

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

112660

ÇEŞİTLİ GEOMETRİLERDEKİ BETONARME DÜZLEM TAŞIYICI
SİSTEMLERİN EKONOMİK BAKIMDAN ANALİZİ

MUSTAFA SARIDEMİR

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DENEYİM KURULU


112659

YÜKSEK LİSANS TEZİ
DANIŞMAN: Prof. Dr. Zarife HANMEHMETOVA

Haziran 2001

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Zariife HANMEHMEDOVA (Danışman, Niğde Üniversitesi) 

Üye : Doç. Dr. Fahri U. ÖZBAYOĞLU (Niğde Üniversitesi) 

Üye : Yrd. Doç. Dr. Adnan KARADUMAN (Selçuk Üniversitesi) 

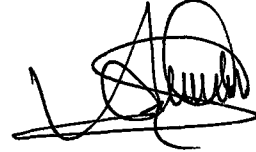
ONAY :

Bu tez, 22/6/2001 tarihinde, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun kararıyla kabul edilmiştir.

27/6/2001

Doç. Dr. Aydın TOPÇU

Enstitü Müdürü



ÖZET

ÇEŞİTLİ GEOMETRİLERDEKİ BETONARME DÜZLEM TAŞIYICI SİSTEMLERİN EKONOMİK BAKIMDAN ANALİZİ

SARIDEMİR, Mustafa

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Zarife HANMEHMETOVA

Haziran 2001,173 sayfa

Bu çalışmada, öngerilmeli betonarme "I" kesitli çatı makası, paralel başlıklı betonarme kafes kiriş ve 2. derece parabol üç mafsallı betonarme kemer kiriş Visual Basic'te hazırlanan bilgisayar programlarında, çeşitli açıklıklarda çözümlenerek ağırlıklarına ve ekonomikliklerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlara göre, 18-30 m arası açıklıklarda öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişlerin, diğer ikisine göre daha hafif ve ekonomik olduğu; 20 m'den büyük açıklıklarda ise, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişlerin, öngerilmeli betonarme "I" kesitli çatı makasına göre daha hafif ve ekonomik olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 30 m'den büyük açıklıklarda öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişlerin, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişlere göre daha hafif ve ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Öngerilmeli Betonarme. I Kesitli Çatı Makası. Paralel Başlık Kafes Kiriş. 2. Derece Parabol Üç Mafsallı Kemer Kiriş. Visual Basic. Ağırlık. Ekonomiklik.

SUMMARY

ECONOMIC ANALYSIS OF CONCRETE PLANE BEARING SYSTEMS WITH VARIOUS GEOMETRIES

SARIDEMİR, Mustafa

Niğde University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Zarife HANMEHMETOVA

June 2001. 173 pages

In this study, three of which are an “I-beam” pre-tensioned trussed girder, a pre-stressed concrete lattice truss with parallel flange and a 2nd order parabola three-hinged concrete lattice arch, were resolved through different spans with the assistance of a computer program written in Visual Basic, and then a number of comparisons have been made in accordance with the weights and economies of those three systems. According to the results received from the comparisons; for the spans between 18 and 30 meter, the pre-stressed concrete lattice truss with parallel flange is lighter and more economical than the rest of two, but for the extents greater than 20 meter, the 2nd order parabola three-hinged concrete lattice arch is lighter and more economical than the “I-beam” pre-tensioned trussed girder. On the other hand, it is finally obtained that for the lengths longer than 30 meter the 2nd order parabola three-hinged concrete lattice arch is lighter and more economical than the pre-stressed concrete lattice truss with parallel flange.

Key Words: Pre-tensioned concrete. “I-beam” trussed girder. Lattice truss with parallel flange. 2nd order parabola three-hinged concrete lattice arch. Visual Basic. Weight. Economy.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, danıőmanlıęını üstlenerek gerek konu seçiminde gerekse çalıőmalarımın yürütülmesi sırasında katkılarını ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Zarife HANMEHMETOVA'ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca çalıőmalarım sırasında katkıları olan herkese teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGE VE KISALTMALAR.....	xiii
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ.....	1
BÖLÜM 2. MATERYAL VE METOT.....	3
BÖLÜM 3. BETONARME DÜZLEM TAŞIYICI ÇATI SİSTEMLER HAKKINDA	
GENEL BİLGİLER.....	4
3.1. Betonarme Dolu gövdeli Kirişler.....	4
3.1.1. Dolu gövdeli kirişlerle oluşturulan yapı sistemler.....	4
3.1.2. Taşıyıcı sistemi oluşturan başlıca elemanların tanıtımı.....	7
3.1.3. Dolu gövdeli, önyapım betonarme kirişler.....	7
3.1.3.1. Paralel başlıklı dolu gövdeli kirişler.....	7
3.1.3.2. Üst başlığı eğimli olan dolu gövdeli kirişler.....	10
3.1.3.3. Alt başlığı eğimli yapılan kirişler.....	11
3.1.3.4. Diğer kiriş çeşitleri.....	11
3.2. Betonarme Kafes Kirişler.....	11
3.2.1. Genel bilgiler.....	11
3.2.1.1. Betonarme kafes kirişlerin olumlu tarafları şöyle sıralanabilir.....	11
3.2.1.2. Betonarme kafes kirişlerin sakıncaları.....	12
3.2.2. Betonarme kafes kiriş çeşitleri.....	12
3.2.2.1. Paralel başlıklı kafes kirişler.....	13
3.2.2.2. Üçgen kafes kirişler.....	14

3.2.2.3. Trapez biçimindeki kafes kirişler.....	15
3.3. Betonarme Kemer Kirişler.....	15
3.3.1. Kemer kirişli sistemler.....	15
3.3.2. Ankastre kolonlara oturan kemer kirişler.....	16
3.3.3. Kemer kirişlerin doğrudan temellere veya istinat duvarlarına oturtulması suretiyle kurulan sistemler.....	17
3.3.4. Kemer kirişlerin en kesitleri.....	17
3.3.5. Kemer kiriş gergi bağlantısı.....	17
3.4. Ülkemizde Kullanılan Betonarme Düzlem Taşıyıcı Çatı Sistemler.....	18
BÖLÜM 4. ÖNGERİLMELİ BETONARME DÜZLEM TAŞIYICI ÇATI SİSTEMLERİN KLASİK HESAP ESASLARI.....	19
4.1. Öngerilmeli Betonarme Dolu Gövdeli Kirişler (Çatı Makası).....	19
4.2. Öngerilmeli Betonarme Kafes Kirişler.....	21
4.3. Öngerilmeli Betonarme Kemer Kirişler.....	24
BÖLÜM 5. VISUAL BASIC İLE GÖRSEL PROGRAMLAMANIN DÜZLEM TAŞIYICI SİSTEMLERE UYGULANMASI.....	26
5.1. Visual Basic İle Öngerilmeli Betonarme “I” Kesitli Yamuk Kiriş Hesabı.....	26
5.2. Visual Basic İle Betonarme Paralel Başlıklı Kafes Kiriş Hesabı.....	33
5.3. Visual Basic İle Betonarme 2. Derece Parabol Üç Mafsallı Kemer Kiriş Hesabı.....	102
BÖLÜM 6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	125
6.1. “I” Kesitli Çatı Makası İle Paralel Başlıklı Kafes Kirişin Karşılaştırılması.....	125
6.2. “I” Kesitli Yamuk Kiriş, Paralel Başlıklı Kafes Kiriş ve 2. Derece Parabol Üç Mafsallı Kemer Kirişin Karşılaştırılması.....	128
6.3. Paralel Başlıklı Kafes Kiriş İle 2. Derece Parabol Üç Mafsallı Kemer Kirişin Karşılaştırılması.....	131
6.4. 2. Derece Parabol Üç Mafsallı, Öngerilmeli Betonarme Kemer Kiriş İle Öngerilmesiz Betonarme Kemer Kirişin Karşılaştırılması.....	135
BÖLÜM 7. SONUÇLAR.....	140
KAYNAKLAR.....	141
EK-A. Betonarme “I” kesitli yamuk kirişlerin bilgisayar programında	

hesaplanması için akış diyagramı.....	143
EK-B. Betonarme paralel başlıklı kafes kirişlerin bilgisayar programında hesaplanması için akış diyagramı.....	147
EK-C. Betonarme kemer kirişlerin bilgisayar programında hesaplanması için akış diyagramı.....	161



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1. 18 ve 24 m açıklıkta öngerilmeli betonarme "I" kesitli yamuk kirişin toplam ağırlıklarının hesaplanması.....	126
Çizelge 6.2. 18 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığının hesaplanması.....	127
Çizelge 6.3. 24 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığının hesaplanması.....	130
Çizelge 6.4. 24 m açıklıklı öngerilmeli betonarme 2. derece parabol kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı.....	132
Çizelge 6.5. 30 m açıklıklı öngerilmeli betonarme 2. derece parabol kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı.....	132
Çizelge 6.6. 30 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığının hesaplanması.....	133
Çizelge 6.7. 36 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığının hesaplanması.....	136
Çizelge 6.8. 36 m açıklıklı öngerilmeli betonarme 2. derece parabol kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı.....	138
Çizelge 6.9. 36 m açıklıklı öngerilmesiz betonarme 2. derece parabol kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı.....	138

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Dolu gövdeli taşıyıcı kiriş çeşitleri.....	8
Şekil 3.2. Paralel başlıklı kafes kiriş.....	8
Şekil 3.3. Ana taşıyıcı kiriş kesitleri.....	9
Şekil 3.4. Betonarme kafes kiriş çeşitleri.....	13
Şekil 3.5. Paralel başlıklı kafes kiriş tipleri.....	14
Şekil 3.6. Kafes kirişlere bazı örnekler.....	15
Şekil 3.7. “T” kolonlara oturan iki veya üç mafsallı kemer sistemler.....	16
Şekil 4.1. “T” ve “T” kirişlerde donatı durumu.....	20
Şekil 4.2. Öngerilmeli kafes kirişler.....	22
Şekil 4.3. Kemer ve kemer kesitleri.....	25
Şekil 5.1. 18 m açıklıklı çatı makası.....	27
Şekil 5.2. 18 m açıklıklı çatı makası kesiti.....	28
Şekil 5.3. 24 m açıklıklı çatı makası.....	30
Şekil 5.4. 24 m açıklıklı çatı makası kesiti.....	31
Şekil 5.5. 18 m açıklıklı kafes kiriş.....	34
Şekil 5.6. 18 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti.....	38
Şekil 5.7. 18 m açıklıklı öngerilmemiş O4 çubuğu kesiti.....	39
Şekil 5.8. 18 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti.....	40
Şekil 5.9. 18 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti.....	41
Şekil 5.10. 18 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti.....	42
Şekil 5.11. 18 m açıklıklı öngerilmemiş D4 çubuğu kesiti.....	43
Şekil 5.12. 18 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti.....	44
Şekil 5.14. 18 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti.....	45
Şekil 5.13. 18 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti.....	46
Şekil 5.15. 18 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti.....	47
Şekil 5.16. 18 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti.....	49
Şekil 5.17. 24 m açıklıklı kafes kiriş.....	51
Şekil 5.18. 24 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti.....	55
Şekil 5.19. 24 m açıklıklı öngerilmemiş O4 çubuğu kesiti.....	56

