2.984	—
			2/2	2	—	1.727
Ankastre	Var	1/1	1	1.532	1.354	1.227
			2	—	1.653	—
		2/2	2	—	0.976	—
	Yok	1/1	1	1.130	1.069	1.043
			2	—	1.041	—
		2/2	2	—	0.763	—

Tablodan görüldüğü gibi $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=1$ m olan uzay kafes kirişlerin gerçek göçme yükü, dolu gövdeli kirişlerin göçme yükünün; iç diyagonalli kayıcı sistemlerde 1.507-1.127 katı, iç diyagonalli sabit sistemlerde 2.542-2.415 katı, iç diyagonalli ankastre sistemlerde 1.532-1.227 katı, iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde ise 1.130-1.043 katı olmaktadır. Bu değerler, dikme aralığının artışı ile, iç diyagonalli sistemlerde artarken, iç diyagonalsiz sistemlerde ise azalmıştır. İncelenen bütün bu durumlarda bu değerlerin açıklığın ve kesitin büyümesi ile azaldığını görüyoruz.

Buradan, iç diyagonalı uzay kafes kirişlerin dolu gövdeli kirişlere göre taşıma güçlerinin, özellikle kısa açıklıklarda, dikme aralığının büyük olduğu durumlarda ve sabit sistemlerde çok yüksek olduğunu söyleyebiliriz. Buna karşılık iç diyagonalsiz uzay kafes kirişlerde ise dolu gövdeli kirişlere göre taşıma güçlerinin pek artmadığını hatta büyük kesitlerde azaldığını söyleyebiliriz.

4.2. Eğilmeli Burulma Yüklemesi

Eğilmeli burulma etkisinde kalan uzay kafes kirişte karakteristik deplasman ve deformasyonlar, kiriş orta noktasındaki çökme ve orta enkesitteki yatay dönme ve açı değişimidir. (Şekil 4.5). Aşağıda bu karakteristik deplasman ve deformasyonlar ile kiriş açıklığı arasındaki ilişki, elastik ve elastik-plastik çözümlerden elde edilen sonuçlara göre belirtilmeye çalışılmıştır.

4.2.1. Elastik Çözüm

Servis yükü ($P_s = 120$ kN) ile yüklenmiş uzay kafes kirişin (Şekil 4.5) orta noktadaki çökme değerleri Tablo 2.2-2.6 ve orta kesitteki yatay dönme ve açı değişimi değerleri de Tablo 2.7-2.11 de verilmiştir. Bu değerlere göre çizilen çökme-açıklık diyagramları Şekil 2.17-2.18 de, dönme-açıklık diyagramları Şekil 2.22-2.23 de ve açı değişimi-açıklık diyagramları da Şekil 2.24-2.25 de görülmektedir. Bu değerlerden en küçük kareler yöntemine göre geçirilen sürekli eğri denklemleri için

$$\delta = p_\delta L^r \delta \quad (4.4)$$

$$\delta_{\text{sağ}} \cong 0 \quad (\text{iç diyagonalsiz sistemlerde}) \quad (4.5)$$

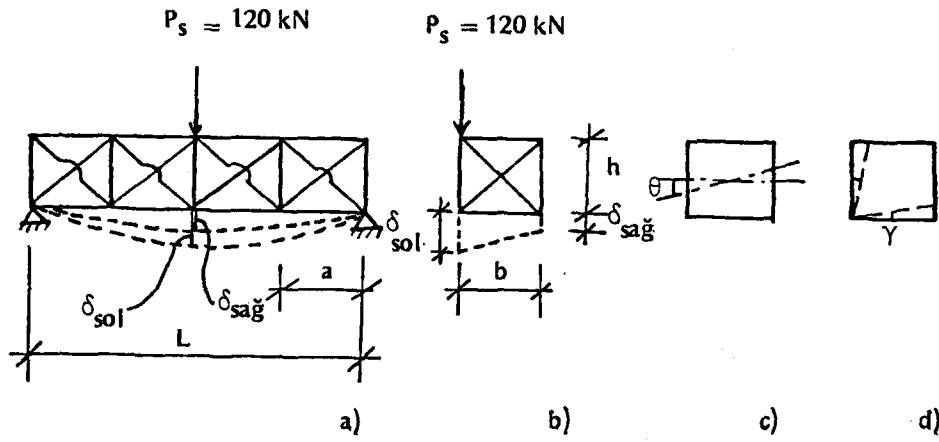
$$\theta = 10^{-5} (p_\theta L + r_\theta) \quad (\text{iç diyagonalı sistemlerde}) \quad (4.6)$$

$$\theta = 10^{-5} p_\theta L^r \theta \quad (\text{iç diyagonalsiz sistemlerde}) \quad (4.7)$$

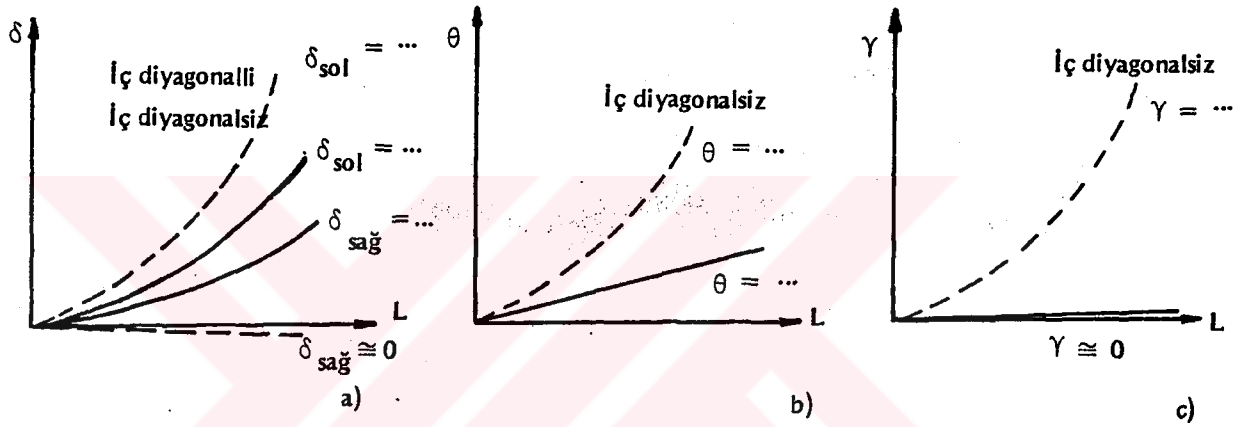
$$\gamma \cong 0 \quad (\text{iç diyagonalı sistemlerde}) \quad (4.8)$$

$$\gamma = 10^{-5} p_\gamma L^r \gamma \quad (\text{iç diyagonalsiz sistemlerde}) \quad (4.9)$$

bağıntıları uygun olmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.5.



Şekil 4.6.

Bu bağıntılar ile Şekil 4.5 de görülen ve bölüm 1.3 de tanımlanan kirişler için geçerli olmak üzere çökme, dönme ve açı değişimleri açıklığa bağlı olarak hesaplanabilir. Bağıntılardaki p_δ , r_δ , p_θ , r_θ , p_γ ve r_γ katsayıları, kesitin büyüklüğüne, dikme aralığına, iç diyagonalin bulunup bulunmamasına ve mesnetlenme durumuna göre değişen katsayılardır (Tablo 4.12-4.13). İfadelerdeki L , m; δ , cm; θ ve γ radyan cinsindedir.

Boyutlandırma grup çubuklarda $\sigma_{\max} = \sigma_{em}$ olacak biçimde yapıldığı için ifadelerde yük bulunmamaktadır.

Servis yükündeki çökme, dönme ve açı değişimi üzerinde, iç diyagonalin, mesnetlenme durumlarının, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkileri aşağıdaki bölümlerde incelenmiştir.

Tablo 4.12 $p_{\delta} ; r_{\delta}$ değerleri (Eğilmeli Burulmada)

İç Diyagonal	b/h m/m	a m	δ 'nın yeri	Mesnetlenme Durumu		
				Kayıcı	Sabit	Ankastre
Var	1/1	1	sol	0.0232 ; 1,572	0.0172 ; 1,593	0.0152 ; 1,543
			sağ	0.00752 ; 1,934	0.00393 ; 2,077	0.00293 ; 2,062
		2	sol	0.0198 ; 1,672	0,0148 ; 1,616	0,0132 ; 1,591
			sağ	0.00449 ; 2,178	0,00137 ; 2,450	0,00108 ; 2,413
	2/2	2	sol	0,00806 ; 1,751	0,00729 ; 1,626	0,00500 ; 1,663
			sağ	0,00102 ; 2,476	0,000165;3,004	0,000281;2,604
Yok	1/1	1	sol	0,0248 ; 1,766	0,0202 ; 1,742	0,0156 ; 1,726
		2	sol	0,0224 ; 1,792	0,0138 ; 1,851	0,0103 ; 1,891
	2/2	2	sol	0,00787 ; 1,906	0,00548 ; 1,942	0,00289 ; 2,074

Tablo 4.13 $p_{\theta} ; r_{\theta}$ ve $p_{\gamma} ; r_{\gamma}$ Değerleri (Eğilmeli Burulmada)

İç Diyagonal	b/h m/m	a m		Mesnetlenme Durumu		
				Kayıcı	Sabit	Ankastre
Yok	1/1	1	$p_{\theta} ; r_{\theta}$	30,8 ; 1,681	25,5 ; 1,655	22,1 ; 1,593
			$p_{\gamma} ; r_{\gamma}$	66,7 ; 1,092	26,7 ; 1,802	22,6 ; 1,800
		2	$p_{\theta} ; r_{\theta}$	29,1 ; 1,715	15,7 ; 1,834	12,1 ; 1,859
			$p_{\gamma} ; r_{\gamma}$	9,12 ; 2,370	11,4 ; 2,057	6,77 ; 2,207
	2/2	2	$p_{\theta} ; r_{\theta}$	6,25 ; 1,740	4,14 ; 1,800	3,68 ; 1,725
			$p_{\gamma} ; r_{\gamma}$	6,06 ; 1,672	3,31 ; 2,018	2,16 ; 2,071
Var	1/1	1	$p_{\theta} ; r_{\theta}$	20,0 ; 40,0	18,8 ; 37,9	18,6 ; 26,4
		2	$p_{\theta} ; r_{\theta}$	20,6 ; 60,0	19,4 ; 45,0	21,9 ; 31,7
	2/2	2	$p_{\theta} ; r_{\theta}$	6,88 ; 18,3	7,50 ; 11,0	5,62 ; 10,0

4.2.1.1. İç Diyagonallerin Etkisi

Çökme ve dönme üzerinde iç diyagonallerin etkisini incelemek üzere Tablo 4.14-4.15-4.16 oluşturulmuştur.

Burada (Tablo 4.14 ve 4.15 de) iç diyagonallerin bulunması ve bulunmaması durumlarına ait çökme ve dönme değerleri birbirleri ile oranlanarak iç diyagonallerin etkisini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.14 $\delta_{\text{sol iç d. var}} / \delta_{\text{sol iç d. yok}}$ (Eğilmeli Burulmada)

Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)			
			4	6	8	12
Kayıcı	1/1	1	0.724	0.655	0.625	0.584
		2	0.741	—	0.707	0.644
	2/2	2	0.818	—	0.762	0.685
Sabit	1/1	1	0.696	0.644	0.622	0.590
		2	0.778	—	0.656	0.601
	2/2	2	0.875	—	0.656	0.627
Ankastre	1/1	1	0.765	0.686	0.661	0.623
		2	0.857	—	0.643	0.622
	2/2	2	1.000	—	0.696	0.646

Tablo 4.15 $\theta_{\text{iç d. var}} / \theta_{\text{iç d. yok}}$ (Eğilmeli Burulmada)

Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)			
			4	6	8	12
Kayıcı	1/1	1	0.369	0.262	0.202	0.136
		2	0.444	—	0.227	0.147
	2/2	2	0.571	—	0.326	0.211
Sabit	1/1	1	0.442	0.312	0.239	0.166
		2	0.600	—	0.287	0.183
	2/2	2	0.800	—	0.410	0.278
Ankastre	1/1	1	0.488	0.368	0.297	0.211
		2	0.719	—	0.374	0.235
	2/2	2	0.750	—	0.444	0.283

Eğilmeli burulma yüklemesinde uzay kafes kirişlerde açıklık artarken iç diyagonalin bulunması ile yüksüz kenardaki çökmeler ($\delta_{\text{sağ}}$) artmış, yüklü kenardaki çökmeler (δ_{sol}) azalmıştır. Bu durumda kirişin düzenli bir şekilde çökme yaptığı, dolayısıyla dönmenin azaldığı söylenebilir.

Tablo 4.14 den uzay kafes kirişlerde eğilmeli burulma yüklemesinde iç diyagonalin bulunmasının, yükün bulunduğu kenardaki çökmeyi (δ_{sol}) azalttığı ve bu azalmanın büyük açıklıklarda daha fazla olduğu söylenebilir. İç diyagonalin çökme üzerindeki bu olumlu etkisini en

çok sabit sistemlerde en az da ankastre sistemlerde görülmektedir. Bu olumlu etki dikme aralığının artışı ve kesitin büyümesi ile azalmaktadır.

Tablo 4.15 den uzay kafes kirişlerde eğilmeli burulma yüklemesinde iç diyagonalin bulunmasının dönmeyi önemli ölçüde azalttığı ve bu azaltmanın yine büyük açıklıklarda çok daha fazla olduğu söylenebilir. Ayrıca burada mesnetlenme durumuna göre, iç diyagonalin bulunması ile dönmedeki azalma, en çok kayıcı sistemlerde, en az da ankastre sistemlerde olmuştur. Yine bu olumlu etki dikme aralığının artışı ve kesitin büyümesi ile azalmaktadır.

Uzay kafes kirişlerde eğilmeli burulma yüklemesinde, iç diyagonalin bulunması ile özellikle büyük açıklıklarda açı değişiminin pratik olarak tamamen engellendiği diyagramlardan görülmektedir.

Tablo 4.16 da da iç diyagonalli sistemlerde yüksüz kenardaki çökmelerin ($\delta_{sağ}$) yükün bulunduğu kenardaki çökmeleri (δ_{sol}) oranları verilmiştir.

Tablo 4.16 $\delta_{sağ} / \delta_{sol}$ (Eğilmeli Burulmada, İç Diyagonalli Sistemlerde)

Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)			
			4	6	8	12
Kayıcı	1/1	1	0.524	0.632	0.700	0.780
		2	0.450	—	0.677	0.776
	2/2	2	0.333	—	0.625	0.721
Sabit	1/1	1	0.438	0.552	0.652	0.739
		2	0.286	—	0.571	0.699
	2/2	2	0.143	—	0.476	0.619
Ankastre	1/1	1	0.385	0.500	0.595	0.676
		2	0.250	—	0.472	0.609
	2/2	2	0.200	—	0.438	0.548

Tablo 4.16 da iç diyagonalin bulunması ile yüklü kenardaki çökme (δ_{sol}) ile yüksüz kenardaki çökmenin ($\delta_{sağ}$) birbirine yaklaştığı ve bu yaklaşmanın açıklık arttıkça arttığı söylenebilir. Bu çökme değerleri arasındaki yaklaşma dikme aralığının artışı ve kesitin büyümesi ile azalmıştır. Çökmeler arasındaki bu yaklaşma en çok kayıcı en az da ankastre sistemlerde olmuştur.

4.2.1.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi

Çökme, dönme ve açı değişimi üzerinde mesnetlenme durumlarının etkilerini incelemek üzere Tablo 4.17-4.18-4.19 oluşturulmuştur. Burada 1.4 de tanımlanan farklı mesnetlenme durumları için hesaplanan çökme, dönme ve açı değişimi değerleri birbirleri ile oranlanarak mesnetlerdeki fazla bağıllılığın etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.17 Eğilmeli Burulmada δ Oranları

	b/h m/m	a m	İç Diyagonal	L (m)				Ortalamalar				
				4	6	8	12					
$\delta_{sol,sab.} / \delta_{sol,kay.}$	1/1	1	Var	0.762	0.744	0.767	0.780	0.763	0.771	0.727		
			Yok	0.793	0.776	0.771	0.772	0.778				
		2	Var	0.700	—	0.646	0.664	0.670	0.681			
			Yok	0.667	—	0.696	0.711	0.691				
	2/2	2	Var	0.778	—	0.656	0.688	0.707	0.727			
			Yok	0.727	—	0.762	0.753	0.747				
	$\delta_{sol,Ank.} / \delta_{sol,kay.}$	1/1	1	Var	0.619	0.632	0.617	0.602	0.618		0.601	0.561
				Yok	0.586	0.603	0.583	0.564	0.584			
2			Var	0.600	—	0.554	0.552	0.569	0.564			
			Yok	0.519	—	0.587	0.572	0.559				
2/2		2	Var	0.556	—	0.500	0.508	0.521	0.518			
			Yok	0.455	—	0.548	0.539	0.514				
$\delta_{sol,Ank.} / \delta_{sol,sab.}$		1/1	1	Var	0.812	0.828	0.804	0.772	0.804	0.778	0.778	
				Yok	0.739	0.778	0.757	0.731	0.751			
	2		Var	0.857	—	0.857	0.831	0.848	0.829			
			Yok	0.778	—	0.844	0.804	0.809				
	2/2	2	Var	0.714	—	0.762	0.738	0.738	0.727			
			Yok	0.625	—	0.719	0.716	0.716				

Tablo 4.17 den mesnetlerdeki fazla bağıllılığın çökme üzerinde olumlu etkisi olduğu ve bu etkinin bağ sayısının artışı ve kesitin büyümesi ile arttığı söylenebilir. Ortalama olarak çökmeler; sabit sistemlerde kayıcı sistemlerin 0.727 katı, ankastre sistemlerde ise, kayıcı sistemlerin 0.561 katı, sabit sistemlerin 0.778 katı olmaktadır. Buradan eğilmeli burulma yüklemesinde, mesnetlerdeki fazla bağıllılığın çökme üzerindeki olumlu etkisinin eğilme yüklemesindeki olumlu etkiden daha az olduğu söylenebilir. Sabit sistemlerin çökmeleri kayıcı sistemlere göre, dikme aralığının artışı ve iç diyagonalin bulunması ile daha da azalmıştır. Fazla bağıllılığın getirdiği çökmeler üzerindeki bu olumlu etki, ankastre sistemlerde kayıcı ve sabit sistemlere göre dikme aralığının artışı ve iç diyagonalin bulunması ile azalmıştır.

Tablo 4.18 Eğilmeli Burulmada θ Oranları

Oranlar	İç Diyagonal	b/h m/m	a m	L (m)				Ortalamalar	
				4	6	8	12		
$\theta_{\text{Sab.}} / \theta_{\text{Kay.}}$	Var	1/1	1	0,958	0,938	0,925	0,946	0,942	0,926
			2	0,857	—	0,891	0,902	0,883	
		2/2	2	0,889	—	0,973	1,000	0,954	
	Yok	1/1	1	0,800	0,787	0,783	0,777	0,787	0,742
			2	0,635	—	0,704	0,721	0,687	
		2/2	2	0,714	—	0,774	0,758	0,749	
$\theta_{\text{Ank.}} / \theta_{\text{Kay.}}$	Var	1/1	1	0,833	0,875	0,875	0,893	0,869	0,837
			2	0,821	—	0,935	0,951	0,902	
		2/2	2	0,667	—	0,800	0,750	0,739	
	Yok	1/1	1	0,631	0,623	0,596	0,575	0,606	0,578
			2	0,508	—	0,567	0,594	0,556	
		2/2	2	0,571	—	0,587	0,558	0,572	
$\theta_{\text{Ank.}} / \theta_{\text{Sab.}}$	Var	1/1	1	0,870	0,933	0,946	0,943	0,923	0,906
			2	0,958	—	1,049	1,055	1,021	
		2/2	2	0,750	—	0,822	0,750	0,774	
	Yok	1/1	1	0,788	0,792	0,761	0,741	0,771	0,781
			2	0,800	—	0,804	0,823	0,809	
		2/2	2	0,800	—	0,758	0,736	0,764	

Tablo 4.18 den mesnetlerdeki fazla bağıllılığın dönme üzerinde de olumlu etkisi olduğu ve bu olumlu etkinin bağ sayısının artışı ile arttığı ve iç diyagonalilere göre iç diyagonalsiz sistemlerde daha fazla olduğu söylenebilir. Ortalama olarak dönmeler; sabit sistemlerde kayıcı sistemlerdekinin, iç diyagonalilerde 0.926 katı, iç diyagonalsizlerde 0.742 katı olmaktadır. Ankastre sistemlerde ise, kayıcı sistemlerdekinin, iç diyagonalilerde 0.837 katı, iç diyagonalsizlerde 0.578 katı, sabit sistemlerdekinin, iç diyagonalilerde 0.906 katı, iç diyagonalsizlerde 0.781 katı olmaktadır.

Tablo 4.19 Eğilmeli Burulmada γ Oranları

İç Diyagonal	Oranlar	b/h m/m	a m	L (m)				
				4	6	8	12	
Yok	$\gamma_{\text{Sab.}} / \gamma_{\text{Kay.}}$	1/1	1	1.288	1.234	1.340	2.899	
			2	0.792	—	0.687	0.554	
		2/2	2	0.883	—	1.124	1.292	
			2	0.883	—	1.124	1.292	
		$\gamma_{\text{Ank.}} / \gamma_{\text{Kay.}}$	1/1	1	1.058	1.065	1.182	2.361
				2	0.604	—	0.846	0.517
	2/2		2	0.667	—	0.667	1.089	
			2	0.667	—	0.667	1.089	
	$\gamma_{\text{Ank.}} / \gamma_{\text{Sab.}}$		1/1	1	0.821	0.864	0.883	0.814
				2	0.762	—	1.232	0.933
		2/2	2	0.755	—	0.593	0.843	
			2	0.755	—	0.593	0.843	

İç diyagonalli kirişlerde $\gamma \cong 0$ olduğundan açı değişimi üzerinde mesnetlenme durumunun etkileri yalnızca iç diyagonalsiz kirişlerde incelenmiştir. Tablo 4.19 da kayıcı sistemlere göre sabit ve ankastre sistemlerdeki açı değişimlerinin, dikme aralığının kesit yüksekliğine eşit olduğu durumlarda özellikle büyük açıklıklarda daha fazla, dikme aralığının kesit yüksekliğinin iki katı olduğu durumlarda da daha az olduğu görülmektedir. Buradan dikme aralığının kesit yüksekliğine eşit olduğu durumlarda mesnetlerdeki yatay hareketin engellenmesinin açı değişimini özellikle büyük açıklıklarda arttırdığı, buna karşılık dikme aralığının kesit yüksekliğinin iki katı olduğu durumlarda ise mesnetlerdeki yatay hareketin engellenmesinin açı değişimini azalttığı söylenebilir.

Sabit sistemlere göre ankastre sistemlerin açı değişimlerinin azaldığı Tablo 4.19 dan görülmektedir. Buradan mesnetlerdeki yatay hareketin engellendiği durumlarda, mesnetlerdeki bağ sayısındaki artışın açı değişimini azalttığı söylenebilir.

4.2.1.3. Dikme Aralığının Etkisi

Çökme, dönme ve açı değişimi üzerinde dikme aralığının aralığının etkilerini incelemek üzere Tablo 4.20-4.21-4.22 oluşturulmuştur. Burada $b/h = 1/1$ ve dikme aralığı $a = 2m$ olan kirişlerdeki çökme, dönme ve açı değişimi miktarları, $b/h = 1/1$ ve dikme aralığı $a = 1m$ olan kirişlerin çökme, dönme ve açı değişimi miktarlarına bölünerek dikme aralığını belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.20 $\delta_{sol 2/1} / \delta_{sol 1/1}$ Oranları

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)		
		4	8	12
Kayıcı	Var	0.952	1.083	1.059
	Yok	0.931	0.958	0.960
Sabit	Var	0.875	0.913	0.902
	Yok	0.783	0.865	0.885
Ankastre	Var	0.923	0.973	0.972
	Yok	0.824	0.964	0.974

Tablo 4.20 den dikme aralığının artışının genel olarak çökmeyi az miktarda da olsa azalttığı söylenebilir. Burada en çok azalma sabit sistemlerde görülmektedir. İç diyagonalsiz sistemlerde, iç diyagonallilere göre dikme aralığının artışı ile çökme miktarındaki azalma daha çok olmaktadır. Dikme aralığının artışı ile çökme miktarlarındaki azalma kısa açıklıklarda uzun açıklıklara göre daha fazla olduğu söylenebilir. Burada bir ayrıcalık olarak iç diyagonalli kayıcı sistemlerde dikme aralığının artışı ile çökme miktarında çok az miktarda artış olduğu görülmektedir.