Şekil 5.20. 24 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti.....	57
Şekil 5.21. 24 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti.....	58
Şekil 5.22. 24 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti.....	59
Şekil 5.23. 24 m açıklıklı öngerilmemiş D4 çubuğu kesiti.....	60
Şekil 5.24. 24 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti.....	61
Şekil 5.25. 24 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti.....	62
Şekil 5.26. 24 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti.....	63
Şekil 5.27. 24 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti.....	64
Şekil 5.28. 24 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti.....	66
Şekil 5.29. 30 m açıklıklı kafes giriş.....	68
Şekil 5.30. 30 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti.....	72
Şekil 5.31. 30 m açıklıklı öngerilmemiş O4 çubuğu kesiti.....	73
Şekil 5.32. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti.....	74
Şekil 5.33. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti.....	75
Şekil 5.34. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti.....	76
Şekil 5.35. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D4 çubuğu kesiti.....	77
Şekil 5.36. 30 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti.....	78
Şekil 5.37. 30 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti.....	79
Şekil 5.38. 30 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti.....	80
Şekil 5.39. 30 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti.....	81
Şekil 5.40. 30 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti.....	83
Şekil 5.41. 36 m açıklıklı kafes giriş.....	85
Şekil 5.42. 36 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti.....	89
Şekil 5.43. 36 m açıklıklı öngerilmemiş O4 çubuğu kesiti.....	90
Şekil 5.44. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti.....	91
Şekil 5.45. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti.....	92
Şekil 5.46. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti.....	93
Şekil 5.47. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D4 çubuğu kesiti.....	94
Şekil 5.48. 36 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti.....	95
Şekil 5.49. 36 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti.....	96
Şekil 5.50. 36 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti.....	97
Şekil 5.51. 36 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti.....	98
Şekil 5.52. 36 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti.....	100
Şekil 5.53.24 m açıklıklı kemer giriş.....	103

Şekil 5.54. 24 m açıklıklı tam kar yüklü kemer kiriş.....	104
Şekil 5.55. 24 m açıklıklı yarım kar yüklü kemer kiriş.....	106
Şekil 5.56. 24 m açıklıklı kemer kiriş kesiti.....	107
Şekil 5.57. 24 m açıklıklı öngerilmeli gergi kesiti.....	108
Şekil 5.58.30 m açıklıklı kemer kiriş.....	110
Şekil 5.59. 30 m açıklıklı tam kar yüklü kemer kiriş.....	111
Şekil 5.60. 30 m açıklıklı yarım kar yüklü kemer kiriş.....	113
Şekil 5.61. 30 m açıklıklı kemer kiriş kesiti.....	114
Şekil 5.62. 30 m açıklıklı öngerilmeli gergi kesiti.....	115
Şekil 5.63.36 m açıklıklı kemer kiriş.....	117
Şekil 5.64. 36 m açıklıklı tam kar yüklü kemer kiriş.....	118
Şekil 5.65. 36 m açıklıklı yarım kar yüklü kemer kiriş.....	120
Şekil 5.66. 36 m açıklıklı kemer kiriş kesiti.....	121
Şekil 5.67. 36 m açıklıklı öngerilmeli gergi kesiti.....	122
Şekil 5.68. 36 m açıklıklı öngerilmesiz gergi kesiti.....	124
Şekil 6.1. 18 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, “T” kesitli yamuk kiriş ile paralel başlıklı kafes kirişin karşılaştırılması.....	128
Şekil 6.2. 24 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, “T” kesitli yamuk kiriş, paralel başlıklı kafes kiriş ve 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması.....	129
Şekil 6.3. 30 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, paralel başlıklı kafes kiriş ile 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması.....	134
Şekil 6.4. 36 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, paralel başlıklı kafes kiriş ile 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması.....	135
Şekil 6.5. 36 m açıklıklı 2. derece parabol üç mafsallı, öngerilmeli betonarme kemer kiriş ile öngerilmesiz betonarme kemer kirişin karşılaştırılması.....	137

SİMGE VE KISALTMALAR

A_o	Gerekli beton alanı
A_b	Hesaplanan beton alanı veya "I" kesitin beton alanı
A_{cc}	Beton basınç bölgesinin alanı
A_{ret}	Dönüştürülmüş kesit alanı
A_s	Hesaplanan donatı alanı veya normal donatı alanı
A_{sp}	Öngerilmeli donatı alanı
A_{st}	Gerekli donatı alanı
a	Kafes kirişte iki düğüm noktası arası uzaklık. Beton eşdeğer dikdörtgen basınç bölgesi derinliği
a_{cr}	Çatlama genişliği
a_{crc}	Maksimum çatlama genişliği
a_w	Çubuk uzunluğu
B	İki çatı kirişi arası uzaklık
b_o	Kemer kirişin kesit genişliği
b_1	"I" kesitin alt başlık genişliği
b_2	"I" kesitin üst başlık genişliği
b_w	Beton kesitin genişliği veya "I" kesitin gövde genişliği
c	Tarafsız eksen derinliği
D	Kafes dirsek çubuğu
d	Yükseklik. Mesnetten x uzaklığındaki kirişin enkesit yüksekliği ile öngerilme donatılarının ağırlık merkezi arasındaki uzaklıktır.
d_1	Yükseklik
$d_1...d_4$	Öngerilme donatılarının alt noktaya uzaklığı
d_2, d_3	Pas payı
E_b	Betonun elastisite modülü
E_s	Çeliğin elastisite modülü
E_{sc}	28 günlük betonun elastisite modülü
e_a	Rast gele dış merkezlik
e_o	Eksenel kuvvetin dış merkezliği

e_{op}	Mesnetten x uzaklığındaki kirişin en kesit yüksekliğinin yarısı ile öngerme donatılarının ağırlık merkezi arasındaki fark
F	Kuvvet
F_{12}	Kısa süreli tam kar yükünden oluşan hesap kuvveti
F_{13}	Uzun süreli tam kar yükünden oluşan hesap kuvvet
F_b	Öz ağırlıktan dolayı hesap yükü
F_{b1}	Süreli yükten oluşan hesap kuvveti
F_{b2}	Kısa süreli kar yükünden oluşan hesap kuvveti
F_{b3}	Uzun süreli kar yükünden oluşan hesap kuvveti
F_c	Betondaki basınç kuvveti bileşkesi
F_n	Öz ağırlıktan dolayı karakteristik yük
F_{n1}	Süreli yükten oluşan karakteristik kuvvet
F_{n2}	Kısa süreli kar yükünden oluşan karakteristik kuvvet
F_{n3}	Uzun süreli kar yükünden oluşan karakteristik kuvvet
F_{n12}	Kısa süreli tam kar yükünden oluşan karakteristik kuvvet
F_{n13}	Uzun süreli tam kar yükünden oluşan karakteristik kuvvet
F_s	Hesap yükü. Plağa uygulanan ve belirli alana yayılmış olan yük
f	Kemer yüksekliği
$f_{cd} (R_b)$	Hesapta kullanılacak beton basınç dayanımı
$f_{ctd} (R_{btd})$	Hesapta kullanılacak beton çekme dayanımı
$f_{ctk} (R_{btk})$	Betonun çekme dayanımı
f_{pd}	Öngerme donatısı hesap kopma dayanımı
f'_{pd}	Öngerme donatısı için azaltılmış hesap dayanımı
$f_{yd} (R_{sd}, R_{cs})$	Hesapta kullanılacak çelik akma dayanımı
G	Toplam karakteristik yük
G_{ϕ}	1 m ² alana gelen çatı öz ağırlığı
$G_{\phi s}$	Makasın öz ağırlığı
G_d	Dişli döşeme ağırlığı
$g_{\phi s}$	Çatı öz ağırlığı
H	Yatay mesnet reaksiyonu
H_o	Yamuk kirişin açıklık ortasındaki yüksekliği
h	Kafes kirişin yüksekliği, yükseklik, faydalı Yükseklik
h_1	"I" kesitli kemerin yüksekliği veya öngerme donatısının ağırlık merkezi
h_{ox}	Kesitin faydalı yüksekliği

h_a	“T” kesitin gövde uzunluğu
h_m	Yamuk kirişin mesnetteki yüksekliği
h_x	Mesnetten x uzaklığındaki kiriş kesitinin yüksekliği
I_o, I	Beton kesitin atalet momenti
I_s	Donatının ve beton kesitinin ağırlık merkezine göre atalet momenti
\dot{I}	Atalet yarı çapı
l	İki mesnet arasındaki uzaklık
l_o	Eleman hesap boyu
l_1	Çubuk uzunluğu
M	Moment
M_1	Elastik mukavemet momentinden meydana gelen moment
M_2	Elastoplastik mukavemet momentinden meydana gelen moment
M_{crc}	Çatlamamanın oluşmasına neden olan eğilme momenti
M_m	m kesitindeki eğilme momenti
M_r	Kesitin taşıma gücü momenti
M_{max1}	Hesap momenti
$\max M_x$	Maksimum eğilme momenti
N_{crc}	Kritik kuvvet. Çatlama olduğu anda kesit tarafından taşınan kuvvet
N_{kr}	Betonu çatlatacak yük
N_m	m kesitindeki normal kuvvet
$\max N_d$	TS 500’e göre maksimum kesme kuvveti
O	Kafes üst başlık çubuğu
P	Toplam hesap yükü. Sıkıştırma kuvveti
P_1	Gerilen ve gerilmeyen donatıdaki bileşke kuvvet
P_φ	Çatı öz ağırlığı hesap yükü
P_d	Kemer kirişe etkiyen yüklerin toplamı. Kirişin tüm açıklığına etki eden yüklerin toplamı
P_{d1}	Dişli döşeme hesap yükü
P_{kar1}	Kısa süreli kar hesap yükü
P_{ku}	Uzun süreli kar hesap yükü
p_{kk}	Kısa süreli kar yükü
p_{ku}	Uzun süreli kar yükü
R	Donatı halatı çapı
R_A, R_B	Düşey mesnet reaksiyonu

R_{tp}	Betonun aktarma dayanımı
R_s	Donatı çeliğinin hesap dayanımı
$R_{s,ser}$	II. sınır durumuna göre donatı çeliğinin hesap dayanımı
r	Dönüştürülmüş kesitin ağırlık merkezinden üst çekirdek noktasına olan uzaklık
S	Kemer uzunluğu
T_m	m kesitinin kesme kuvveti
$t...t_3$	Uzunluk
U	Kafesin alt başlık çubuğu
V	Kafesin düşey çubuğu
y	Uzunluk. "I" kesitinin t_1 ve t_2 uzunluğunun ağırlık merkezine uzaklığı
y_m	Uzunluk
y_t	Betonun basınç bölgesi ağırlık merkezinin uzunluğu
x	Uzunluk. Beton basınç bölgesinin yüksekliği
x_p	"I" kesitin yüksekliğinin yarısı
x_R	Basınç bölgesinin ekonomik uzunluğu
x_t	Betonun basınç bölgesinin ağırlık merkezi ile "I" kesitin t_1 ve t_2 uzunluğunun ağırlık merkezi arasındaki uzaklık
W_{pl}	Betonarme kesitin kenar lifleri için elastoplastik mukavemet momenti
W_{ret}	Elastik mukavemet momenti
α	Modüler oran. Açığı
α_1	Yüksek dayanımlı donatı halatı için modüler oran
α_2	Donatı çeliği için modüler oran
α_6	Betonun sıkışmasından dolayı oluşan kat sayısı
$\alpha_{9,ısı}$	Isı işlemine tabii tutulan betonlar için kat sayısı
β	Moment büyütme kat sayısı. Betonun sıkışmasından oluşan kat sayısı
γ_f	Yüke göre güvenlik kat sayısı
γ_i	İş şartları kat sayısı
γ_n	Yapının önem kat sayısı
γ_{s6}	Yüksek dayanımlı donatı halatı için iş şartları kat sayısı
$\Delta\gamma_{sp}$	Donatıdaki öngerilmenin maksimum sapması
Δ_1	Sehim
Δ_t	Donatı ve ankraj kamalarının sıcaklıkları arasındaki fark

δ	Çekme elemanları için kat sayısı
δ_e	Değişkenlik kat sayısı
δ_{emin}	Minimum değişkenlik kat sayısı
ϵ_{cu}	Beton basınç bölgesindeki maksimum birim kırılma
ϵ_{sy}	Donatı çeliğinin f_{yd} gerilmesine ulaştığı andaki birim boy değişimi
η	Nevrürlü donatı çubukları için kat sayısı
μ	Donatı oranı
ρ	Öngerilme donatı yüzdesi
$\sigma_1 \dots \sigma_{11}$	Öngerilme kayıpları
σ_{bp}	Öngerilmeli betonda sıkıştırma gerilmesi
σ_{los}	Öngerilme kayıplarının toplamı
σ_{los1}	Birincil öngerilme kayıpları
σ_{los2}	İkincil öngerilme kayıpları
σ_s	Öngerilmesiz donatıdaki gerilme
σ_{sn}	Kenarda bulunan donatı çubuklarındaki gerilme
σ_{sp}	Çekme donatısındaki öngerilme
ψ	Betonun çekme bölgesindeki elastik olmayan deformasyonları dikkate alan kat sayısı
ψ_t	Beton türüne, yük karakterine ve etkisine bağlı kat sayısı
ϕ_i	Kemer kirişin yatayla yaptığı açı
ϕ_1	Uzun süreli eğimin elemanın dayanımına etkisini dikkate alan kat sayısı
ξ	Beton basınç bölgesinin nisbi yüksekliği
ξ_R	Beton basınç bölgesinin sınır değeri
$>$	Büyük
$<$	Küçük

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE LİTERATÜR ÖZETİ

Ülkemizde 1999 yılında Marmara’da yaşanan deprem felaketi, inşaat yapılarının kalite ve güvenliğinin önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Bu bağlamda, yapıyı oluşturan malzemelerin kalitesinin artırılması, betonarme yapı teknolojisinin geliştirilmesi, yani depreme dayanıklı yapıların oluşturulması, prefabrikasyonun yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi acilen alınması gereken tedbirlerdir.

Betonarme taşıyıcı çatı sistemlerin daha önceden fabrika ve atölyelerde dökülmesinin getireceği avantajlar vardır. Bu avantajlar uygulama, kalıp, iskele malzemesi ve işçilikten tasarruftur. Geleneksel yapımda 3-5 kere kullanılan kalıpların yerini 50-60 kere kullanılan kalıplar alır. Önyapımda kullanılan kalıplar sayesinde seri üretimin yanı sıra, kaliteli ve kontrollü bir imalat sağlanır. Taşıyıcı çatı sisteme en uygun kesitlerin verilmesi suretiyle beton tasarrufu ve ölü yükün azalması sonucunda çelik tasarrufu sağlanır. Ayrıca öngerme olanaklarının kullanılması, beton ve çelik masrafını daha da azaltır ve en ince kesitlere imkan sağlar. Öngerilme uygulanması suretiyle, betonda oluşabilecek çatlaklarda önlenir. Montaj zamanına kadar betonun rötresinin tamamlanmış olması nedeniyle, rötreden doğacak deformasyonlar önlenmiş olur.

Bu bağlamda endüstrileşmenin bir sonucu olarak, sanayi yapılarının ihtiyaca cevap verecek ve güvenilir bir şekilde projelendirilmesi güncel bir problemdir. Ülkemizde sanayi binalarını oluşturan taşıyıcı çatı sistemleri olarak en çok ağır yapı elemanları olan dolu gövdeli betonarme kirişler kullanılmaktadır. Bilindiği gibi, dolu gövdeli betonarme kirişlerin kullanılması yalnız 18 m’ye kadar mümkündür. Nadir durumlarda bu kiriş açıklıkları 24 m’ye kadar çıkabilir. Ülkemizde daha büyük açıklıkları geçmek için çelik çatı elemanları kullanılmaktadır. Bu da ekonomik olmayan yapıların elde edilmesine neden olmaktadır.

Ülkemiz için yeni olan öngerilmeli betonarme taşıyıcı çatı sistemlerin sanayi yapılarında kullanılması, ekonomik açıdan değerlendirilmesi araştırmamızın amacıdır. Araştırmamızda çeşitli açıklıklarda, öngerilmeli betonarme “I” kesitli çatı makası, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ve öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş yapılan akış diyagramlarına göre Visual Basic’te hazırlanmış olan bilgisayar

programlarında çözülmüştür. Bu çözümlerde çatı sistemlerinin ekonomik şekilde boyutlandırılması ve donatı hesabı bulunmaktadır. Bu sistemler beton ağırlıklarına, çelik ağırlıklarına ve toplam yapı ağırlıklarına göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş ile öngerilmemiş betonarme 2. derece parabol kemer kiriş aynı şekilde karşılaştırılmıştır.

Bu karşılaştırmalar yapılırken, taşıyıcı sistemlerin açıklıkları (ℓ), iki kiriş arası uzaklık (B), beton (C 35) ve çelik için (S 420) mekanik karakterler, yüksek dayanımlı donatı halatı dayanımları eşit alınmıştır. Ayrıca taşıyıcı sistemlere etkiyen hareketli ve sabit yükler eşit alınmıştır.

Amaç, öngerilme sayesinde daha hafif, daha kaliteli ve daha ucuz bir taşıyıcı çatı sistemi üretimini gerçekleştirmektir. Bu amaca erişmek için taşıyıcı çatı sisteminin yapılmasında endüstriyel teknik ve yöntemlerin kullanımı gerekecektir. Bu çalışmada öngerilmelinin taşıyıcı çatı sistemlere getirdiği avantajlar açıkça ortaya çıkacaktır.

Literatür özeti: Hanmehmetova Z. 1999 kitabında, öngerilmeli çatı makası, öngerilmeli betonarme kafes kirişler ve öngerilmeli betonarme kemerlerin hesaplanması için kullanılan formülleri ve öngerilme kayıplarının hesaplanmasını detaylı bir şekilde anlatmıştır.

Hanmehmetova Z. 2000 kitabında, öngerilmeli çatı makası, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ve öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemerleri çeşitli açıklıklarda çözmüştür.

Hanmehmetova Z, Sarıdemir M. hazır beton dergisi yayınında 24 m açıklıkta ve iki kiriş arası 12 m olan öngerilmeli betonarme "I" kesitli çatı makası ile öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişi ekonomikliklerine ve ağırlıklarına göre karşılaştırmışlardır.

Ayaydın Y. kitabında, çatı makasları, kafes kirişler ve kemerler hakkında şekiller ile birlikte geniş bilgi vermiştir. Bu bilgilerde çeşitli açıklıklarda hangi sistemin sakıncalı, hangi sistemin daha uygun olduğu anlatılmıştır.

Özden K., Eren İ., Öztürk T. kitabında, öngerilmeli kirişlerin hesaplarını örnekleri ile birlikte geniş bir şekilde açıklamışlardır.

Özden K., Eren İ, Trupia Antonio L., Öztürk T., kitabında, öngerilmeli çatı kirişlerinin hesaplanması ile ilgili geniş bilgi vermişlerdir. Bu bilgilerin yanında çeşitli açıklıklarda çatı kirişlerini öngerilmeli ve art gerilmeli olarak çözmüşlerdir.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada; öngerilmeli betonarme “I” kesitli çatı makası, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş, 2. derece parabol üç mafsallı betonarme kemer kiriş çözümü için Hanmehmetova Z., 1999 ve Hanmehmetova Z., 2000’deki formüller ve çözümlerden yararlanılmıştır. Bu formül ve çözümlerden Ek-A, Ek-B ve Ek-C’deki akış diyagramları yapılmıştır. Bu akış diyagramlarına göre Visual Basic de bilgisayar programları hazırlanmıştır.

Öngerilmeli betonarme “I” kesitli çatı makası, Visual Basic de hazırlanmış bilgisayar programında 18 ve 24 m açıklıklarda çözülmüştür. Çözümlerin diğer iki çatı sistemi ile karşılaştırılmasının yapılabilmesi için, iki kiriş arası, beton ve çelik için hesap dayanımları, yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları aynı alınmıştır.

Öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş, Visual Basic de hazırlanmış bilgisayar programında 18, 24, 30 ve 36 m açıklıklarda çözülmüştür. Bu çözümlerin diğer taşıyıcı sistemler ile karşılaştırılabilmesi için, iki kiriş arası, beton ve çelik için hesap dayanımları, yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları aynı alınmıştır.

Öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş, Visual Basic’te hazırlanmış bilgisayar programında 24 ve 30 m açıklıklarda öngerilmeli, 36 m açıklıkta ise öngerilmeli ve öngerilmesiz olarak çözülmüştür. Bu çözümlerin diğer taşıyıcı sistemler ile karşılaştırılabilmesi için, iki kiriş arası, beton ve çelik için hesap dayanımları, yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları aynı alınmıştır.

Öngerilmeli betonarme “I” kesitli çatı makası, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ve betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş yukarıda bahsedilen açıklıklarda çözümlenerek beton kesit alanı ve donatı kesit alanları hesaplanmıştır. Çizelge 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9’da görüldüğü gibi, bu sistemlerin donatı ağırlıkları, beton ağırlıkları ve toplam yapı ağırlıkları bulunmuştur. Bu çizelgelerden yararlanılarak aynı açıklıktaki sistemlerin şekilleri beton ağırlıklarına, donatı ağırlıklarına ve toplam yapı ağırlıklarına göre oluşturulmuştur. Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 ve çizelgelerde görüldüğü gibi hangi açıklıkta hangi sistemin daha ekonomik ve hafif olduğu açıkça görülmektedir.

BÖLÜM 3

BETONARME DÜZLEM TAŞIYICI ÇATI SİSTEMLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

3.1. Betonarme Dolu Gövdeli Kirişler

3.1.1. Dolu gövdeli kirişlerle oluşturulan yapı sistemleri

Dolu gövdeli kirişlerle kurulabilen sistemleri, mafsallı bağlantılı sistemler ve rijit bağlantılı sistemler olarak iki guruba ayırabiliriz.

Mafsallı bağlantılı sistemler, ankastre kolonlara oturan sabit mafsallı kirişlerle kurulan sistemler, prefabrikasyona en uygun sistemdir. Çabuk ve kolay montaj ve işçilik; kısa yapım süresi nedeniyle diğer sistemlere tercih edilir. Buna karşın: Pahalı temeller ve iyi bir zemin gerektirir. Ankastrelik momentinin zemine aktarılması, eşit olmayan oturumlar meydana getirebilir. Ankastrelikten dolayı kolon kesitleri artar (Ayaydın, 1989).

Buna karşılık rijit bağlantılı sistemlerde, 10 m'den fazla yükseklikler, büyük yatay kuvvetler, (vinç, deprem gibi) olduğu zaman, bağlantıların bu kuvvetlere göre tahkiki, hatta model deneylerinin yapılması gerekir. Aksi halde, bağlantılar, geleneksel konstrüksiyonlarda olduğu gibi, rijit yapılarak, düşey ve yatay taşıyıcıların birlikte bir çerçeve şeklinde çalışması sağlanır. Düğüm noktalarının rijit olarak teşkili, yapım ve kontrol güçlükleri getirir ve montaj süresini uzatır. Ama, büyük yatay kuvvetler olduğunda, iskelet elemanlarındaki donatı tasarrufu, montaj işçiliğini karşılar (Ayaydın, 1989).

Mafsallı bağlantılı ve rijit bağlantılı sistemlerde, 15 m açıklığa kadar, betonarme, dolu gövdeli kirişler; 12-25 m'lik açıklıklarda, daha çok önerilmeli dolu gövdeli kirişler kullanılır. Kiriş uzunlukları için 25 m'lik uzunluk sınırları, ülkenin trafik şartları izin verdiği takdirde, 30 m'ye çıkabilir. Dolu gövdeli kirişlerin üst başlığına % 10-12 'ye kadar eğim verilebilir (Hanmehmetova, 1999 ve Ayaydın, 1989).