Tablo 4.21 $\theta_{2/1} / \theta_{1/1}$ Oranları (Eğilmeli Burulmada)

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)			Ortalama
		4	8	12	
Kayıcı	Var	1.167	1.150	1.089	1.135
	Yok	0.969	1.025	1.010	1.001
Sabit	Var	1.043	1.108	1.038	1.063
	Yok	0.769	0.923	0.938	0.877
Ankastre	Var	1.150	1.229	1.160	1.146
	Yok	0.780	0.975	1.042	0.932

Tablo 4.21 den dikme aralığının artışının dönmeyi iç diyagonal-li sistemlerde arttırdığı, iç diyagonalsiz sistemlerde ise azalttığı söylenebilir. Dönmedeki bu artış en çok ankastre sistemlerde ve azalma da en çok sabit sistemlerde görülmektedir. Burada bir ayrıcalık olarak iç diyagonalsiz kayıcı ve ankastre sistemlerde uzun açıklıklarda dönmenin çok az da olsa arttığı görülmektedir.

Dönmeler, dikme aralığı $a = 2m$ olan kirişlerde, dikme aralığı $a = 1m$ olan kirişlerin ortalama olarak, iç diyagonal-li kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerde sırası ile 1.135; 1.063; 1.146 katı, iç diyagonalsizlerde ise sırası ile 1.001; 0.877; 0.732 katı olmaktadır.

Tablo 4.22 $\gamma_{2/1} / \gamma_{1/1}$ Oranları (Eğilmeli Burulmada)

İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu	L (m)		
		4	8	12
Yok	Kayıcı	1.019	1.264	4.497
	Sabit	0.627	0.648	0.859
	Ankastre	0.581	0.904	0.985

İç diyagonal-li sistemlerde $\gamma \cong 0$ olduğundan açı değişimi üzerinde dikme aralığının etkisi yalnızca iç diyagonalsiz sistemlerde incelenmiştir. Tablo 4.22 den dikme aralığının artışının açı değişimini, kayıcı sistemlerde arttığı, sabit ve ankastre sistemlerde ise azalttığı söylenebilir.

Kayıcı sistemlerde dikme aralığının artışının açı değişimi üzerindeki olumsuz etkisi açıklığın artışı ile birlikte artarken, sabit ve ankastre sistemlerde dikme aralığının artışının açı değişimi üzerindeki olumlu etkisi açıklığın artışı ile birlikte azalmaktadır.

4.2.1.4. Kesit Büyüklüğünün Etkisi

Çökme, dönme ve açı değişimi üzerinde kesit büyüklüğünün etkisini belirlemek üzere Tablo 4.23-4.24-4.25 oluşturulmuştur. Burada $b/h = 2/2$ ve dikme aralığı $a = 2m$ olan kirişlerdeki çökme, dönme ve açı değişimi miktarları, $b/h = 1/1$ ve dikme aralığı $a = 2m$ olan kirişlerin çökme, dönme ve açı değişimi miktarlarına oranlanarak kesit büyüklüğünün etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4. 23 $\delta_{sol\ 2/2} / \delta_{sol\ 2/1}$ Oranları (Eğilmeli Burulmada)

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)		
		4	8	12
Kayıcı	Var	0.450	0.492	0.488
	Yok	0.407	0.457	0.459
Sabit	Var	0.500	0.500	0.506
	Yok	0.444	0.500	0.486
Ankastre	Var	0.417	0.444	0.449
	Yok	0.357	0.426	0.432

Tablo 4.23 den kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesi sonucu, çökmelerin yarıdan çok azaldığı ve bu azalmanın küçük açıklarda büyük açıklıklara göre daha çok olduğu görülmektedir. Çökmelerdeki bu azalma iç diyagonalsizlerde iç diyagonalilere göre daha çok olmaktadır. Yine çökmelerdeki bu azalma en çok ankastre sistemlerde, ondan sonra kayıcı sistemlerde en az da sabit sistemlerde görülmektedir.

Tablo 4. 24 $\theta_{2/2} / \theta_{2/1}$ Oranları (Eğilmeli Burulmada)

Mesnetlenme Durumu	İç Diagonal	L (m)			Ortalama
		4	8	12	
Kayıcı	Var	0.321	0.326	0.328	0.325
	Yok	0.222	0.227	0.228	0.226
Sabit	Var	0.333	0.356	0.364	0.351
	Yok	0.250	0.249	0.240	0.246
Ankastre	Var	0.261	0.279	0.259	0.266
	Yok	0.250	0.235	0.215	0.233

Tablo 4.24 den kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikiye kat büyümesi sonucu, dönmelerin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Dönmeler, $b/h=2/2$ ve dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerde, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerdekinin ortalama olarak, iç diyagonalli kayıcı, sabit ve ankastre sırası ile 0.325; 0.351; 0.266 katı, iç diyagonalsizlerde ise aynı sıra ile 0.226; 0.246; 0.233 katı olmaktadır. Buradan kesitin büyümesi ile dönmelerin iç diyagonalilere göre iç diyagonalsiz sistemlerde daha çok azaldığı söylenebilir. Kesitin büyümesi ile bu azalma en çok ankastre sistemlerde ondan sonra kayıcı sistemlerde en az da sabit sistemlerde olmaktadır.

Tablo 4. 25 $\gamma_{2/2} / \gamma_{2/1}$ Oranları (Eğilmeli Burulmada)

İç Diagonal	Mesnetlenme Durumu	L (m)		
		4	8	12
Yok	Kayıcı	0.226	0.209	0.097
	Sabit	0.252	0.342	0.227
	Ankastre	0.250	0.165	0.205

İç diyagonalli sistemlerde $\gamma=0$ olduğundan açı değişimi üzerinde kesitin büyümesinin etkisi yalnızca iç diyagonalsiz sistemlerde incelenmiştir. Tablo 4.25 den kesitin büyümesinin açı değişimi çok azalttığı söylenebilir. Bu azalma en çok kayıcı sistemlerde ondan sonra ankastre sistemlerde en az da sabit sistemlerde olmaktadır.

4.2.1.5. Düzlem Sistemlerle Karşılaştırma

Eğilmede olduğu gibi eğilmeli burulmada da iç diyagonalı uzay kirişlerin servis yükleri ile düzlem kirişlerin servis yükleri ve iç diyagonalı kirişlerin orta noktasındaki çökmeler ile düzlem kirişin orta noktasındaki çökmeler karşılaştırılırsa aşağıdaki durum ortaya çıkmaktadır (Tablo 4.26). Bu tabloda; P_{UEB} ve δ_{UEB} , uzay kafes kirişlerin eğilme yüklemesine göre servis yüklerini ve çökmelerini; P_D ve δ_D düzlem kafes kirişlerin servis yüklerini ve çökmelerini gösteriyor.

Tablo 4.26 Eğilmeli Burulmada Uzay ve Düzlem Sistemlerin Karşılaştırılması

Oranlar	Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)				Ortalama
				4	6	8	12	
P_{UEB}/P_D	Kayıcı	1/1	1	1.240	1.184	1.151	1.139	1.179
			2	1.688	—	1.583	1.452	1.574
		2/2	2	1.087	—	1.364	1.248	1.233
	Sabit	1/1	1	1.387	1.316	1.265	1.205	1.293
			2	1.391	—	2.005	1.725	1.707
		2/2	2	1.097	—	1.622	1.419	1.379
	Ankastre	1/1	1	1.468	1.286	1.246	1.195	1.299
			2	1.060	—	1.858	1.583	1.500
		2/2	2	1.095	—	1.555	1.364	1.338
δ_{UEB}/δ_D	Kayıcı	1/1	1	0.767	0.683	0.650	0.620	0.606
			2	0.913	—	0.719	0.668	0.767
		2/2	2	0.750	—	0.723	0.653	0.709
	Sabit	1/1	1	0.947	0.805	0.729	0.671	0.788
			2	1.067	—	1.041	0.883	0.997
		2/2	2	1.000	—	1.000	0.817	0.939
	Ankastre	1/1	1	1.000	0.788	0.732	0.678	0.780
			2	0.929	—	1.000	0.768	0.899
		2/2	2	0.833	—	1.000	0.786	0.873

Bu tablodan uzay kafes kirişlerin düzlem kirişlere göre yararı görülmektedir. Bu yararın eğilmedekinden (Tablo 4.8), özellikle çökmeler üzerinde daha fazla olduğu söylenebilir. Eğilmeli burulmada, uzay

kafes kirişlerde düzlem kirişlere göre, servis yükü artarken çökmele-
rin azaldığı görülmektedir. Bunun nedeni, uzay kirişlerde iç diyago-
nalin bulunması ile yükün bir kısmını yüksüz kenardaki çubukların karşı-
lamasıdır. Böylece kirişin emniyetle taşıyabileceği servis yükü art-
mış ve çökme de azalmıştır. Uzay kafes kirişlerin düzlem kafes kiriş-
lere göre servis yüklerindeki artışın açıklığının küçük, dikme aralığı-
nın ve kesitin büyük olduğu durumlarda daha fazla olduğu söylenebilir.
Uzay kafes kirişlerin düzlem kafes kirişlere göre; çökmelerindeki
azalmanın, servis yükündeki durumun tersine açıklığının büyük dikme ara-
lığının ve kesitin küçük olduğu durumlarda daha fazla olduğu söylene-
bilir. Burada $a \approx 2m$ ve $L = 4m$ için özel bir durum olması nedeniyle yu-
karıdaki duruma uymayan sonuçlar çıkmıştır.

4.2.2. Elastik-Plastik Analiz

Bölüm 3 de ankastre sistemler için kirişin orta noktasındaki P
yükünün arttırılması sonucu oluşan çökmelerinin, dönmelerinin ve
açı değişimlerinin hesaplanması ile göçme yüküne kadar tüm davranışını
veren P- δ , P- θ ve P- γ diyagramları çizilmiştir (Şekil 3.24-3.27).

Bu diyagramlar tipik olarak Şekil 4.4 deki diyagrama benzemektedir.

Eğilmeli burulmada yükün tesir ettiği düğüm noktasına bağlanan
çubuklarda akma meydana gelerek sistemde yerel göçme olmaktadır.
Bu nedenle özellikle iç diyagonalsiz sistemlerde diğer çubuklarda ak-
ma meydana gelmemektedir (Şekil 3.20-3.23).

Aşağıda ankastre sistemlerde; ilk akma yükünün servis yüküne,
göçme yükünün servis yüküne ve ilk akma yüküne oranları verilmiştir.
Benzer oranlar çökmeler ve dönmeler için de hesaplanmıştır (Tablo 4.27)

Tablodan iç diyagonalli ankastre sistemlerde; ilk akmanın servis
yükünün ortalama olarak 1.846, göçmenin ise 1.955 katında, buna karşı-
lık iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde ise ilk akmanın ortalama ola-
rak servis yükünün 1.677, göçmenin ise 1.688 katında olduğu görülmek-
tedir. Buradan iç diyagonalin bulunmasının gerçek güvenliği (P_u/P_s),
(1.955/1.688 = 1.158) %15.8 arttırdığı, iç diyagonalsiz kirişlerde ise
göçmenin ilk akma yüküne çok yakın bir değerde meydana geldiği söyle-
nebilir ($P_u/P_1 = 1.007$).

Tablo 4.27 P, δ ve θ oranları, Ankastre, $b/h = 1/1$, $a=1m$

Oranlar	İç Diyagonal	L (m)			Ortalama
		4	8	12	
P_1/P_s	Var	1.848	1.844	1.845	1.846
	Yok	1.662	1.688	1.680	1.677
P_u/P_s	Var	1.967	1.955	1.944	1.955
	Yok	1.680	1.705	1.680	1.688
P_u/P_1	Var	1.064	1.061	1.053	1.059
	Yok	1.011	1.010	1.000	1.007
δ_1/δ_s	Var	1.769	1.838	1.859	1.822
	Yok	1.706	1.696	1.684	1.695
δ_u/δ_s	Var	2.169	1.949	1.944	2.021
	Yok	1.738	1.711	1.684	1.711
δ_u/δ_1	Var	1.226	1.060	1.045	1.110
	Yok	1.019	1.008	1.000	1.009
θ_1/θ_s	Var	1.755	1.829	1.900	1.828
	Yok	1.634	1.703	1.684	1.674
θ_u/θ_s	Var	2.180	2.035	2.040	2.085
	Yok	1.667	1.719	1.684	1.690
θ_u/θ_1	Var	1.242	1.113	1.074	1.143
	Yok	1.020	1.009	1.000	1.010

Süneklik (δ_u/δ_1), iç diyagonalı kirişlerde 1.110, iç diyagonal-sizlerde ise 1.009 olmaktadır. Buradan iç diyagonalin sünekliği (1.110/1.009 = 1.100) %10 arttırdığı ve iç diyagonalsiz kirişlerin sünek olmadıkları söylenebilir.

Dönme yeteneği (θ_u/θ_1) ise, iç diyagonalı kirişlerde 1.143 iç diyagonalsizlerde ise 1.010 olmaktadır. Buradan da iç diyagonalin dönme yeteneğini (1.143/1.010 = 1.132) %13.2 arttırdığı, iç diyagonalsiz kirişlerin dönme yeteneklerinin bulunmadığı söylenebilir.