Dolu gövdeli kirişlerle kurulabilen iskelet sistemlerde, yapının tek veya birden fazla gözlü olması önemli bir fark getirmemektedir. Düz çatılı yapılarda, paralel başlıklı ana kirişlerin, temellere ankastre olan kolonlara oturtulması, en basit çözümü getirir.

Burada kirişlerin her biri, serbest oturan münferit kiriş şeklinde hesaplanabilir. Orta kolon

üzerindeki kiriş-kiriş bağlantısı rijit yapıldığı takdirde, kirişler mütemadi kiriş olarak kabul edilebilir.

Çatı yüzeyi: Aşıklar + küçük boy çatı plakları veya, doğrudan ana kirişlere oturtulan hafif beton, betonarme, öngerilmeli veya profilli metal döşeme elemanları ile teşkil edilebilir. Çatı örtüsü, geleneksel az eğimli çatılarda olduğu gibi, su yalıtımı ve gerekli görülecek ısı yalıtımı, buhar kesici, buhar dengeleyici ve koruyucu tabakalardan oluşturulur (Ayaydın, 1989).

Aşıklı uygulamalarda, kolon aralıkları 5 - 8 m arasında tutulur. Genellikle, 6 m'lik aşık uzunlukları tercih edilmektedir. 8 - 10 m'den daha büyük kiriş aralıklarında, ince kesitli aşıklar deformasyona uğrayacağından, aşık kesitini artırmak, öngerme vermek veya, kafes kiriş şeklindeki aşıkları uygulama zorunluluğu doğmakta; bu da sistemin maliyetini artırmaktadır (Hanmehmetova, 1999 ve Ayaydın, 1989).

Düz çatılı sistem, üretim, montaj ve işçilikte kolaylık ve sürat sağlaması bakımından, özellikle ABD'deki endüstri binalarında çok uygulanmaktadır. Avrupa ülkelerinde ise, son zamanlara kadar, eğimli çatılı ve tabii ışıklandırma sağlayabilen çözümler tercih edilmekte idi (Ayaydın, 1989).

Dolu gövdeli düz kirişin, 25 – 40 m arasındaki büyük açıklıklarda, klima kanalı görevini de yüklenecek şekilde keson kesitli yapılması ve sonradan art çekmeli öngerme yöntemi ile birleştirilmesi mümkündür.

Düz kirişin, farklı yükseklikteki kolonlara oturtulması ile, eğimli bir çatı yüzeyi kurulabilir. Bu, basit bir çözüm olmasına karşın, açıklık büyüdükçe, çatı sularının toplanması ve aktarılması zorlaşacaktır.

Yatay derelerde toplanan ve her bir veya iki kolonda bir iniş boruları ile akıtılan çatıdaki yağmur sularının, yatay derelere kadar katettikleri yol uzunluğu 20 m'yi geçtiği takdirde, gerek su yalıtım tabakasında, gerekse yatay derelerde ve iniş borularının ağzında, çözümü güç sorunlar doğmaktadır.

Benzer sorunlar üst başlıkları tek eğimli olan kirişlerle kurulan sistemlerde de ortaya çıkmaktadır. Burada kolon boyutlarının değişmemesine karşın, kirişin ağırlığı artmakta ve montajı güçleşmektedir.

Üst başlıkları iki tarafa eğimli olan kirişlerle kurulan sistemlerde, çatı sularının toplanması daha kolay olduğundan ve kiriş biçiminin kuvvet dağılımına uygunluğu nedeniyle, bu tür yapılar çok yaygın bir uygulama alanı bulabilmiştir. Betonarme veya öngerilmeli

yapılabilen çatı kirişleri, bir çok ülkede “T” veya “I” kesitli olarak tipleştirilmiştir. Bu tür kirişlere “Çatı Makası” da denilmektedir. Bu sistemlerde, çatı yüzeyi ve örtüsü, aynen düz paralel başlıklı kirişlerle kurulan yapılardaki gibi teşkil edilebilir (Ayaydın, 1989).

Kirişin üst başlık eğimi % 2 - % 10 arasında olduğu zaman, çatı örtüsü olarak, çeşitli su yalıtım pestilleri, gerekiyorsa, ısı yalıtım tabakası ile birlikte uygulanabilir. Bu durumda çatı yüzeyi, aşıklara oturan küçük çatı plakları veya, doğrudan kirişlere oturan hafif beton, betonarme ve bu gibi çatı plakları ile oluşturulmuştur (Hanmehmetova, 1999 ve Ayaydın, 1989).

% 6'dan büyük ve eşit eğimlerde, bazı madeni örtüler söz konusu olabilir. % 10'dan büyük ve eşit eğimlerde ise, dalga veya trapez profilli çatı kaplama plakları kullanılabilir. Bu rijit plaklar, ya ısı tecridi yapan hafif beton çatı plaklarının, ya da doğrudan aşıkların üzerine uygulanabilir.

Aşıklı çözümde, gerekiyorsa, ayrı bir tavan kaplaması yapılarak, aşık aralarına ısı tecrit malzemesi yerleştirilebilir. Doğrudan çatı kaplaması taşıyan aşıkların aralıkları, kaplamanın boyut ve özelliğine bağlı olarak, 1,15 – 1,45 m veya 2 m tutulabilir (Ayaydın, 1989).

Kiriş üst başlığının eğimi, mümkün olduğu kadar az yapılır; aksi halde büyük açıklıklarda, kiriş fazla yüksek ve ağır olur.

Kirişi hafifletmek veya tesisat borularının geçirilmesini kolaylaştırmak amacı ile, kiriş gövdesinde, yuvarlak veya oval delikler bırakılabilir. Ancak, deliklerin büyük ve sık olması, kalıp ve donatı işçiliğini olduğu kadar, kiriş hesabını da güçleştirir.

Kiriş üst başlığının eğimli yapılması, tamamen bir statik gereksinimin sonucu olabilir. Bu durumda çatı yüzeyini oluşturan elemanların, kirişlerin üst başlıkları üzerinde tertibi ile, düz bir çatı yüzeyi elde edilebilir.

Taşıyıcı kirişleri gerber kirişi şeklinde düzenlemek; böylece, daha kısa kirişlerle büyük açıklıklar geçmek mümkündür. Ortadaki kiriş bölümlerinin çıkmalı kirişlerle bağlantısı, statik verilere göre, bulonlama, kaynaklama veya art çekmeli öngerme yöntemleri uygulanarak yapılabilir.

Ara kirişlerin “T” biçimindeki kolonlara oturtulması şeklindeki çözüm, kiriş boylarının kısa tutulmasını sağladığı gibi, aynı noktada, ikiden fazla elemanın birleşimini önler. Ancak, “T” kolonlar kalıp ve nakliye sorunu getirdiğinden, bunların çok defa yapı yerinde dökülmesi yoluna gidilir.

Kolon başlıklarının ayrı dökülmesi, fabrika imalatını mümkün kılmakta; ancak bu sefer de başlık kolon bağlantısını çözümlenmek kulfetli olmakta, kaynaklama art çekmeli öngerme, öngerme bulonları ile birleştirme gibi yöntemlere başvurulmaktadır (Ayaydın, 1989).

3.1.2. Taşıyıcı sistemi oluşturan başlıca elemanların tanıtımı

Dolu gövdeli ana taşıyıcı kirişlerle kurulmuş olan bir iskelet sistemin başlıca bileşenleri, ana taşıyıcı kirişler, tali kirişler (bağ kirişi, oluk, vinç kirişi, aşık vb.), kolonlar çatı plaklarıdır.

3.1.3. Dolu gövdeli, önyapım betonarme kirişler

Önyapım yöntemleri sayesinde, bu elemanlar, statik gereksinmelere cevap veren en ince kesit ve en uygun profillerde yapılabilmektedir. Ancak, karmaşık profiller için hazırlanan kalıbın rantabl olabilmesi için, üretilen serinin yeterli büyüklükte olması gerekir. Tipleştirme, bu imkanı sağlamaktadır. Özel olarak dizaynlanan elemanlar için her defasında maliyet ve rantabilite hesaplarının yapılması gerekir.

Kirişlerin kesit ve biçimini etkileyen faktörler:

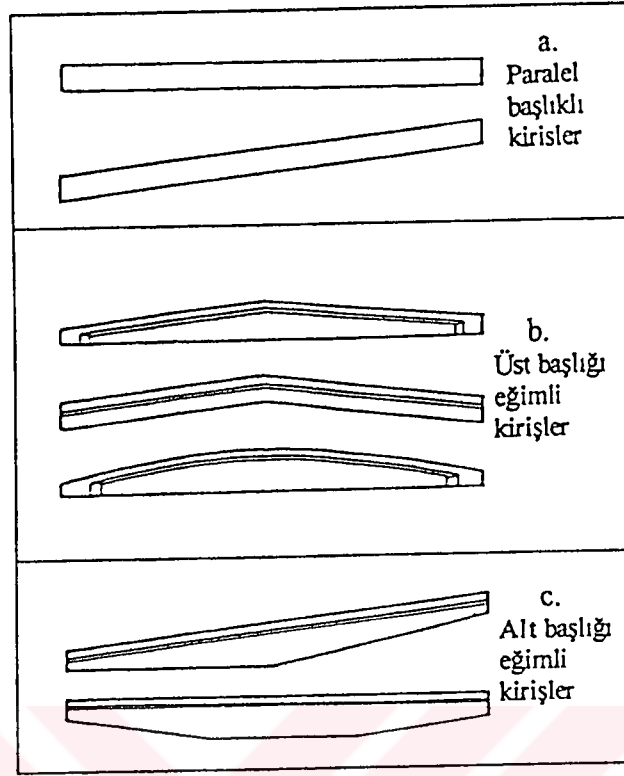
- 1- Seçilen statik sistem,
- 2- Geçilecek açıklıklar,
- 3- Öngerme yapma gereği,
- 4- Üretim yeri ve metodu,
- 5- Kalıp ve işçilik imkanları,
- 6- Üretilen serinin büyüklüğü,
- 7- Yapılması gereken tesisat bağlantıları,
- 8- Kiriş üzerine oturtulan aşıklar, çatı plakları veya şed kirişleri,
- 9- Ana kirişe ayrıca oluk, vinç kirişi, klima kanalı gibi bazı ek görevler yüklenip yüklenmeyeceği gibi hususlardır (Ayaydın, 1989).

Dolu gövdeli taşıyıcı kirişler biçimleri yönünden:

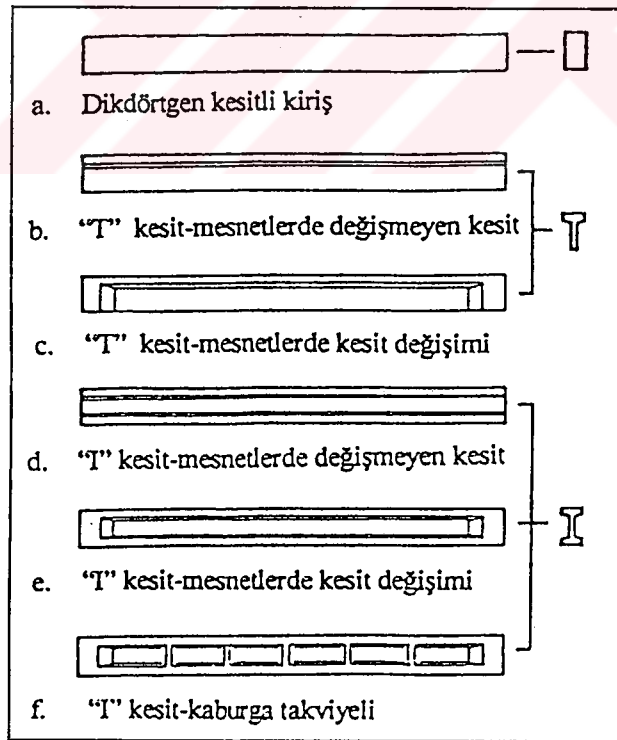
- a- Paralel başlıklı kirişler,
- b- Üst başlığı eğimli kirişler,
- c- Alt başlığı eğimli kirişler olarak gruplandırılabilir (Şekil 3.1) (Ayaydın, 1989).

3.1.3.1. Paralel başlıklı dolu gövdeli kirişler

Bu kirişlerin, kolon başlarına düz veya eğimli oturtulabilen tipleri vardır (Şekil 3.1 a). 12 m hatta 15 m'lik açıklıklar için normal donatı yapılabilir. Daha büyük açıklıklarda (24 m hatta bazı ülkelerde 30 m'ye kadar), kirişin çok ince kesitlerde yapımını sağlayan ve



Şekil 3.1. Dolu gövdeli taşıyıcı kiriş çeşitleri



Şekil 3.2. Paralel başlıklı kiriş çeşitleri

böylece hafiflik ve büyük malzeme tasarrufu getiren öngerme metodu kullanılır. Paralel başlıklı kirişlerin biçim ve kesitleri Şekil 3.2’de verilmiştir (Ayaydın, 1989).

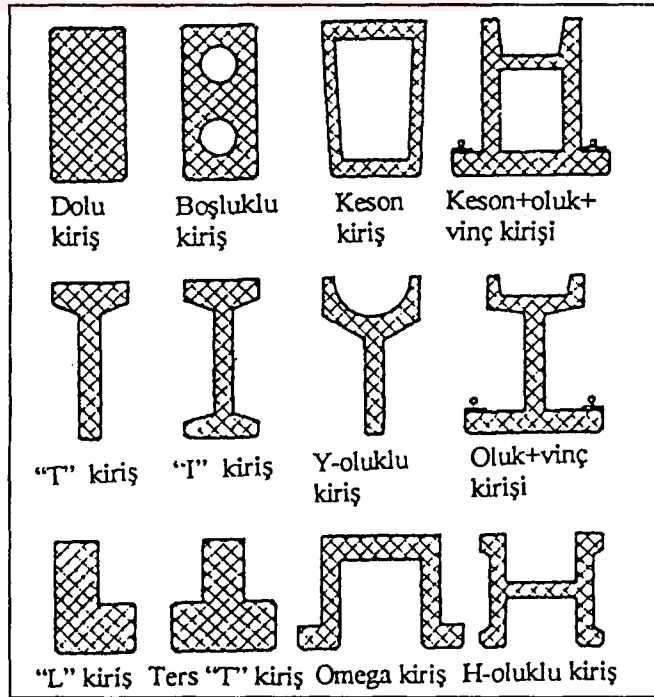
Normal donatılı betonarme kirişler daha çok dikdörtgen kesitli yapılar (Şekil 3.2 a). İçi boşluklu (silindirik boşluklu veya keson – kutu) kirişler, daha hafif olmakla beraber yapımları külfetlidir.

Fabrika üretimine en uygun kirişler, “T” ve “I” kesitli olanlarıdır (Şekil 3.2). Malzemenin en ekonomik şekilde kullanıldığı bu kesitler, genellikle inşaatta, kalıp, donatı ve sıkıştırma güçlüklerinden dolayı yapılamamaktadır (Özden, Eren, Trupia, Öztürk, 1998).

“T” kesitli kirişte etriye donatısı, kalıp ve imalatı, “I” kirişinkinden daha kolay olup, bu kirişin kalıbı, çok az değişikliklerle farklı boyutlarda eleman üretimine imkan verir. Buna karşın “T” kesiti, ön çekmeli öngerme için çok uygun bir kesit değildir. Çünkü bu durumda, kirişin alt kısmında, ince kesitin karşılayamayacağı basınç kuvvetleri oluşabilir.

Bundan dolayı, şayet ön çekmeli öngerme uygulanacaksa, kirişin gövdesi aşağıya doğru kalınlaştırılır. Aksi halde, kiriş, öngerme kablolarının yön değişimine imkan veren “art çekmeli öngerme” metodu ile imal edilir (Ayaydın, 1989).

İnce kesitli yüksek kirişlerde kaldırma ve montaj sırasında doğabilecek burulma kuvvetlerine karşı veya aşık, şed kirişi gibi elemanların getirdiği noktasal yüklere karşı



Şekil 3.3. Ana taşıyıcı kiriş kesitleri

kiriş gövdesinde, belirli aralıklarla yanal kaburgalar düzenlenebilir (Şekil 3.2 f). Bu tip kirişlerin kalıbı daha pahalıya mal olur (Hanmehmetova, 1999).

Yukarıda sözü geçen ve büyük bir uygulama alanı bulmuş olan bu kesitlerin dışında, önyapım betonarme veya öngerilmeli kiriş kesitleri büyük bir çeşitlilik göstermektedir (Şekil 3.3).

“L”, ters “T” ve kolon başlarına oturtulan “Omega” kesitli kirişler büyük boy çatı plaklarının tespitini kolaylaştırmak amacı ile geliştirilmiştir. Kirişe, taşıma görevi dışında bazı ek görevler de yüklenebilir. Genellikle, dikdörtgen, “T”, “I”, “L” ve ters “T” kirişleri en çok uygulanan ve tipleştirilmeye uygun kirişlerdir. Diğer kiriş kesitleri pahalı kalıp ve işçilikten dolayı, daha çok özel uygulamalarda ve özel şartlar sonucu geliştirilmiş kirişlerdir (Ayaydın, 1989).

3.1.3.2. Üst başlığı eğimli olan dolu gövdeli kirişler

Üst başlığı mesnetlere doğru eğim verilmiş kiriş şekli, çok uygulanan bir tiptir. Bu kirişe “çatı makası” adı da verilmektedir. “T” ve “I” kesitlerde, genelde normal donatılı, (daha çok “T” kesitli ve 15 -18 m’ye kadar) veya öngerilmeli (daha çok “I” kesitli) olarak yapılmaktadır.

Üst başlığın eğimi % 2 - % 15 arasında değişmekte; % 2 - %10 eğim, bitümlü çatı örtülerine, % 6’dan büyük ve eşit bazı profilli metal (örneğin alüminyum), %10’dan büyük ve eşit eğim ise, dalga profilli çatı kaplama levhalarının (örneğin asbestli çimento plakların) uygulanmasına imkan vermektedir. Hem çatıda eğim sağlanması, hem de momentin fazla olduğu orta kısımda kesitinin artmış olması, bu kirişin olumlu yönleridir. Ancak çok büyük açıklıklarda eğim % 5’den büyük ve eşit tutulduğunda, kiriş çok yüksek ve ağır olur (Hanmehmetova, 1999 ve Ayaydın, 1989).

Öngerilmesiz olanları için sabit veya hareketli kalıp yöntemleri kullanılabilir. Az sayıda ve değişik boyda eleman üretimi için, parçalı kalıplar kullanılabilir (Ayaydın, 1989). Ancak, kalıplardaki bu değişikliğin sağladığı faydalara karşın, kalıp bölümlerinin eklenmesinde önemli sorunlar çıkabileceği unutulmamalıdır.

Alt başlığı üst başlığın eğimine paralel teşkil edilmiş olan kırık kiriş (Şekil 3.1 b), malzeme tasarrufu ve kuvvet dağılımı açılarından iyi bir çözüm getiriyorsa da, kalıbı, imalatı ve montajı külfetlidir. Üst başlığın kemer biçiminde olması da statik yönden uygun bir çözümdür; ancak, kalıp ve donatı teşkilinde, aşık veya çatı plaklarının kirişe oturtulmasında sorunlar çıkmaktadır (Şekil 3.1 b).

3.1.3.3. Alt başlıkları eğimli yapılan kirişler

Bu kirişler statik yönden ve montaj stabilitesi bakımından uygun olmakla beraber, yatay olarak uygulandığında, kiriş sarkmış gibi bir izlenim vermektedir. Bu nedenle bu tür kirişler, yapı sistemi içinde genellikle eğik olarak uygulanır. "T" kesit ve normal donatı için uygun olan bu kirişin öngerilmeli yapılması istendiğinde, bazı sorunlar çıkmaktadır (Öngerme tellerine yön değiştirmek zorunluluğu gibi.) (Ayaydın, 1989).

3.1.3.4. Diğer kiriş çeşitleri

Taşıyıcı kirişlerin yanında, vinç kirişleri, oluk kirişleri ve aşıklar gibi özel görevler yüklenen kirişler vardır. Bunlar çoğu zaman, ana taşıyıcı doğrultuya dik doğrultuda, bağlayıcı ve sistemi rijitleştirici bir rol de üstlenirler.

3.2. Betonarme Kafes Kirişler

3.2.1. Genel bilgiler

İlk betonarme kafes kiriş yapımı 1906 yıllarına dayanır. O zamandan beri bir çok ülkede köprü ve endüstri binalarında betonarme kafes kirişler kullanılmıştır. Zamanımızda kalıp işçiliği ve betonlama güçlüklerinden dolayı bu kiriş türünün orta Avrupa ülkelerinde ender olarak uygulandığı görülmektedir.

Buna karşın, işçiliğin malzemenin ucuz olduğu yerlerde ve yapı sektörünün devlet tarafından planlandığı ülkelerde, betonarme kafes kirişin bir çok türleri geliştirilmiş ve yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Bu ülkelerde, ana taşıyıcı kirişin dışında, bağlama kirişlerinin, aşık ve kolonların dahi kafes kiriş olarak teşkili yoluna gidilmektedir (Ayaydın, 1989).

Ülkemizde ise, yaygın olmamakla birlikte, öngerilmeli önyapım betonarme kafes kirişli yapı uygulamalarına zaman zaman rastlanmaktadır.

3.2.1.1. Betonarme kafes kirişin olumlu tarafları şöyle sıralanabilir

- 1- Betonarme kafes kirişler, dolu gövdeli kirişlerden daha hafiftir ve malzeme gereksinimi daha azdır. Özellikle büyük açıklıklarda bu husus önem taşır.
- 2- Kirişin ağırlığı artmaksızın, üst başlığına istenen eğim verilebilir; bu da her çeşit çatı kaplamasını kullanma olanağını sağlar.
- 3- Bu kirişlerin, çelik kafes kirişlerle kıyaslandığında, sonradan bakım gerektirmesi ve yangına dayanıklı olması önemli bir avantajı sayılır.
- 4- Kiriş boşluklarından tesisat öğeleri geçirilebilir.

- 5- Yüksek kirişlerde (örneğin paralel başlıklı olanlarında), alt başlıklar üzerine döşeme plakları uygulanarak bir tesisat katı veya ara kat teşkil edilebilir.
- 6- Kirişin alt başlığı aynı zamanda vinç kirişi görevini yapabilir.
- 7- Yüksek kafes kirişlerin şed çatılı sistemlerde kullanılması ilginç çözümler getirebilir (Ayaydın, 1989).

3.2.1.2. Betonarme kafes kirişlerin sakıncaları

- 1- Kalıp ve donatı işçiliğinin ve ince beton kesitlerinin betonlama güçlüğü ve bundan dolayı maliyetin artması;
 - 2- Rijit olan düğüm noktalarında oluşabilecek yan gerilmelerin dikkatle hesaplanması ve bu hesaplarda, kaldırma, nakliye, montaj ve montaj sonrası durumların göz önünde tutulması gereği;
 - 3- Yalnız çekmeye çalışan çubuklarda beton kullanılmasının malzeme özelliklerine uymayan bir uygulama şekli olması ve bu çubukların betonda çatlaklara sebep olması;
 - 4- Montaj sırasında yüksek kirişin devrilmesini önleyecek tedbirlerin alınması gereği;
- Yukarıdaki mahzurları azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.
- 5- Kafes kiriş eşit bölümler veya tek tek çubuklar şeklinde fabrikada üretilebilir ve bu bölümler yapı yerinde, bulonlama, kaynaklama veya art çekmeli öngerme gibi usullerle birleştirilip bir bütün haline getirilebilir (Ayaydın, 1989). Bu yöntem kalıp ve nakliye sorunlarına çözüm getirir; fakat birleştirme işlemleri külfetlidir. Bölümlerden oluşan kafes kirişlerin 36 m açıklık geçen türleri özellikle Rusya'da geliştirilmiş ve tipleştirilmiştir.