Gerçek güvenlik, süneklik ve dönme yeteneği üzerinde dikme araştırılmasının ve kesit büyüklüğünün etkisini incelemek üzere Tablo 4.28 oluşturulmuştur.

Tablo 4. 28 P, δ ve θ oranları, Ankastre, L = 8m

Oranlar	İç Diyagonal	a/h (m/m)			(...) _{2/1}	(...) _{2/2}
		1/1	2/1	2/2	(...) _{1/1}	(...) _{2/1}
P_1/P_s	Var	1.844	1.749	1.874	0.948	1.071
	Yok	1.688	1.678	1.693	0.994	1.003
P_u/P_s	Var	1.955	1.959	1.990	1.002	1.018
	Yok	1.705	1.680	1.693	0.985	1.008
P_u/P_1	Var	1.061	1.120	1.061	1.056	0.947
	Yok	1.010	1.001	1.000	0.991	0.999
δ_1/δ_s	Var	1.838	1.750	1.875	0.952	1.071
	Yok	1.696	1.685	1.696	0.994	1.007
δ_u/δ_s	Var	1.949	2.039	1.956	1.046	0.959
	Yok	1.711	1.689	1.696	0.987	1.004
δ_u/δ_1	Var	1.060	1.165	1.043	1.099	0.895
	Yok	1.008	1.002	1.000	0.994	0.998
θ_1/θ_s	Var	1.829	1.767	1.875	0.966	1.061
	Yok	1.703	1.765	1.704	1.036	0.965
θ_u/θ_s	Var	2.035	2.177	2.104	1.070	0.966
	Yok	1.719	1.769	1.704	1.029	0.963
θ_u/θ_1	Var	1.113	1.232	1.122	1.107	0.911
	Yok	1.009	1.002	1.000	0.993	0.998

Tablodan iç diyagonalli kirişlerde ilk akmayı oluşturan yükün dikme aralığının iki kat artışı ile %5.2 azaldığı, kesitin iki kat büyümesi ile ise %7.1 arttığı, buna karşılık göçme yükünün ise dikme aralığının ve kesitin değişmesi ile pek değişmediği görülmektedir. İç diyagonalsız kirişlerde ise ilk akmayı oluşturan yükün ve göçme yükünün hem dikme aralığının hem de kesitin değişmesi ile pek değişmediği söylenebilir.

Sünekliğin (δ_u/δ_1), iç diyagonalli kirişlerde, dikme aralığının iki kat büyümesi ile %9.9 arttığı, kesitin iki kat büyümesi ile ise %10.5 azaldığı, buna karşılık iç diyagonalsızlarda pek değişmediği söylenebilir.

Dönme yeteneğinin (θ_u/θ_1) ise, yine iç diyagonalli kirişlerde dikme aralığının iki kat artışı ile %10.7 arttığı, kesitin iki kat büyümesi ile %8.9 azaldığı, buna karşılık iç diyagonalsizlerde pek değişmediği görülmektedir.

Buradan, iç diyagonalli kirişlerde, sünekliğin ve dönme yeteneğinin; dikme aralığının büyümesi ile arttığı buna karşılık kesitin büyümesi ile azaldığı gerçek güvenliğin ise pek değişmediği söylenebilir. İç diyagonalsiz kirişlerde ise adı geçen büyüklüklerde önemli bir değişiklik yoktur.

4.3. Burulma Yüklemesi

Burulma etkisinde kalan uzay kafes kirişte karakteristik deformasyonlar, kiriş orta enkesitindeki yatay dönme, açı değişimi ve çarpılma (yalnızca kayıcı sistemlerde) ile mesnet enkesitlerindeki (kayıcı ve sabit sistemlerde) çarpılmadır (Şekil 4.7). Aşağıda bu dönme, açı değişimi ve çarpılma ile kiriş açıklığı arasındaki ilişkileri elastik ve elastik-plastik çözümlerden elde edilen sonuçlara göre belirtilmeye çalışılmıştır.

4.3.1. Elastik Çözüm

Servis yükü ($P_s = 120$ kN) ile yüklenmiş uzay kafes kirişin orta enkesitindeki dönme, açı değişimi ve çarpılma (yalnızca kayıcı sistemlerde) değerleri ile mesnet enkesitlerindeki çarpılma değerleri Tablo 2.7-2.11 ve 2.16 da verilmiştir. Bu değere göre çizilen dönme-açıklık diyagramları Şekil 2.27-2.29, açı değişimi-açıklık diyagramları Şekil 2.29-2.31 ve çarpılma-açıklık diyagramları Şekil 2.34-2.35 de görülmektedir. Bu değerlerden en küçük kareler yöntemine göre geçirilen sürekli eğri denklemleri için,

$$\theta = 10^{-5}(u_\theta L + v_\theta) \quad (\text{İç diyagonalli sistemlerde}) \quad (4.10)$$

$$\theta = 10^{-5}u_\theta L^{v_\theta} \quad (\text{İç diyagonalsiz sistemlerde}) \quad (4.11)$$

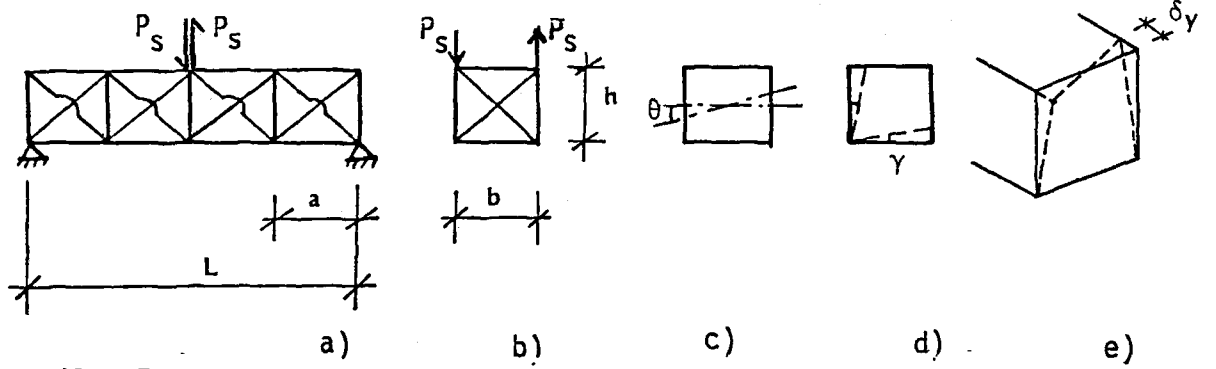
$$\gamma \cong 0 \quad (\text{İç diyagonalli sistemlerde}) \quad (4.12)$$

$$\gamma = 10^{-5}u_\gamma L^{v_\gamma} \quad (\text{İç diyagonalsiz sistemlerde}) \quad (4.13)$$

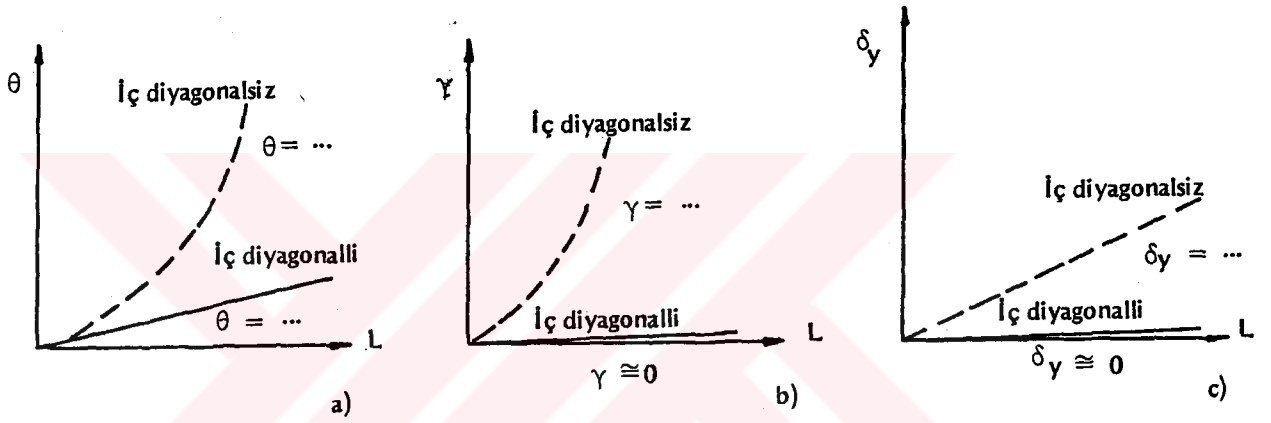
$$\delta_y \cong 0 \quad (\text{İç diyagonalli sistemlerde}) \quad (4.14)$$

$$\delta_y = u_{\delta y} L + v_{\delta y} \quad (\text{İç diyagonalsiz sistemlerde}) \quad (4.15)$$

bağıntıları uygun olmaktadır (Şekil 4.8).



Şekil 4.7



Şekil 4.8

Bu bağlantılar ile Şekil 4.7 de görülen ve Bölüm 1.3 de tanımlanan kirişler için geçerli olmak üzere dönme, açı değişimi ve çarpılma; açıklığa bağlı olarak hesaplanabilir. Bağlantılardaki u_θ , v_θ , u_γ , v_γ , $u_{\delta y}$ ve $v_{\delta y}$ katsayıları, kesitin büyüklüğüne, dikme aralığına, iç diyagonalin bulunup bulunmamasına ve mesnetlenme durumuna göre değişen katsayılardır (Tablo 4.29-4.30). Bağlantılardaki L , m ; θ ve γ radyan ve δy , cm cinsindedir.

Boyutlandırma, grup çubuklarda $\sigma_{\max} \cong \sigma_{em}$ olacak biçimde yapıldığı için bağlantılarda yük bulunmamaktadır.

Tablo 4.29 $u_{\theta} ; v_{\theta}$ ve $u_{\gamma} ; v_{\gamma}$ Değerleri (Burulmada)

İç Diyagonal	b/h m/m	a m		Mesnetlenme Durumu		
				Kayıcı	Sabit	Ankastre
Yok	1/1	1	$u_{\theta} ; v_{\theta}$	61.3 ; 1.762	49.1 ; 1.673	41.9 ; 1.621
			$u_{\gamma} ; v_{\gamma}$	123 ; 1.181	51.9 ; 1.815	44.8 ; 1.805
		2	$u_{\theta} ; v_{\theta}$	58.2 ; 1.714	33.1 ; 1.813	24.3 ; 1.867
			$u_{\gamma} ; v_{\gamma}$	17.6 ; 2.391	35.2 ; 1.886	13.6 ; 2.302
	2/2	2	$u_{\theta} ; v_{\theta}$	13.5 ; 1.709	8.29 ; 1.800	7.36 ; 1.724
			$u_{\gamma} ; v_{\gamma}$	11.1 ; 1.715	6.49 ; 2.026	4.35 ; 2.113
Var	1/1	1	$u_{\theta} ; v_{\theta}$	38.7 ; 87.1	36.3 ; 82.9	40.0 ; 30.0
		2	$u_{\theta} ; v_{\theta}$	40.0 ; 130	37.5 ; 96.7	45.0 ; 56.7
	2/2	2	$u_{\theta} ; v_{\theta}$	13.8 ; 38.3	14.4 ; 20.0	13.1 ; 13.3

Tablo 4.30 $u_{\delta y} ; v_{\delta y}$ Değerleri, İç Diyagonal Yok

b/h m/m	a m	Yer	Kayıcı			Sabit
			Sol Mesnette	Ortada	Sağ Mesnette	Mesnetlerde
1/1	1	Üst	0.0350 ; 0	0.0160;0.0100	0 ; 0	0.0187; -0.0129
		Alt	0 ; 0	0.0160;0.0100	0,0326 ; 0.0157	0;0
	2	Üst	0.0350 ; -0.0100	0.0163;0.00667	0 ; 0	0.0163; -0.0133
		Alt	0 ; 0	0.0163;0.00667	0.0338 ; 0.00333	0;0
2/2	2	Üst	0.0325 ; -0.0400	0.0138; -0.00667	0 ; 0	0.0175; -0.0400
		Alt	0 ; 0	0.0138;0.00667	0.0287 ; 0.00333	0;0

Servis yükünde dönme, açı değişimi ve çarpılma üzerinde; iç diyagonalin, mesnetlenme durumlarının, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkileri aşağıdaki bölümlerde incelenmiştir.