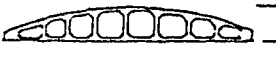

Tek tek çubukların birleştirilmesi ile oluşturulan kafes kirişler arasında çok büyük açıklık geçebilenleri vardır. Çekmeye çalışan çubuklar öngerilmeli yapılabilir; böylece bu çubuklarda çıkan sorunlar ve düğüm noktalarındaki yan gerilmeler hemen hemen yok edilebilir.

3.2.2. Betonarme kafes kiriş çeşitleri

Çelik kafes kirişlerin bütün çeşitleri betonarme olarak da yapılabilmektedir. Bunlar:

- 1- Paralel başlıklı, dikdörtgen veya trapez biçimindeki kafes kirişler;
- 2- Üst başlıkları poligonal veya kemer şeklinde olan kafes kirişler;
- 3- Üçgen kafes kirişler;
- 4- Kafes kiriş çerçeve elemanları;
- 5- Uzay kafes kirişleri gibi yapı bileşenleridir (Ayaydın, 1989).

Bunlardan, çerçeve veya çerçeve bölümü şeklinde olanları günümüzde yapılmamaktadır.

$l = 18 - 36$		Paralel başlıklı kafes kiriş
$l = 12 - 36$		Trapez kafes kiriş
$l = 24 - 40$		Üst başlığı kırık çubuklu kafes kiriş
$l = 18 - 36$		Kemer başlıklı kafes kiriş
$l = 12 - 30$		Üçgen Kafes kiriş

Şekil 3.4. Betonarme kafes kiriş çeşitleri

Kalıp teşkili, donatı ve çatı kaplamasının uygulama güçlüklerine rağmen, poligonal veya kemer başlıklı kafes kirişler, kuvvet dağılımının iyi olması nedeniyle, bazı ülkelerde tipleştirilmiş olup halen kullanılmaktadır. Betonarme uzay kafes kirişler de bazı yapılarda art çekmeli öngerilmeli olarak denenmiş; ancak yaygın bir uygulama alanı bulmamıştır (Ayaydın, 1989). Paralel başlıklı kafes kirişler, en çok uygulanan türlerdendir. Şekil 3.4'de bu kirişlerde yapılabilecek çubuk düzenlemeleri görülmektedir.

3.2.2.1. Paralel başlıklı kafes kirişler

b) tipi kafes kirişlerde, diagonal çubukları çelikten ve yuvarlak kesitli olarak yapmak, böylece; bu kirişi bir şed ışıklığında doğrama çerçevesi olarak kullanmak mümkündür.

a), b) ve c) tipi kafes kirişler tesisat katı çözümlerine de imkan sağlar.

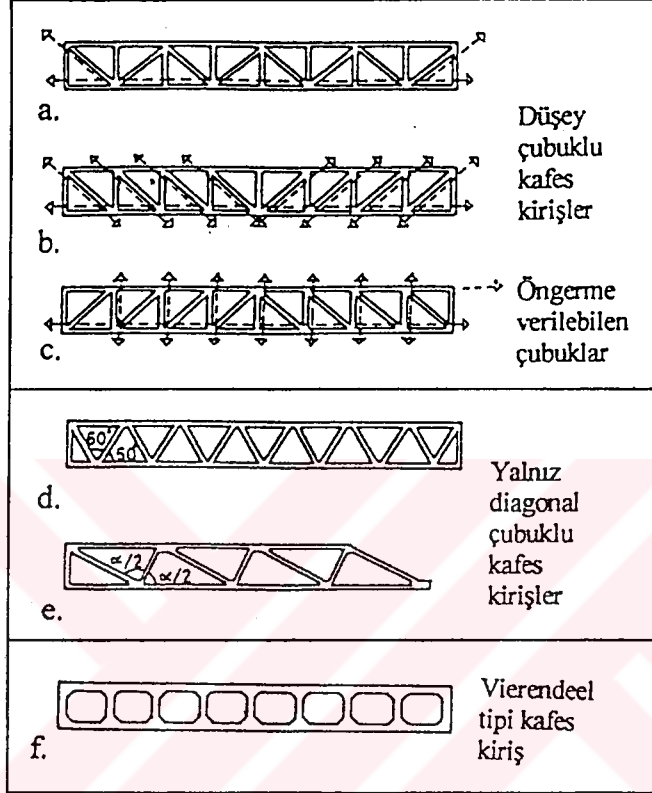
d) ve e) tipi kirişlerde yalnız diagonal orta çubuklar vardır; donatının iyi teşkil edilebilmesi için, bu çubukların $\leq 60^\circ$ lik açılarla, veya basınç çubuklarının, çekme çubukları ile alt başlık arasında açı ortayı olacak şekilde düzenlenmesi gerekir.

d) tipi kirişte, şed çatılarda ışıklık çerçevesi görevini yüklenbildiği gibi, asma kat şekline de imkan verir.

e) tipi kafes kiriş, kafes kirişli şed sistemlerde görüleceği gibi, şed kirişi olarak kullanılabilir (Hanmehmetova, 1999 ve Ayaydın, 1989).

Vierendeel tipi f) kirişi ise, çubuklarının yalnız düşey olmasından dolayı, şed doğrama düzeyi olarak iyi sonuç verir; ancak, bu kirişte kuvvetlerin dağılımı diğer kirişlerde olduğundan çok farklı olup, hesaplama ve donatı konumunda daha dikkat ve titizlik gerektirir.

Paralel başlıklı kafes kirişlerde şayet gerekiyorsa, üst başlığa % 10 kadar eğim verilip değişik tür çatı kaplamalarının uygulanmasına imkan sağlanabilir. Kirişlerin alt başlıkları ise ayrıca vinç kirişi görevini yüklenir. Bu kirişlerin yükseklikleri açıklığın 1/12 - 1/15'i civarında tutulur (Hanmehmetova, 1999).



Şekil 3.5. Paralel başlıklı kafes kiriş tipleri

Kafes kirişler 12 - 25 m'lik açıklıklara kadar tek parçadan; 25 - 35 m'lik açıklıklarda ise, bölümlerin birleştirilmesi suretiyle oluşturulur. Büyük açıklıklar için art çekmeli öngeme ile birleştirilen çubuklarla düzlemsel veya uzay kafes kirişlerinin yapımına gidilir (Ayaydın, 1989).

3.2.2.2. Üçgen kafes kirişler

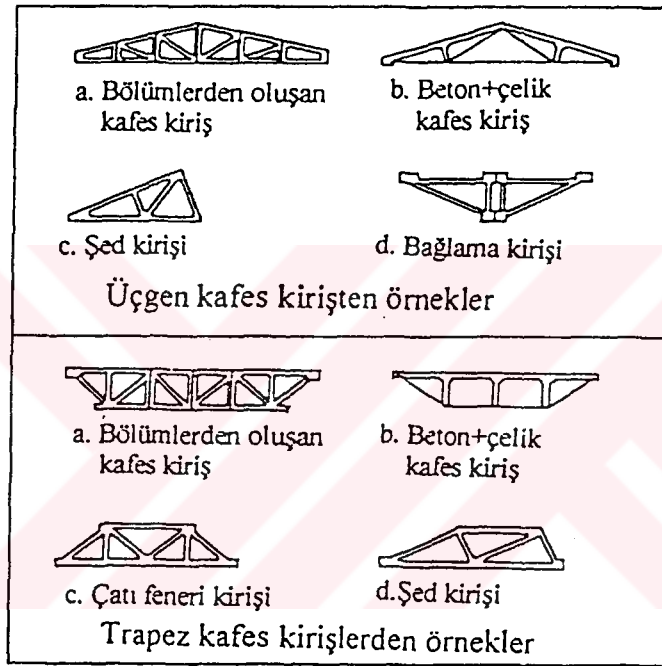
Bu tür kafes kirişler eğimli çatılar için uygun bir çözüm getirir (Şekil 3.4 ve 3.6).Çubuk düzenleri; imalatın türüne (örneğin kirişin bölümlerden oluşup oluşmamasına), çatı örtüsünün kuruluş şekline göre değişir.

Çatı örtüsü; aşıklar + mertekler + çatı kaplaması, aşıklar + çatı kaplaması, hafif beton veya betonarme plaklar + çatı örtüsü olarak düzenlenebilir. Aşıklı sistemlerde aşıkların düğüm noktaları üzerine gelmesi istenir. Üçgen kafes kirişler, 12 -30 m açıklar için yapılmalıdır. Bu kirişler Şekil 3.6'de görüldüğü gibi: Bölümlerden oluşması; çekmeye çalışan

çubuklarının çelik olarak teşkili; kirişlerin, 12 -15 m açıklık geçen bir şed kirişi olması; stabilite sorunları getirmeyen bir bağlama kirişi olarak kullanımı mümkündür (Ayaydın, 1989).

3.2.2.3. Trapez biçimindeki kafes kirişler

Bu kirişlerde çubuk düzeni çok çeşitli olabilir. Şekil 3.6'da görülen a) ve b) tipleri montaj stabilitesi bakımından uygun çözümlerdir. a) tipinde üst başlık biraz eğimli yapılabilir ve kiriş, bölümlerin sonradan art çekmeli öngerme ile birleştirilmesi suretiyle oluşturulabilir.



Şekil 3.6. Kafes kirişlere bazı örnekler

Çelik gergili b) kirişi, büyük açıklık geçen bazı aşık uygulamalarında kullanılmaktadır. c) ve d) kirişleri ise, montaj sırasında stabilite sorunları getirmesine karşın, çatı feneri ve şed

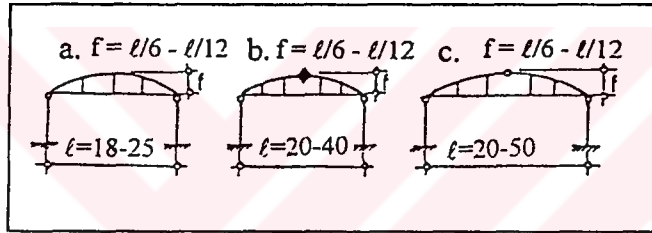
Ancak, statik olarak en uygun biçimde olmalarından dolayı bu kirişler açıklıkların en az malzeme sarfiyatı ile geçilmesini mümkün kılar (Ayaydın, 1989). Bu nedenle, öz ağırlığın önem kazandığı büyük açıklıklarda, kemer kirişin kullanımı ekonomik olabilir.

Kemer kirişleri üç grupta toplamak mümkündür.

- 1- Temellere ankastre olan kolonlara serbestçe oturan kemer kirişler.
- 2- Doğrudan temellere veya istinat duvarlarına oturan kemer kirişler.
- 3- Üst başlıkları kemer biçiminde olan çerçeveler (Ayaydın, 1989).

3.3.2. Ankastre kolonlara oturan kemer kirişler

Bu kirişler, mekan yüksekliğini artırmamak, imalat, nakliye ve montajı kolaylaştırmak amacı ile, dairesel yassı kemerler şeklinde yapılır. Kemer okunun yüksekliği, açıklığın $1/6 - 1/12$ si arasında değişebilir (Şekil 3.7) (Ayaydın, 1989).



Şekil 3.7. "T" kolonlara oturan iki veya üç mafsallı kemer sistemler

Üzengilerde oluşan yatay itkiyi karşılamak üzere kemer uçları birbirleri ile, yer yer asma çubukları ile kemere asılan bir gergi elemanı ile bağlanır. Bu gergi:

- a- Yuvarlak kesitli çelik bir çubuk;
- b- "U", "T" veya L kesitli çelik bir profil veya,
- c- Öngerilmeli beton olabilir (Ayaydın, 1989).