4.3.1.1. İç Diyagonallerin Etkisi

Dönme, üzerinde iç diyagonallerin etkisini incelemek üzere Tablo 4.31 oluşturulmuştur. Burada iç diyagonallerin bulunması ve bulunmaması durumlarına ait dönme değerleri birbirleriyle oranlanarak iç diyagonallerin etkisini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.31 θ iç d. var / θ iç d. yok (burulmada)

Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)			
			4	6	8	12
Kayıcı	1/1	1	0.375	0.262	0.201	0.119
		2	0.460	—	0.223	0.147
	2/2	2	0.621	—	0.330	0.211
Sabit	1/1	1	0.451	0.313	0.237	0.163
		2	0.585	—	0.287	0.179
	2/2	2	0.750	—	0.394	0.264
Ankastre	1/1	1	0.475	0.355	0.292	0.214
		2	0.719	—	0.355	0.239
	2/2	2	0.813	—	0.444	0.321

Tablo 4.31 den görüldüğü gibi burulma yüklemesinde, iç diyagonalin bulunmasının dönme için önemli ölçüde azalttığı ve bu azaltmanın büyük açıklıklarda çok daha fazla olduğu söylenebilir. Ayrıca mesnetlenme durumuna göre, iç diyagonalin bulunması ile dönmedeki azalma en çok kayıcı, en az ankastre sistemlerde olmuştur. İç diyagonalin dönme üzerindeki bu olumlu etkisi dikme aralığının ve kesitin büyümesi ile azalmaktadır.

Uzay kafes kirişlerde burulma yüklemesinde, iç diyagonalin bulunması ile özellikle büyük açıklıklarda açı değişiminin ve çarpılmanın pratik olarak tamamen engellendiği diyagramlardan görülmektedir (Şekil 2.29-2.31 ve 2.34-2.35).

4.3.1.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi

Dönme, açı değişimi ve çarpılma üzerinde mesnetlenme durumlarının etkilerini incelemek üzere Tablo 4.32-4.33-4.34 oluşturulmuştur. Burada Şekil 1.4 de tanımlanan farklı mesnetlenme durumları için hesaplanan dönme, açı değişimi ve çarpılma değerleri birbirleri ile oranlanarak mesnetlerdeki fazla bağıllılığın etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.32 Burulmada θ Oranları

Oranlar	İç Diyagonal	b/h m/m	a m	L (m)				Ortalamalar	
				4	6	8	12		
$\theta_{\text{Sab.}} / \theta_{\text{Kay.}}$	Var	1/1	1	0,958	0,938	0,925	0,945	0,942	0,904
			2	0,828	—	0,911	0,885	0,875	
		2/2	2	0,833	—	0,903	0,950	0,895	
	Yok	1/1	1	0,797	0,787	0,784	0,693	0,765	0,731
			2	0,651	—	0,708	0,724	0,694	
		2/2	2	0,690	—	0,755	0,758	0,734	
$\theta_{\text{Ank.}} / \theta_{\text{Kay.}}$	Var	1/1	1	0,792	0,844	0,875	0,927	0,860	0,849
			2	0,793	—	0,956	0,967	0,905	
		2/2	2	0,722	—	0,774	0,850	0,782	
	Yok	1/1	1	0,625	0,623	0,603	0,515	0,592	0,573
			2	0,508	—	0,599	0,594	0,567	
		2/2	2	0,552	—	0,574	0,558	0,561	
$\theta_{\text{Ank.}} / \theta_{\text{Sab.}}$	Var	1/1	1	0,826	0,900	0,946	0,981	0,913	0,940
			2	0,958	—	1,049	1,093	1,033	
		2/2	2	0,867	—	0,857	0,895	0,873	
	Yok	1/1	1	0,784	0,792	0,796	0,744	0,772	0,785
			2	0,780	—	0,846	0,821	0,816	
		2/2	2	0,800	—	0,761	0,736	0,766	

Tablo 4.32 den mesnetlerdeki fazla bağıllılığın dönme üzerinde azaltıcı etkisi olduğu ve bu etkinin bağ sayısının artışı ile arttığı ve iç diyagonalilere göre iç diyagonalsiz sistemlerde daha fazla olduğu söylenebilir. Ortalama olarak dönmeler; sabit sistemlerde kayıcı sistemlerdekinin, iç diyagonalilerde 0.904 katı, iç diyagonalsizlerde 0.731 katı olmaktadır. Ankastre sistemlerde ise, kayıcı sistemlerdekinin, iç diyagonal bulunması veya bulunmaması durumuna göre sırasıyla 0.849 ve 0.573, sabit sistemlerdekinin de yine aynı sıra ile 0.940 ve 0.785 katı olmaktadır.

Tablo 4.33 Burulmada γ Oranları

İç Diyagonal	Oranlar	b/h m/m	a m	L (m)			
				4	6	8	12
Yok	$\gamma_{\text{Sab.}} / \gamma_{\text{Kay.}}$	1/1	1	1.119	1.234	1.335	2.307
			2	0.962	—	0.760	0.540
		2/2	2	0.913	—	1.068	1.299
	$\gamma_{\text{Ank.}} / \gamma_{\text{Kay.}}$	1/1	1	0.932	1.056	1.174	1.887
			2	0.604	—	0.880	0.503
		2/2	2	0.696	—	0.841	1.095
	$\gamma_{\text{Ank.}} / \gamma_{\text{Sab.}}$	1/1	1	0.833	0.856	0.879	0.818
			2	0.627	—	1.158	0.931
		2/2	2	0.762	—	0.787	0.843

İç diyagonalı uzay kafes kirişlerde $\gamma \cong 0$ olduğundan açı değişimi üzerinde mesnetlenme durumunun etkileri yalnızca iç diyagonalsız uzay kafes kirişlerde incelenmiştir. Tablo 4.33 den kayıcı sistemlere göre sabit ve ankastre sistemlerdeki açı değişimlerinin dikme aralığının kesit yüksekliğine eşit olduğu durumlarda özellikle büyük açıklıklarda daha fazla, dikme aralığının kesit yüksekliğinin iki kat olduğu durumlarda da daha az olduğu görülmektedir. Buradan dikme aralığının kesit yüksekliğine eşit olduğu durumlarda mesnetlerdeki yatay hareketin engellenmesinin açı değişimini özellikle büyük açıklıklarda arttırdığı, buna karşılık dikme aralığının kesit yüksekliğinin iki katı olduğu durumlarda ise mesnetlerdeki yatay hareketin engellenmesinin açı değişimini azalttığı söylenebilir.

Sabit sistemlere göre ankastre sistemlerin açı değişimlerinin azaldığı Tablo 4.33 den görülmektedir. Buradan mesnetlerdeki yatay hareketin engellendiği durumlarda bağ sayısındaki artışın açı değişimini azalttığı söylenebilir.

Tablo 4.34 İç Diyagonalsız Sistemlerde $\delta_{y_{sab.}} / \delta_{y_{kay.}}$

Yer	b/h m/m	a m	L (m)			
			4	6	8	12
Mesnette Üst Köşelerde	1/1	1	0.429	0.476	0.500	0.500
		2	0.385	—	0.444	0.439
	2/2	2	0.333	—	0.455	0.486

İç diyagonalli uzay kafes kirişlerde, $\delta_y \cong 0$ olduğundan çarpılma üzerinde mesnetlenme durumunun etkileri yalnızca iç diyagonalsız uzay kafes kirişlerde incelenmiştir. Tablo 4.34 den kayıcı sistemlere göre sabit sistemlerdeki çarpılmanın yarıdan daha az olduğu görülmektedir. Buradan mesnetlerdeki yatay hareketin engellenmesinin çarpılmayı azalttığı söylenebilir. Mesnetlerdeki yatay hareketin engellenmesi sonucu çarpılmadaki azalmanın, dikme aralığının ve kesitin büyük, açıklığın küçük olduğu durumlarda daha çok olduğu görülmektedir.

4.3.1.3. Dikme Aralığının Etkisi

Dönme, açı değişimi ve çarpılma üzerinde dikme aralığının etkilerini incelemek üzere Tablo 4.35-4.36-4.37 oluşturulmuştur. Burada $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerdeki dönme, açı değişimi ve çarpılma miktarları, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=1m$ olan kirişlerin dönme, açı değişimi ve çarpılma miktarlarına bölünerek dikme aralığının etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.35 $\theta_{2/1} / \theta_{1/1}$ Oranları (Burulmada)

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)			Ortalama
		4	8	12	
Kayıcı	Var	1.208	1.125	1.109	1.147
	Yok	0.984	1.015	0.900	0.966
Sabit	Var	1.043	1.108	1.038	1.063
	Yok	0.804	0.917	0.941	0.887
Ankastre	Var	1.211	1.229	1.157	1.199
	Yok	0.800	0.931	0.983	0.905

Tablo 4.35 den dikme aralığının artışının dönmeyi iç diyagonal-li sistemlerde arttırdığı, iç diyagonalsiz sistemlerde ise azalttığı söylenebilir. Dönmedeki bu artış en çok ankastre sistemlerde, azal-mada en çok sabit sistemlerde görülmektedir. Burada bir ayrıcalık ola-rak iç diyagonalsiz kayıcı sistemlerde $L=8m$ için dönmenin az da olsa arttığı görülmektedir.

Dönmeler, dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerde, dikme aralığı $a=1m$ olan kirişlerdekinin ortalama olarak, iç diyagonal-li kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerde sırası ile 1.147; 1.063; 1.199 katı, iç diyagonalsizlerde ise aynı sıra ile 0.966; 0.887; 0.905 katı olmak-tadır.

Tablo 4.36 $\gamma_{2/1} / \gamma_{1/1}$ Oranları (Burulmada)

İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu	L (m)		
		4	8	12
Yok	Kayıcı	0.898	1.242	3.684
	Sabit	0.773	0.707	0.863
	Ankastre	0.582	0.931	0.983

İç diyagonal-li sistemlerde $\gamma \cong 0$ ve $\delta_y \cong 0$ olduğundan açı değişi-mi ve çarpılma üzerinde dikme aralığının etkisi yalnızca iç diyagonal-siz sistemlerde incelenmiştir.

Tablo 4.36 dan dikme aralığındaki artışın açı değişimini sabit ve ankastre sistemlerde azalttığı, kayıcı sistemlerde ise küçük açıklıklarda azalttığı, büyük açıklıklarda, açıklığın artışı ile birlikte arttırdığı söylenebilir.

Tablo 4.37 $\delta_{y2/1} / \delta_{y1/1}$ Oranları (İç Diyagonal Yok)

Yer	Mesnetlenme Durumu	L (m)		
		4	8	12
Mesnette Üst Köşelerde	Kayıcı	0.929	0.964	0.976
	Sabit	0.833	0.857	0.857

Tablo 4.37 den dikme aralığının artışı ile çarpılmanın azaldığı söylenebilir. Dikme aralığı artışının çarpılma üzerindeki bu olumlu etkisi açıklık küçüldükçe ve mesnetlerdeki bağ sayısı arttıkça artmaktadır.

4.3.1.4. Kesit Büyüklüğünün Etkisi

Dönme, açı değişimi ve çarpılma üzerinde kesit büyüklüğünün etkisini belirlemek üzere Tablo 4.38-4.39-4.40 oluşturulmuştur. Burada $b/h=2/2$ ve dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerdeki dönme, açı değişimi ve çarpılma değerleri, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerin dönme, açı değişimi ve çarpılma değerlerine oranlanarak kesit büyüklüğünün etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.38 $\theta_{2/2} / \theta_{2/1}$ Oranları (Burulmada)

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)			Ortalamalar
		4	8	12	
Kayıcı	Var	0.310	0.344	0.328	0.327
	Yok	0.230	0.233	0.228	0.230
Sabit	Var	0.313	0.341	0.352	0.335
	Yok	0.244	0.248	0.239	0.244
Ankastre	Var	0.283	0.279	0.288	0.283
	Yok	0.250	0.223	0.215	0.229

Tablo 4.38 den kesitin iki kat büyümesi sonucu, dönmelerin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Dönmeler, $b/h=2/2$ ve dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerde, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2m$ olan kirişlerdekini ortalama olarak, iç diyagonalli kayıcı, sabit ve ankastre sistemlerde sırası ile 0.327; 0.335; 0.283 katı, iç diyagonalsizlerde aynı sıra ile 0.230; 0.244; 0.229 katı olmaktadır. Buradan kesitin büyümesi ile dönmelerin iç diyagonalilere göre iç diyagonalsiz sistemlerde daha çok azaldığı söylenebilir. Kesitin büyümesi ile dönmelerdeki bu azalma en çok ankastre sistemlerde ondan sonra kayıcı sistemlerde en az sabit sistemlerde olmaktadır.

Tablo 4.39 $\gamma_{2/2} / \gamma_{2/1}$ Oranları (Burulmada)

İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu	L (m)		
		4	8	12
Yok	Kayıcı	0.217	0.220	0.094
	Sabit	0.206	0.309	0.226
	Ankastre	0.250	0.210	0.205

Tablo 4.40 $\delta_{y2/2} / \delta_{y2/1}$ Oranları (İç Diyagonal Yok)

Yer	Mesnetlenme Durumu	L (m)		
		4	8	12
Mesnette Üst Köşelerde	Kayıcı	0.692	0.815	0.854
	Sabit	0.600	0.833	0.944

İç diyagonalı sistemlerde $\gamma \cong 0$ ve $\delta_y \cong 0$ olduğundan açı değişimi ve çarpılma üzerinde kesitin büyümesinin etkisi yalnızca iç diyagonalsız sistemlerde incelenmiştir. Tablo 4.39 dan kesitin büyümesinin açı değişimini çok azalttığı söylenebilir. Tablo 4.40 dan kesitin büyümesinin çarpılmayı az miktarda da olsa azalttığı söylenebilir. Bu azalma küçük açıklıklarda daha çok olmaktadır.

4.3.2. Elastik-Plastik Analiz

Bölüm 3 de, ankastre sistemler için kirişin orta noktasındaki P kuvvet çiftlerinin arttırılması sonucu oluşan dönmelerin ve açı değişimlerinin hesaplanması ile göçme yüküne kadar tüm davranışını veren P- θ ve P- γ diyagramları çizilmiştir (Şekil 3.33-3.35).

Bu diyagramlar tipik olarak Şekil 4.4 deki diyagrama benzemektedir.

Aşağıda ankastre sistemlerde ilk akma yükünün servis yüküne, göçme yükünün servis yüküne ve ilk akma yüküne oranları verilmiştir. Benzer oranlar dönmeler için de hesaplanmıştır (Tablo 4.41).

Tablo 4.41 P ve θ Oranları, Ankastre, $b/h = 1/1$, $a = 1m$

Oranlar	İç Diyagonal	L (m)			Ortalama
		4	8	12	
P_1/P_s	Var	1.688	1.687	1.679	1.685
	Yok	1.625	1.682	1.679	1.662
P_u/P_s	Var	1.966	1.956	1.935	1.952
	Yok	1.643	1.705	1.679	1.676
P_u/P_1	Var	1.165	1.159	1.153	1.159
	Yok	1.011	1.014	1.000	1.008
θ_1/θ_s	Var	1.684	1.686	1.686	1.685
	Yok	1.675	1.675	1.676	1.675
θ_u/θ_s	Var	2.115	2.053	2.088	2.085
	Yok	1.701	1.707	1.676	1.695
θ_u/θ_1	Var	1.256	1.218	1.238	1.237
	Yok	1.015	1.019	1.000	1.011

Tablodan iç diyagonalı ankastre sistemlerde; ilk akmanın servis yükünün ortalama olarak 1.685, göçmenin ise 1.952 katında, buna karşılık iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde ise ilk akmanın ortalama olarak servis yükünün 1.662, göçmenin ise 1.676 katında olduğu görülmektedir. Buradan iç diyagonalin gerçek güvenliği (P_u/P_s) ($1.952/1.676=1.165$) %16.5 arttırdığı anlaşılır. İç diyagonalsiz kirişlerde ise göçmenin ilk akma yüküne çok yakın bir değerde meydana geldiği söylenebilir. ($P_u/P_1 = 1.008$).

Dönme yeteneği (θ_u/θ_1) ise iç diyagonalı kirişlerde 1.237, iç diyagonalsizler de ise 1.011 olmaktadır. Buradan iç diyagonalin dönme yeteneği ($1.237/1.011=1.224$) %22.4 arttırdığı, iç diyagonalsiz kirişlerin elastik sınırın ötesinde dönme yeteneklerinin hemen hemen bulunmadığı söylenebilir.

Gerçek güvenlik ve dönme yeteneği üzerinde dikme aralığının ve kesitin büyüklüğünün etkisini incelemek üzere Tablo 4.42 oluşturulmuştur.

Tablo 4.42 P ve θ Oranları, Ankastre , L = 8m

Oranlar	İç Diyagonal	a/h (m/m)			(...) ² /1	(...) ² /2
		1/1	2/1	2/2	(...) ¹ /1	(...) ² /1
P_1/P_s	Var	1.687	1.686	1.687	0.999	1.001
	Yok	1.682	1.680	1.684	0.999	1.002
P_u/P_s	Var	1.956	2.043	2.043	1.044	1.000
	Yok	1.705	1.680	1.693	0.985	1.008
P_u/P_1	Var	1.159	1.212	1.211	1.046	0.999
	Yok	1.014	1.000	1.005	0.986	1.005
θ_1/θ_s	Var	1.686	1.696	1.667	1.006	0.983
	Yok	1.675	1.686	1.667	1.007	0.989
θ_u/θ_s	Var	2.053	2.314	2.133	1.127	0.922
	Yok	1.707	1.687	1.677	0.988	0.994
θ_u/θ_1	Var	1.218	1.363	1.280	1.119	0.939
	Yok	1.019	1.001	1.006	0.982	1.006

Tablodan iç diyagonalı kirişlerde ilk akmayı oluşturan yükün dikme aralığının ve kesitin değişmesi ile pek değişmediği buna karşılık göçme yükünün ise dikme aralığının artışı ile %4.4 arttığı, kesitin büyümesi ile değişmediği görülmektedir. İç diyagonalsız kirişlerde ise ilk akmayı oluşturan yükün ve göçme yükünün hem dikme aralığının hem de kesitin büyümesi ile pek değişmediği söylenebilir.

Tablodan kirişlerin göçme yükünün ilk akmayı oluşturan yüke oranının (P_u/P_1), iç diyagonalı sistemlerde; dikme aralığının iki kat büyümesi ile %4.6 arttığı, kesitin büyümesi ile değişmediği, buna karşılık iç diyagonalsızlarda hem dikme aralığının hem de kesitin büyümesi ile pek değişmediği görülmektedir.

Dönme yeteneğinin (θ_u/θ_1) ise, yine iç diyagonalı kirişlerde dikme aralığının iki kat artışı ile %11.9 arttığı, kesitin iki kat büyümesi ile %6.1 azaldığı, buna karşılık iç diyagonalsızlarda pek değişmediği görülmektedir.

Buradan iç diyagonalı kirişlerde gerçek güvenliğin ve dönme yeteneğinin; dikme aralığının büyümesi ile arttığı, buna karşılık kesitin büyümesi ile gerçek güvenliğin değişmediği, dönme yeteneğinin

ise azaldığı söylenebilir. İç diyagonalsız kirişlerde ise adı geçen büyüklüklerde önemli bir değişiklik yoktur.

4.4. Uzak Kafes Kirişlerde Toplam Malzeme Miktarının Değişimi

Birinci bölümde belirtilen, servis yüklerine ve üç ayrı yükleme durumuna göre boyutlandırılan kare kesitli tübüler uzak kafes kirişlerin toplam malzeme miktarları Tablo 2.17 de verilmiştir. Bu değerlere göre çizilen malzeme miktarı-açıklık diyagramları da Şekil 2.36 da görülmektedir. Bu değerlerden en küçük kareler yöntemine göre geçirilen sürekli eğri denklemi için,

$$G = a \cdot L^b \quad (4.16)$$

bağıntısı uygun olmaktadır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9

Bu bağıntı ile birinci bölümde tanımlanan kare kesitli tübüler uzak kafes kirişler için geçerli olmak üzere toplam malzeme miktarları açıklığa bağlı olarak hesaplanabilir. İfadedeki a ve b katsayıları, kesitin büyüklüğüne, dikme aralığına, iç diyagonalin bulunup bulunmamasına ve mesnetlenme durumuna göre değişen katsayılardır (Tablo 4.43). İfadedeki L, m; G, cm³ cinsindedir.

Tablo 4.43 a ; b değerleri

b/h m/m	a m	İç Diyagonal	Mesnetlenme Durumu		
			Kayıcı	Sabit	Ankastre
1/1	1	Var	6791 ; 1.389	7169 ; 1.320	7479 ; 1.230
		Yok	5276 ; 1.463	5030 ; 1.426	5146 ; 1.344
	2	Var	6785 ; 1.378	5576 ; 1.450	5174 ; 1.390
		Yok	5699 ; 1.489	3853 ; 1.610	1978 ; 1.799
2/2	2	Var	14270 ; 1.116	9847 ; 1.270	9603 ; 1.249
		Yok	9466 ; 1.246	6913 ; 1.343	4038 ; 1.541

Toplam malzeme miktarları üzerinde, iç diyagonalin, mesnetlenme durumunun, dikme aralığının ve kesit büyüklüğünün etkileri aşağıdaki bölümlerde incelenmiştir.

4.4.1. İç Diyagonallerin Etkisi

Toplam malzeme miktarları üzerinde iç diyagonallerin etkisini incelemek üzere Tablo 4.44 oluşturulmuştur. Burada iç diyagonallerin bulunması ve bulunmaması durumlarına ait toplam malzeme miktarları birbirleri ile oranlanarak iç diyagonallerin etkisini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.44 $G_{iç d. var} / G_{iç d. yok}$

Mesnetlenme Durumu	b/h m/m	a m	L (m)			
			4	6	8	12
Kayıcı	1/1	1	1.164	1.137	1.085	1.081
		2	1.031	—	0.916	0.919
	2/2	2	1.261	—	1.145	1.095
Sabit	1/1	1	1.226	1.186	1.146	1.093
		2	1.173	—	1.008	0.992
	2/2	2	1.277	—	1.249	1.172
Ankastre	1/1	1	1.244	1.182	1.140	1.099
		2	1.526	—	1.042	0.994
	2/2	2	1.616	—	1.232	1.189

İç diyagonal sistemlerde, iç diyagonalsizlere göre başlıkların kesit alanları küçülmektedir. Bunun sonucu malzeme miktarının azalması beklenirken arttığı görülmektedir. Bu artış iç diyagonallerin kendi ağırlığından kaynaklanmaktadır.

Tablo 4.44 den, iç diyagonallerin bulunmasının toplam malzeme miktarını, dikme aralığının kesit yüksekliğine eşit olduğu durumlarda; küçük açıklıklarda daha fazla (%16-%26), büyük açıklıklarda ise daha az (%8-%19) arttırdığı söylenebilir. Bu artış en çok ankastre sistemlerde, en az da kayıcı sistemlerde olmuştur. Buna karşılık, dikme aralığı kesit yüksekliğinin iki katı olduğu durumlarda ise iç

diyagonalli kirişlerde malzeme miktarları iç diyagonalsizlere göre küçük açıklıklarda az miktarda artarken büyük açıklıklarda ise azalmıştır. Bu azalma en çok kayıcı sistemlerde görülmektedir. Sabit ve ankastre sistemlerde $a=2$ m ve $L=4$ m için başlıklarda enkesit minimum alındığından bunlar için oranlar aşırı büyük çıkmıştır.

4.4.2. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi

Toplam malzeme miktarları üzerinde mesnetlenme durumlarının etkisini incelemek üzere Tablo 4.45 oluşturulmuştur. Burada farklı mesnetlenme durumlarına (Şekil 1.4) ait toplam malzeme miktarları birbirleri ile oranlanarak mesnetlerdeki fazla bağlılığın etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4. 45 Mesnetlenme Durumlarının Etkisi

Oranlar	b/h m/m	a m	İç Diyagonal	L (m)			
				4	6	8	12
$G_{Sab.}/G_{Kay.}$	1/1	1	Var	0,952	0,941	0,919	0,884
			Yok	0,904	0,902	0,870	0,874
		2	Var	0,898	—	0,987	0,965
			Yok	0,790	—	0,897	0,894
	2/2	2	Var	0,838	—	1,003	0,979
			Yok	0,827	—	0,919	0,914
$G_{Ank.}/G_{Kay.}$	1/1	1	Var	0,882	0,879	0,793	0,739
			Yok	0,825	0,795	0,755	0,728
		2	Var	0,765	—	0,812	0,768
			Yok	0,517	—	0,718	0,710
	2/2	2	Var	0,796	—	0,931	0,910
			Yok	0,621	—	0,864	0,839
$G_{Ank.}/G_{Sab.}$	1/1	1	Var	0,926	0,879	0,863	0,837
			Yok	0,912	0,882	0,868	0,832
		2	Var	0,852	—	0,823	0,796
			Yok	0,655	—	0,801	0,795
	2/2	2	Var	0,950	—	0,928	0,930
			Yok	0,751	—	0,940	0,918

Örneğin; Tablo 4.45 satır 1 de, $b/h=1/1$, $a=1$ m ve iç diyagonalli kirişlerde, açıklığın $L=4; 6; 8; 12$ m değerleri için sabit sistemlerin toplam malzeme miktarları, kayıcı sistemlerin toplam malzeme miktarının sırasıyla 0.952; 0.941; 0.919; 0.884 katı olmaktadır.