Gergilerin, yüksek dirençli çelik kullanılarak, ön veya art çekmeli öngerilmeli betondan teşkili, hem genişleme, hem de korrozyon ve yangın sorunlarına çözüm getirir

Statik sistemin seçimini: açıklık, kemer yüksekliği, imalat yeri, nakliye ve montaj imkanları, çatı yüzeyinin kuruluş şekli ve çatı örtüsünün cinsi gibi faktörler etkileyecektir. Açıklık 20-25 m civarında ve ok yüksekliği $f = 1/6 - 1/10$ olduğu zaman, tek parçada betonlanan, iki mafsallı gergili kemer seçilebilir. Bu tür kemerlerin imalatı ancak yapı yerinde yapılabilir. Açıklık 20 m'den büyük ise, veya imalat fabrikada yapılacak ise, kemer iki veya daha fazla bölümlerden oluşturulur (Hanmehmetova, 1999 ve Ayaydın, 1989).

Üç mafsallı kemerlerle 50 m'ye kadar açıklıklar geçilebilmekte ve bu tip kirişler büyük garaj veya uçak hangarlarında kullanılmaktadır (Ayaydın, 1989).

Kemer kirişlerde gergi elemanlarının mekanı kullanma ve estetik bakımdan bazı sakıncalar getirmesi ve bu elemanların bakım gerektirmesi gibi nedenler, kemer kirişli sistemlerde gergisiz çözümlerin araştırılmasına yol açmıştır.

3.3.3. Kemer kirişlerin doğrudan temellere veya istinat duvarlarına oturtulması suretiyle kurulan sistemler

Kemeri yüksek yapma olanağını sağlayan bu sistemlerde, şayet kemer biçimi, kemer eksenini kemeri etkileyen düşey kuvvetler için çizilen ip poligonu ile çakışacak şekilde seçilirse, bu kemerde yalnız basınç kuvvetleri oluşur. Böylece, çok ince kesitli kemerlerle büyük açıklıklar geçme imkanı doğar (Ayaydın, 1989).

Kemerler iki veya üç mafsallı yapılabildiği gibi, zemin durumuna göre, temellere ankastre olarak da bağlanabilir. Statik sistemin seçimi, kemer yüksekliğinin açıklığa oranına ve yapı zemininin mukavemetine bağlıdır. Zemin mukavemeti yeterli değilse, temeller birbirleriyle zemin altından geçen gergilerle bağlanabilir.

Kemer yüksekliğinin $f \leq \ell / 10$ olduğu kemerlerde üç mafsallı sistemler;

$f = \ell / 6 - \ell / 10$ arasında ise daha çok iki mafsallı;

$f \geq \ell / 6$ ise, temellere ankastre sistemler uygulanmaktadır.

3.3.4. Kemer kirişlerin en kesitleri

Daha çok yayılı düşey kuvvetlerin geldiği kabul edilen kemerlerde kesit, imalat kolaylığı bakımından dikdörtgen yapılıdır.

Kemerin noktasal veya yanal kuvvetlere karşı yeterli direnç gösterebilmesi için ve kemeri hafifletmek amacı ile onu "I" kesitli, kafes veya "vierendeel" kiriş olarak imal etmek mümkündür. Vierendeel kirişte kafes kirişe nazaran kalıp sorunu daha azdır (Ayaydın, 1989).

3.3.5. Kemer kiriş gergi bağlantısı

Gerginin kemer uçlarındaki çelik plakalara bulonlanması veya kaynaklanması;

- 1- kemer kirişin, öngerilmeli beton gergiye madeni elemanlar yardımı ile oturtulması;
- 2- kemer-gergi bileşiminin art çekmeli öngerme yöntemi ile sağlanması gibi detaylamalar uygulanabilir. Bu uygulamalarda bağlantı yerleri mafsal görevini sağlamalıdır (Ayaydın, 1989).

3.4. Ülkemizde Kullanılan Betonarme Düzlem Taşıyıcı Çatı Sistemler

Ülkemizde sanayi binalarını oluşturan taşıyıcı çatı sistemleri olarak en çok dolu gövdeli betonarme kirişler kullanılmaktadır. Bilindiği gibi, dolu gövdeli betonarme kirişlerin kullanılması yalnız 18 m'ye kadar açıklıklarda uygun olmaktadır. Nadir durumlarda bu kiriş açıklıkları 24 m'ye kadar çıkabilir. Bunlar da genelde öngerilmemiş olarak üretilmektedir. Bu da yapıyı ağırlaştırmakta ve ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Deprem yönünden de dayanıksız yapıların ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Büyük açıklıkları geçmek için kullanılan betonarme kafes kirişler ve kemer kirişler ülkemizde yok denecek kadar az kullanılmaktadır. Bunların yerini çelik çatı elemanları almıştır. Çelik çatı elemanları da pahalıya mal olmaktadır.



BÖLÜM 4

ÖNGERİLMELİ BETONARME DÜZLEM TAŞIYICI ÇATI SİSTEMLERİN KALASİK HESAP ESASLARI

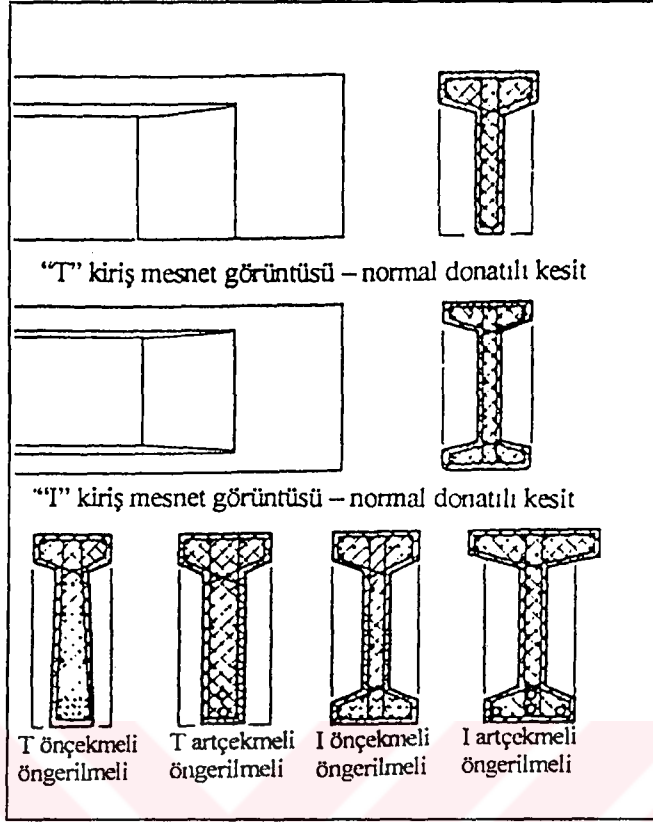
4.1. Öngerilmeli Betonarme Dolu Gövdeli Kirişler (Çatı Makası)

Dolu gövdeli kirişlerde 18 - 24 m'lik açıklıklar (hatta bazı durumlarda 30 m'ye kadar) için öngerme metodu kullanılır. Kirişler arası mesafe genelde 6 - 12 m olur. Öngerme metodu kirişin çok ince kesitlerde yapılmasını sağlar. Bu da kirişin hafif ve ekonomik olması demektir.

Öngerilmeli betonarme kirişlerde "T" kesitli kirişlerin etriye donatısı, kalıp ve imalatı, "I" kesitli kirişinkinden daha kolay olup, bu kirişin kalıbı, çok az değişikliklerle farklı boyutlarda eleman üretimine imkan verir. Buna karşın "T" kesiti, ön çekmeli öngerme için çok uygun bir kesit değildir. Çünkü bu durumda, kirişin alt kısmında, ince kesitin karşılamayacağı basınç kuvvetleri oluşabilir (Özden, Eren ve Öztürk 1991). Bundan dolayı, ön çekmeli öngerme uygulanacaksa, kirişin gövdesi aşağıya doğru kalınlaştırılır. Aksi halde, kiriş, öngerme kablolarının yön değişimine imkan veren "art çekmeli öngerme" metodu ile imal edilir (Özden, Eren, Trupia ve Öztürk, 1998).

"T" kesitli kirişler ise, alt ve üst başlık boyutları birbirine yakın olduğundan, her iki öngerme metodunun da uygulanabileceği uygun bir kesittir (Şekil 3.3) (Ayaydın, 1989). "T" ve "I" kesitli kirişlerin kesitleri genellikle mesnetlerde kalınlaşmaktadır. Öngerme donatısının yönlendirilme olanağı varsa, bu tür kirişlerin, mesnetlerde kesit değiştirilmeksizin üretimi uygundur (Şekil 3.2 b ve d).

Kirişlerin en ekonomik kesiti "I" kesitli olanıdır. Duvar kalınlığı genelde duvar donatısının yerleştirme şartlarına ve kesitin güvenilir olmasına bağlıdır. Duvar kalınlığı çatlama dayanımı bakımından 60 - 100 mm civarında olması ön görülmektedir. Mesnet bölgesinde duvar kalınlığı tercihen artırılır ve düşey rijitlik kaburgası oluşturulur (Hanmehmetova, 1999). Kirişin orta kısmında, enine kuvvetlerin ihmal edilebilecek kadar küçük olduklarından, kirişte dairesel veya çokgen şekilli boşluklar oluşturulabilir. Bu boşluklar sayesinde beton masrafı ve yapı ağırlığı azalabilir. Ancak işçilik daha pahalıya mal olmaktadır.



Şekil 4.1. “T” ve “I” kirişlerde donatı durumu

Kirişlerin açıklık ortasındaki yükseklikleri $(1/10...1/12) \ell$ olarak kabul edilir. Yamuk şekilli kirişlerin üst başlık eğimi $1/12$, mesnetteki kesit yüksekliği ise $800\sim 900$ mm civarında alınır. Üst başlığı kırık şekilli kirişlerde açıklığın orta kısımlarında kiriş yüksekliğinin büyük olması sağlanır.

Kirişin üst başlığının yapım ve montajı sırasında stabilitesinin sağlanması için, genişliği $(1/50...1/60) \ell$ olduğu kabul edilir. Alt başlık genişliği ise, boyuna çekme donatısının yerleştirilmesi için, $250\sim 300$ mm civarında olması uygundur. Yamuk şekilli kirişler BS 25, BS 30, BS 35, BS 40, BS 45 beton sınıflarından yapılır. Donatı çelikleri ise öngerilmeli çubuk veya halat (toron) şeklinde olabilir. Yüksek dayanımlı çubuk donatıları düşey olarak ikişer ikişer grup şeklinde yerleştirilir. Bu durum kirişlerin düşey şekilde beton dökümünü kolaylaştırır. Kiriş duvarı kaynaklanmış karkaslar ile donatılır. Bu karkastaki boyuna donatıları montaj, enine donatıları ise hesap donatılarıdır. Bu donatı çubukları kirişin eğik kesimlerinin dayanımlarını sağlamaktadır (Hanmehmetova, 1999 ve TS-3233).

Kirişin mesnet bölgesi, öngerilmeli donatı çubuklarının ankraj kamalarından açılması sırasında oluşabilecek boyuna çatlakların açılmasının önlenmesi ve genişliklerinin sınırlandırılması için, enine ek donatı çubukları ile güçlendirilir. Bu ek donatı çubukları, çelik

detaylara kaynak edilir. Mesnet bölgelerinin çatlama dayanımını artırmak için enine donatı çubuklarının öngerilmesi ile, iki eksenli öngerilme oluşturulabilir (Hanmehmetova, 1999).