Tabloda görüldüğü üzere mesnetlerdeki fazla bağılılığın toplam malzeme miktarı üzerindeki olumlu etkisi (azalma oranı), bağ sayısı arttıkça artmaktadır. Örneğin, $b/h=1/1$, $a=1$ m ve $L=12$ m için iç diyagonalli kirişlerde, kayıcı sistemlere göre, toplam malzeme miktarları; sabit sistemlerde 0.884 katı olurken, ankastre sistemlerde 0.739 katı olmaktadır. Buna karşılık bu olumlu etki, iç diyagonalin bulunması ve kesitin büyümesi ile azalmaktadır.

4.4.3. Dikme Aralığının Etkisi

Dikme aralığının iki kat artması sonucu çubuk sayısı azalmakta, buna karşılık çubuk boyları artmakta ve burkulma nedeniyle kesit alanları büyümektedir (özellikle yatay ve düşey diyagonallerde).

Toplam malzeme miktarları üzerinde dikme aralığının etkisini incelemek için Tablo 4.46 oluşturulmuştur. Burada $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerdeki toplam malzeme miktarları, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=1$ m olan kirişlerin toplam malzeme miktarlarına bölünerek dikme aralığının etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.46 $G_{2/1} / G_{1/1}$ Oranları

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)		
		4	8	12
Kayıcı	Var	0.980	0.961	0.975
	Yok	1.106	1.138	1.147
Sabit	Var	0.924*	1.032	1.064
	Yok	0.966*	1.173	1.173
Ankastre	Var	0.850*	0.984	1.013
	Yok	0.693*	1.082	1.120

* İşaretsiz değerler özel bir durum olması dolayısıyla değerlendirmeye katılmamıştır.

Örneğin; Tablo 4.46 satır 1 de, iç diyagonalli kayıcı sistemlerde, açıklığın $L=4; 8; 12$ m değerleri için, dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerin toplam malzeme miktarları, dikme aralığı $a=1$ m olan kirişlerin toplam malzeme miktarının sırasıyla 0.980; 0.961; 0.975 katı olmaktadır.

Dikme aralığının iki kat artması sonucu toplam malzeme miktarları; iç diyagonaliz sistemlerde, genel olarak %8-%17 artmıştır. Bu artış büyük açıklıklarda büyük oranda olmaktadır. Yine bu artış en çok sabit sistemlerde en az da ankastre sistemlerde olmaktadır. İç diyagonalizlerde ise toplam malzeme miktarları; sabit sistemlerde çok az (%3-%6) artmış, ankastre sistemlerde pek değişmemiş, kayıcı sistemlerde ise çok az miktarda (%2.5-%4) da azalmıştır.

4.4.4. Kesit Büyüklüğün Etkisi

Kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesi sonucu, başlıkların kesitleri küçülürken, dikmelerin, enlemelerin ve diyagonalin boyları arttığından burkulma sonucu bu çubuk gruplarında kesitler büyümüştür.

Toplam malzeme miktarları üzerinde kesit büyüklüğünün etkisini belirlemek üzere Tablo 4.47 oluşturulmuştur. Burada $b/h=2/2$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerdeki toplam malzeme miktarları, $b/h=1/1$ ve dikme aralığı $a=2$ m olan kirişlerin toplam malzeme miktarlarına oranlanarak kesit büyüklüğünün etkilerini belirleyen katsayılar elde edilmiştir.

Tablo 4.47 $G_{2/2} / G_{2/1}$ Oranları

Mesnetlenme Durumu	İç Diyagonal	L (m)		
		4	8	12
Kayıcı	Var	1,454	1.239	1.086
	Yok	1,189	0.992	0,912
Sabit	Var	1.356	1.259	1.101
	Yok	1.245	1.016	0.932
Ankastre	Var	1.513	1.420	1.287
	Yok	1.428	1.194	1.076

Kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesi sonucu, toplam malzeme miktarları iç diyagonal sistemlerde, genel olarak %9-%51 artmıştır. Bu artış küçük açıklıklarda fazla (%36-%51), büyük açıklıklarda ise az (%9-%29) olmuştur. Bu artışlar en çok ankastre sistemlerde en az da kayıcı sistemlerde görülmektedir.

İç diyagonalsız sistemlerde ise kesitin genişliğine ve yüksekliğine ikişer kat büyümesi sonucu, toplam malzeme miktarları, kayıcı ve sabit sistemlerde büyük açıklıklarda %7-%9 azalmakta buna karşılık küçük açıklıklarda ise iç diyagonal sistemlere göre daha az (%19-%25) artmaktadır. Ankastre sistemlerde ise yine iç diyagonal sistemlere göre daha az (%8-%43) artmaktadır. Bu artış küçük açıklıklarda çok (%43), büyük açıklıklarda ise az (%8) olmaktadır.



BÖLÜM 5 SONUÇLAR

5.1. Genel Bulgular

Orta noktalarından eğilme, eğilmeli burulma ve burulma oluşacak biçimde ayrı ayrı düşey yüklerle yüklenen, halka kesitli çubuklardan oluşan, kare biçimli tübüler uzay kafes kirişlerin yapılan elastik ve elastik-plastik analizinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Boyutlandırılmada; incelenen bütün sistemler için dikmelerde ve iç diyagonallerde burulma, enlemelerde eğilme yüklemesi etkin olurken, üst ve alt başlıklarda ve düşey diyagonallerde, iç diyagonalli sistemlerde eğilme, iç diyagonalsiz sistemlerde burulma, yatay diyagonallerde, iç diyagonalli sistemlerde burulma, iç diyagonalsizlerde ise eğilme yüklemesi etkin olmaktadır.

Bölüm 4 de eğilmede kiriş orta noktasındaki çökme, eğilmeli burulmada kiriş orta enkesitindeki çökme, dönme ve açı değişimi, burulmada da kiriş orta enkesitindeki dönme, açı değişimi ve çarpılma değerleri ile toplam malzeme miktarları için açıklığa bağlı bağıntılar verilmiştir. Buradaki bağıntılar çökmelerde, iç diyagonalsiz sistemlerdeki dönme ve açı değişimlerinde üstel, iç diyagonalli sistemlerdeki dönmeler ile iç diyagonalsiz sistemlerdeki çarpılmalarda lineer olmaktadır.

Elastik-plastik analizde; eğilmeli burulmada, yükün bulunduğu düğüm noktasında birleşen çubukların akmasıyla sistemde yerel göçme meydana gelirken, eğilme ve burulmada, akmaların tüm sisteme yayılarak göçme meydana geldiği gözlemlenmiştir.

5.2. İç Diyagonallerin Etkisi

Uzay kafes kirişlerin enkesitlerinde iç diyagonalin bulunması durumunda (iç diyagonalsizlere göre) alt ve üst başlıkların kesit alanları küçülmüştür. Bu nedenle eğilmede servis yükünde kiriş ortasında

meydana gelen çökmelerde %28'e varan artış olmaktadır. Bu artış özellikle dikme aralığının büyük olduğu durumlarda fazla olmaktadır. İç diyagonallerin, eğilmede ki bu olumsuz etkisine karşılık eğilmeli burulmada olumlu etkisi olmuş ve çökmelerde %42'ye varan azalma görülmüştür. Eğilmeli burulmada ve burulmada iç diyagonalin bulunması ile orta enkesitteki dönmelerde özellikle büyük açıklıklarda önemli ölçüde (eğilmeli burulmada %20-%86, burulmada %19-%88) azalma olmuştur. İç diyagonalin bulunması ile eğilmeli burulmada açı değişiminin, burulmada da açı değişimi ve çarpılmanın hemen hemen tamamen engellendiği söylenebilir. İç diyagonal sistemlerde, iç diyagonalsizlere göre alt ve üst başlıkların kesit alanları küçülmesi sonucu, malzeme miktarının azalması beklenirken arttığı görülmektedir. Bu artış iç diyagonallerin kendi ağırlığından kaynaklanmaktadır. Bu artış kesitin büyük olduğu durumlarda fazla olurken dikme aralığının kesit yüksekliğinden fazla olduğu durumlarda bir azalmaya dönüşmektedir.

Uzay kafes kirişlerin enkesitlerinde iç diyagonalin bulunması ile eğilmede, kirişin gerçek güvenliğinin %14, sünekliğinin %50, eğilmeli burulmada ise gerçek güvenliğinin %16, sünekliğinin %10, dönme yeteneğinin %13, burulmada, gerçek güvenliğinin %17, dönme yeteneğinin %22 arttığı görülmektedir. Buradan iç diyagonalin gerçek güvenlik, süneklik ve dönme yeteneği üzerinde olumlu etkisi olduğu söylenebilir. İç diyagonalsiz uzay kafes kirişlerin, ilk akma yüküne yakın bir yükte göçtüğü, sünekliğinin ve dönme yeteneklerinin bulunmadığı gözlemlenmektedir.

5.3. Mesnetlenme Durumlarının Etkisi

Uzay kafes kirişlerin mesnetlerindeki fazla bağıllılığın, eğilmede ve eğilmeli burulmada çökme üzerinden olumlu etkisi (azalma oranı) bağ sayısı arttıkça artmaktadır. Eğilmede ortalama olarak çökmeler; sabit sistemlerde, kayıcı sistemlere göre %31, ankastre sistemlerde ise kayıcı sistemlere göre %47 ve sabit sistemlere göre de %24 azalmaktadır. Eğilmeli burulmada ise ortalama olarak çökmeler; sabit sistemlerde, kayıcı sistemlere göre %27, ankastre sistemlerde ise kayıcı sistemlere göre %44, sabit sistemlere göre de %22 azalmaktadır. Buradan mesnetlerdeki fazla bağıllılığın çökme üzerindeki olumlu etkisinin eğilme yüklemesinde eğilmeli burulmaya göre daha çok olduğu söylenebilir.

Eğilmeli burulma ve burulmada, mesnetlerdeki fazla bağıllılığın dönme üzerinde de olumlu etkisi olduğu ve bu olumlu etkinin bağ sayısının artışı ile arttığı ve iç diyagonalilere göre iç diyagonalsiz sistemlerde daha fazla olduğu söylenebilir. Eğilmeli burulmada ortalama olarak dönmeler; sabit sistemlerde kayıcı sistemlere göre, iç diyagonalilerde %7, iç diyagonalsizlerde %25 azalmaktadır. Ankastre sistemlerde ise, kayıcı sistemlere göre iç diyagonalilerde %16, iç diyagonalsizlerde %42, sabit sistemlere göre de iç diyagonalilerde %9, iç diyagonalsizlerde %21 azalmaktadır. Burulmada ise ortalama olarak dönmeler:, sabit sistemlerde kayıcı sistemlere göre, iç diyagonalilerde %10, iç diyagonalsizlerde %27 azalmaktadır. Ankastre sistemlerde ise kayıcı sistemlere göre iç diyagonalin bulunması ve bulunmaması durumuna göre sırasıyla %15 ve %43, sabit sistemlere göre de aynı sıra ile %6 ve %22 azalmaktadır.

Eğilmeli burulma ve burulmada iç diyagonalsiz sistemlerde mesnetlerdeki yatay hareketin engellenmesinin açı değişimini; dikme aralığının kesit yüksekliğine eşit olduğu durumlarda özellikle büyük açıklıklarda arttırdığı, buna karşılık dikme aralığının kesit yüksekliğinin iki katı olduğu durumlarda ise azalttığı gözlemlenmektedir. Mesnetlerdeki yatay hareketin engellendiği durumlarda bağ sayısındaki artışın ise açı değişimini azalttığı söylenebilir.

Ayrıca mesnetlerdeki fazla bağıllılığın eğilmede gerçek güvenliği ve sünekliği de arttırdığı görülmektedir. Gerçek güvenlik kayıcı sistemlerde 1.727 iken sabit sistemlerde 1.750, ankastre sistemlerde 1.920 olmaktadır. Süneklik (δ_u/δ_1) ise, kayıcı sistemlerde 1.302 iken sabit sistemlerde 1.372 ankastre sistemlerde de 1.531 olmaktadır.

Mesnetlerdeki fazla bağıllılığın toplam malzeme miktarı üzerinde de olumlu etkisi olmaktadır. Mesnetlerdeki bağ sayısı arttıkça malzeme miktarında %48'e varan azalma olmaktadır. Mesnetlerdeki fazla bağıllılığın malzeme miktarı üzerindeki olumlu etkisi iç diyagonalin bulunması ve kesitin büyümesi ile azalmaktadır.

5.4. Dikme Aralığının Etkisi

Uzay kafes kirişlerde dikme aralığının artışı ile eğilmede ve eğilmeli burulmada (iç diyagonalı kayıcı sistemler hariç) genellikle çökmelerde %23'e varan azalmalar görülmektedir. Bu azalmalar kısa açıklıklarda daha çok olmaktadır. Eğilmeli burulma ve burulmada dönmeler dikme aralığının artışı ile iç diyagonalı sistemlerde genellikle artarken, iç diyagonalsiz sistemlerde de genellikle azalmaktadır. Bu azalma kısa açıklıklarda daha çok olmaktadır. Buradan dikme aralığının artışının iç diyagonalı sistemlerde dönme üzerinde olumsuz etkisi olduğu söylenebilir. Yine eğilmeli burulma ve burulmada dikme aralığının artışı ile açı değişimi sabit ve ankastre sistemlerde azalırken kayıcı sistemlerde özellikle büyük açıklıklarda artmaktadır. Azalma kısa açıklıklarda, artış da büyük açıklıklarda fazla olmaktadır. Dikme aralığının artışı ile burulmada çarpılma da azalmakta ve bu azalma açıklık küçüldükçe ve bağ sayısı arttıkça daha fazla olmaktadır.

Dikme aralığının iki kat artması sonucu eğilmede kirişin gerçek güvenliğinin (P_u/P_s) iç diyagonalı kayıcı ve sabit sistemler ile iç diyagonalsiz ankastre sistemlerde pek değişmediği, iç diyagonalı ankastre sistemlerde ise %4 arttığı, buna karşılık sünekliğin ise iç diyagonalı sistemlerde %7-14 azaldığı görülmektedir. Eğilmeli burulmada ise dikme aralığının iki kat artması sonucu kirişin gerçek güvenliğinin pek değişmediği, buna karşılık sünekliğin iç diyagonalı sistemlerde %10 arttığı görülmektedir. Buradan dikme aralığının artışının süneklik üzerinde eğilmede olumsuz, eğilmeli burulmada olumlu etkisi olduğu söylenebilir. Dikme aralığının artışı ile dönme yeteneklerinin eğilmeli burulmada %11, burulmada %12 arttığı görülmektedir. Buradan dikme aralığının artışının dönme yeteneğini arttırdığı söylenebilir.

Dikme aralığının iki kat artışı ile malzeme miktarları da iç diyagonalı kayıcı sistemler hariç diğer sistemlerde %1-%15 artmakta ve bu artış iç diyagonalsiz sistemlerde büyük değerlerde olmaktadır.

5.5. Kesit Büyüklüğünün Etkisi

Uzay kafes kirişlerde kesitin büyümesi ile eğilme ve eğilmeli burulmada çökmeler genellikle yarıdan çok (%64-49) azalmakta ve bu azalma en çok kısa açıklarda, iç diyagonalsizlerde ve ankastre sistemlerde olmaktadır. Kesitin büyümesi ile eğilmeli burulma ve burulmada dönmeler %67-%79 azalmakta ve bu azalma en çok iç diyagonalsiz sistemlerde ve ankastre sistemlerde olmaktadır. Açık değişimleri ise iç diyagonalsiz sistemlerde %66-%91 azalmakta ve bu azalma en çok kayıcı sistemlerde görülmektedir.

Kesitin büyümesi ile, eğilmeye kirişin gerçek güvenliği (P_u/P_s) iç diyagonalli kirişlerde, kayıcı sistemlerde %3, sabit sistemlerde %2 artarken ankastre sistemlerde ise %3 azalmakta, süneklikte iç diyagonalli kirişlerde, kayıcı sistemlerde %17, sabit sistemlerde %19 artarken, ankastre sistemlerde %6 azalmaktadır. Buradan kesitin büyümesinin gerçek güvenliği pek değiştirmedığı, sünekliği ise kayıcı ve sabit sistemlerde önemli ölçüde arttırdığı, ankastre sistemlerde az miktarda azalttığı söylenebilir.

Kesitin büyümesi ile eğilmeli burulmada ve burulmada gerçek güvenliğin değişmediği, iç diyagonalli sistemlerde eğilmeli burulmada sünekliğin %11 dönme yeteneğinin %9 burulmada da dönme yeteneğinin %6 azaldığı görülmektedir.

5.6. Karşılaştırmalar

Uzay kafes kirişler için dolu gövdeli kiriş varsayımıyla eğilmeye mukavemetine benzer şekilde bir çökme bağıntısı önerilmiştir. Çökme bağıntısındaki katsayı mukavemette sabit iken uzay kafes kirişler için açıklığa bağlı olarak bir değişken olmaktadır.

Kesiti $b/h=2/2$ olan ankastre sistemler hariç incelenen diğer bütün uzay kafes kirişlerin eğilmeye gerçek taşıma güçleri, basit plastik teori ve dolu gövdeli kiriş varsayımıyla hesaplanan taşıma güçlerinden daha fazla olmaktadır. Uzay kafes kirişlerin gerçek taşıma güçlerinde basit plastik teoriye göre sabit sistemlerde %73-%198, ankastre sistemlerde %23-%65, kayıcı sistemlerde de %12-%141 artış

görülmektedir. Bu artışlar kısa açıklıklarda ve dikme aralığı büyük olan sistemlerde büyük değerlerde olmaktadır.

İç diyagonalı uzay kafes kirişlerin servis yüklerinde, aynı boyutlara haiz düzlem kafes kirişlere göre, eğilmede %68'e eğilmeli burulmada da %86'ya varan artış gözlemlenmiştir. Uzay kafes kirişlerde bu servis yüklerinden oluşan çökmelerde düzlem sistemlere göre eğilmede %35'e varan artış görülürken eğilmeli burulmada %39'a varan azalma görülmektedir. Ancak eğilmede çökmelerdeki artışın servis yükündeki artıştan daha az olduğu görülmektedir. Uzay kafes kirişlerin düzlem sistemlere göre yararı, dikme aralığının artışı ve kesitin büyümesi ile artarken açıklığın artması ile azalmıştır. Eğilmeli burulmada uzay kafes kirişlerin çökmesinin, iç diyagonallerin bulunması ile yükün bir kısmını yüksüz kenardaki çubukların karşılaması sonucu, genellikle önemli ölçüde azaldığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- | 1 | ARDA, T.S. ve UZGIDER, E., "Çelik Yapılarda Taşıma Gücü", İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, (1986).
- | 2 | AVENT, R.R., ISSA, R.R.A., "Beam Element Stiffness Matrix For X-Braced Truss", ASCE, Journal of the Structural Division, Vol. 108, No.10, pp: 2192-2209, October (1982).
- | 3 | BABALIOĞLU, A., "Kafhes" isimli bilgisayar programı, kullanma kılavuzu, özel notlar ve yapılan özel görüşme.
- | 4 | ÇAKIROĞLU, A., ÜZDEN, E. ve ÜZMEN, G., "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları", Cilt I, Dizerkonca Matbaası, İstanbul, (1970).
- | 5 | ÇAKIROĞLU, A., ÜZDEN, E. ve ÜZMEN, G., "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları", Cilt II, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, (1974).
- | 6 | ÇETMELİ, E., "Çubuk Sistemler, Plaklar ve Kabukların Hesabı İçin Tablolar", Pimaş Plastik İnşaat Malzemeleri A.Ş. Yayınları, İstanbul (1972).
- | 7 | DURFEE, R.H., "Design of a Triangular Cross-Section Bridge Truss", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 113, No. 12, pp. 2399-2414, December (1987).
- | 8 | GIMSING, N.J., "Cable Supported Bridges", John Wiley and Sons Press, New York, (1983).
- | 9 | HAROUN, N.M., SHEPHERD, R., "Inelastic Behavior of X-Bracing In Plane Frames", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 112, No. 4, pp. 764-780, April (1986).
- | 10 | İNAN, M., "Cisimlerin Mukavemeti", Ofset Matbaacılık Ltd. Şti., İstanbul, (1973).
- | 11 | ISSA, R.R.A. and AVENT, R.R., "Superelement Stiffness Matrix For Space Trusses", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 110, No. 5, pp. 1163-1179, May, (1984).
- | 12 | KIRGIZ, G.S., "Düzlem ve Uzak Kafes Sistemlerinde Statik Analiz, Optimizasyon ve Çizim Tekniği", Yüksek Lisans Tezi, Mühendislik Bilimleri Bölümü, ODTÜ, Şubat 1988, 221 sayfa.
- | 13 | KIRSCH, U., "Effect of Compatibility and Prestressing on Optimized Trusses", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 115, No. 3, pp. 724-737, March (1989).

- [14] KR PAN, P. and COLLINS, M.P., "Testing Thin-Walled Open RC Structures Intorsion", ASCE, Journal of the Structural Division, Vol. 107, No. ST6, pp. 1129-1140, June, (1981).
- [15] McCALLEN, D.B., ROMSTAD, K.M., "A Continuum Model for the Non-linear Analysis of Beam-Like Lattice Structures", Computers and Structures, Vol. 29, No. 2, pp. 177-197, (1988).
- [16] MEGSON, T.H.G., "Linear Analysis of Thin-Walled Elastic Structures", Surrey University Press, Great Britain, (1974).
- [17] MIURA, K. and FURUYA, H., "Adaptive Structure Concept For Future Space Applications", AIAA Journal, Vol. 26, No. 8, pp. 995-1002 August, (1988).
- [18] NOOR, A.K., PETERS, J.M., "Instability Analysis of Space Trusses", Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering, Vol. 40, pp. 199-218, North-Holland, (1983).
- [19] ONODA, J., "Two-Dimensional Deployable Truss Structures for Space Applications", J. Spacecraft, Vol. 25, No. 2, pp. 109-116 March-April, (1988).
- [20] REINHOLD, T.A., TIELEMAN, H.W., MAHER, F.J., "Wake Study of Stiffening Truss and Box Girder", ASCE, Journal of the Structural Division, Vol. 102, No. 9, pp. 1643-1657, September (1976).
- [21] RENTON, J.D., "The Beam-Like Behavior of Space Trusses", AIAA Journal, Vol. 22, No. 2, pp. 273-279, February (1984).
- [22] SCHMIDT, L.C. and HANAOR, A., "Force Limiting Devices In Space Trusses", ASCE, Journal of the Structural Division, Vol. 105, No. ST5, pp. 939-951 May, (1979).
- [23] SHEU, C.Y., SCHMIT, L.A., "Minimum Weight Design of Elastic Redundant Trusses Under Multiple Static Loading Conditions", AIAA Journal, Vol. 10, No. 2, pp. 155-162, February (1972).
- [24] SMITH, E.M., "Alternate Path Analysis of Space Trusses for Progressive Collopse", ASCE, Journal of Structural Engineering, Vol. 114, No. ST9, pp. 1978-1999, September, (1988).
- [25] TROITSKY, M.S., "Cable-Stayed Bridges", Crosby Lockwood staples Press, London, (1977).

B E Y A N

Tezi hazırlarken kaynaklarda belirtilenlerden başka araç kullanmadığımı ve tek başıma hazırlamış olduğumu beyan ederim.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Hüseyin Kasap
 Doğum Yeri ve Tarihi : Samsun, 1958
 Medeni Durumu : Evli
 Askerlik Görevi : Mart 1983-Haziran 1983
 (4 ay kısa dönem, avcı er eğt. tb. Tokat)
 Adresi : (İş) İTÖ Sakarya Müh. Fakültesi
 İnş.Müh.Böl. Ozanlar-Adapazarı
 Tel : 9-261-434 70 (4 hat)/76
 (Ev) Türbe cad. Birlik Sitesi A1 Blok
 D.1, Erenler-Adapazarı
 Tel : 9-261-581 08

Yaptığı Görevler

- Aralık 1979-Şubat 1982 : Müteahhit firmalarda, toplu konut ve fabrika inşaatlarında şantiye şefliği, proje mühendisliği (Adapazarı-Akyazı-Dokurcun)
 - Şubat 1982 : İTÖ Sakarya Mühendislik Fakültesi İnş. Müh. Böl. Yapı Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya devam etmekteyim.

Öğrenimi Mezuniyet Yılı

İlkokul 1969
 Ortaokul 1972
 Lise 1975

Lisans 1979

Y.Lisans 1982

Mezun olduğu yer

Akköy İlkokulu, Akköy-Denizli
 Mimar Sinan Ortaokulu, Edirne
 Naci Gökçe Lisesi, Matematik Kolu, Ağrı
 Sakarya D.M.M.A. İnş. Böl. Adapazarı
 Sakarya D.M.M.A. İnş. Böl. Yapı Dalı, Adapazarı