“T” kesitli yamuk şekilli kirişlerin öngerilmesinin bırakıldığı anda üst bölgesinde oluşan çatlakların genişliklerini sınırlamak için, konstruktif öngerilme donatısının yerleştirilmesi uygun olur. Bu, donatı mesnet kesitinin üst bölgesi hizasında yerleştirilir. Bu önlem, sıkıştırma kuvvetinin dış merkezliği ve üst bölgesindeki betonda oluşan çekme öngerilmelerini azaltır. Çok boşluklu kirişe bazen kafes kirişi de denir (Hanmehmetova, 1999). Kaplama elemanlarının bağlanması için, kirişlerin üst başlık bölgesinde, beton dökümü sırasında çelik detaylar yerleştirilir.

Çatı makası kirişleri basit bir açıklıklı kirişler gibi hesaplanır. Döşeme yükleri kirişteki rijitlik dikmeleri aracılığı ile aktarılır. Tekil yüklerin sayısı beşten çok olduğunda, bu yükler düzgün yayılı yük olarak kabul edilebilir (Hanmehmetova, 1999).

4.2 Öngerilmeli Betonarme Kafes Kirişler

Öngerilme, genellikle paralel başlıklı kafes kirişlerde alt başlık çubuklarına uygulanır. Genelde bu çubuklar, çekmeye çalışan çubuklardır. Dirsek ve düşey çubuklara gelen yükler fazla ve çekme çubukları ise bu çubuklara öngerme uygulanabilir. Öngerme metodu kafes kirişin çok ince kesitlerde yapılmasını sağlar. Bu da kafes kirişin hafif olmasını ve az malzeme kullanılmasını sağlar. Şekil 3.2'deki kafes kiriş tiplerinde uygulanabilecek öngerme şekilleri oklarla belirtilmiştir.

a) tipinde, alt başlık çubuklarına,

b) tipinde, çekmeye çalışan diagonal çubuklara;

c) tipinde ise, çekmeye çalışan düşey çubuklara ön gerilme verilir.

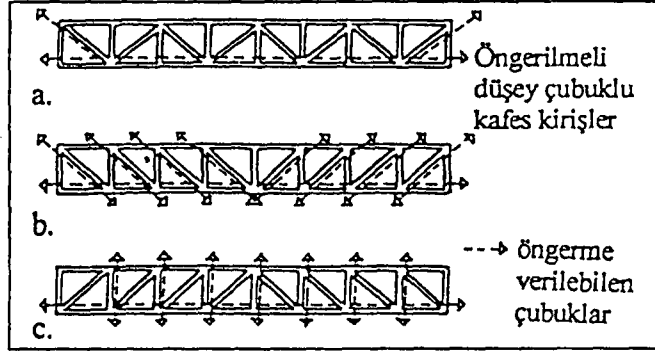
b) tipi kafes kirişlerde, diagonal çubukları çelikten ve yuvarlak kesitli olarak yapmak, böylece; bu kirişi bir şed ışıklığında doğrama çerçevesi olarak kullanmak mümkündür.

a), b) ve c) tipi kafes kirişler tesisat katı çözümlerine de imkan sağlar (Ayaydın, 1989).

Betonarme kafes çatı kiriş sistemleri genelde 18 - 30 m açıklıklarda, 6 ve 12 m'lik çerçeve adımı olan sanayi binalarında kullanılır. Betonarme kafes çatı sistemlerinde çelik maliyeti, çelik kafes makaslara kıyasla, iki katı kadar daha azdır. Fakat, gerek emek sarfiyatı gerekse üretim maliyeti daha fazladır (Hanmehmetova, 1999). Genel olarak bina açıklıkları $l > 36$ m olduğunda çelik kafes çatı makaslarının kullanılması daha uygundur.

Tüm çatı kafes kirişlerin açıklıklarının ortasındaki yükseklikleri $l / 9 \sim l / 7$ 'si olarak, üst başlıklarının uzunlukları ise 3 m olarak tasarlanır. Alt başlık ve çekmeye çalışan kafes

çubukları, döşeme yüklerinin düğümlere aktarılabilmesi için, genelde öngerilmeli olarak yapılır (Hanmehmetova, 1999).



Şekil 4.2. Öngerilmeli kafes kirişler

Statik bakımdan, parabolik şekilli üst başlıklı kafes sistemlerin daha uygun ve ekonomik olduğu görülmüştür. Bu tür sistemlerdeki kafes çubuk kuvvetleri çok küçük olduğundan dolayı, sistemin ağırlığı azalır. Mesnet yüksekliğinin az olması ise, dış duvar yüksekliğinin az olmasına imkan sağlar.

Tüm kafes çatı kirişlerinin öz ağırlığının azaltılması yüksek dayanımlı betonun ve yüksek dayanımlı donatının kullanılmasıyla mümkün olur. Betonarme kafes çatı kirişin bütün olarak hazırlanması daha uygundur. Bu sistemdeki elemanların ayrı ayrı parçalar şeklinde yapılıp sonradan montaj edilmesi, yapı maliyetinin çok artmasına neden olur.

Genelde, 18 m açıklıklı kafes çatı makaslarını tüm olarak, 24 m açıklıkları tüm veya iki parçalı, 30 m açıklıklı sistemleri ise, iki parça şeklinde hazırlanması daha uygun olur. Alt başlıktaki birleşim düğümü kafes düğümün dışında olması gerekir. Önceden hazırlanmış çatı makasın kafes çubukları, beton dökümünden önce, düğümlere 30~50 mm kadar girecek şekilde standardın üstünde yerleştirilir. Bu durumda, kafes çubuk genişliklerinin başlık genişliğinden az olmamasına dikkat edilmelidir. Çoğu zaman kafes tüm olarak dökülür. O zaman kafes genişliği başlıkların genişliğine eşit olmalıdır (Hanmehmetova, 1999).

Teknolojik sebeplerden dolayı, çatı kafes makas sistemlerinin başlık genişlikleri eşit kabul edilir. Çatı makaslarının adımı 6 m ise başlık genişliği 200~250 mm, 12 m ise 300~350 mm olur (Hanmehmetova, 2000).

Çekmeye çalışan alt başlık donatısı, betonun yerleşmesini engellemeyecek şekilde yerleştirilmelidir. Tüm çekme donatısı 500 mm ile yerleştirilen etriye ile sabit hale getirilir.

Üst başlık kafes çubukları kaynaklanmış öngerilmesi olmayan karkaslar ile donatılır. Kafes kiriş çekme çubukları, büyük kuvvetler oluşursa öngerilmeli yapılabilir (Hanmehmetova, 1999).

Çubuk kuvvetlerinin güvenle aktarılması, düğümde bu çubukların iyi yerleştirilmesi ve ankraj olması için, düğümlerde özel geniş alanlar oluşturulur. Düğümlerde eğilerek çevrilen 10~18 mm'lik çubuklar, düşeyde 100 mm aralar ile yerleşen 6~10 mm'lik çubuklar ile donatılır. Bu çubuk sistemi kaynak ile karkas şekline getirilir. Basınç çubuk donatıları düğümlere yerleştirilir. Çekme çubuk donatılarının uçları ise, ankraj edilir. Ankrajın güvenliği hesap ile kontrol edilir. Mesnet düğümleri ek boyuna ve enine donatılar ile donatılır. Amaç, çekme donatısının ankrajını ve eğik kesitin dayanımını sağlamaktır (Hanmehmetova, 1999).

Alt başlıktaki ön gerilmeli donatı çubukları normal veya yüksek dayanımlı çeliklerden olabilir. Mesnet düğümünde öngerilmesi olmayan enine donatı çubukları yerleştirilir. Kafes kirişin hesabı sabit ve sürekli yüklere göre yapılır. Sabit yük, yapının ve kaplama elemanlarının öz ağırlıklarıdır. Sürekli yükler ise kren ve kar yükleridir. Bu yükler üst başlık düğümlerinde uygulandığı kabul edilir. Asma kren (vinç) yükleri ise alt başlıktaki düğümlere aktarılır. Hesaplarda yükün asimetrik etkime durumu da dikkate alınır. Bundan başka, kafes elemanları için en elverişsiz olan, kar ve asma yükleri çatı makasının bir tarafına etkimesi durumunda hesaba alınır (Hanmehmetova, 1999 ve 2000).

Kafes ve başlık çubuk kuvvetlerinin dayanımlarının hesaplanması basınç ve çekme elemanları için mevcut olan formüllerden yararlanarak yapılır. Basınç elemanlarının kafes çatı makası düzlemindeki ve düzlem dışındaki hesap uzunlukları (ℓ_0) farklıdır ve aşağıdaki şekilde kabul edilir.

Üst başlık yapı düzleminin içinde ise;

$$e_0 = (1/8)h \text{ ise } \ell_0 = 0,9 \ell$$

$$e_0 \geq (1/8)h \text{ ise } \ell_0 = 0,8 \ell \text{ olur.}$$

Basınç kafes çubukları için;

$$b / b_d < 1,5 \text{ ise } \ell_0 = 0,9 \ell$$

$$b / b_d \geq 1,5 \text{ ise } \ell_0 = 0,8 \ell \text{ olur.}$$

Üst başlık yapı düzlemi dışında ise;

$$\text{fener altındaki bölgede } \ell_0 = 0,8 \ell$$

$$\text{başka durumlarda } \ell_0 = 0,9 \ell \text{ olur.}$$

Burada; ℓ - düğüm merkezleri arasındaki uzaklık, e_0 – eksenel kuvvetin dış merkezliği, h – üst elemanların en kesit yüksekliğidir. Düğümlerdeki ankrajlardan dolayı, öngerilmeli donatıdaki hesap kuvvetlerinin azalması, öngerilmemiş ek boyuna ve enine donatıların çalışması ile karşılanacağı dikkate alınır (Hanmehmetova, 1999).

4.3. Öngerilmeli Betonarme Kemer Kirişler

Bina açıklıkları 30 m'den büyük olduğu durumlarda betonarme kemerler, betonarme kafes kirişlerden daha ekonomik olur. Uygulamada en çok kullanılan iki mafsallı kemerlerdir. Bu kemerlerin yükseklikleri $f = (1/6 \sim 1/8)/\ell$ olur. Mesnet düğümünde oluşan yatay tepki kuvveti (H), gergi tarafından karşılanır. Konstruktif bakımdan, basınç eğrisine yakın eksenli kemerler daha elverişlidir (Hanmehmetova, 1999).

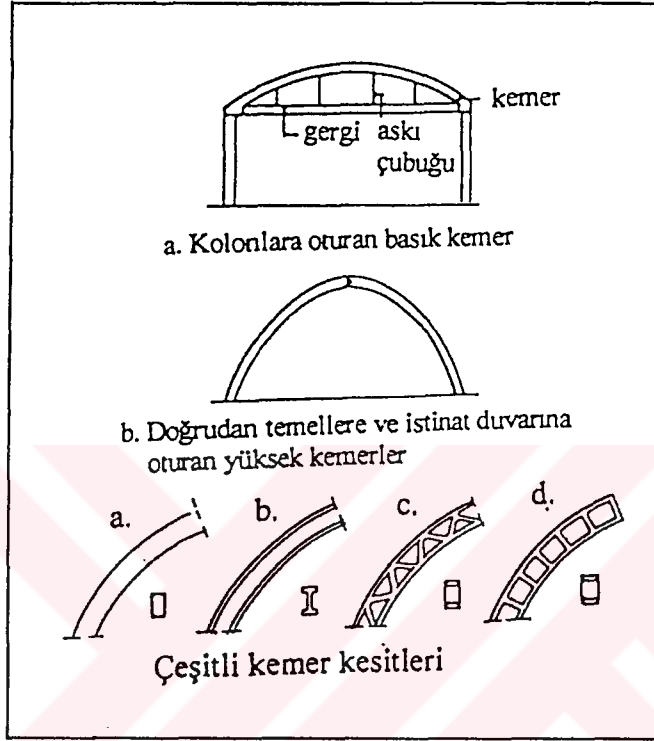
Kemerin tasarımı basınç elemanlarının genel kurallarına göre yapılmaktadır. Kemer kesitleri dikdörtgen ve "I" şeklinde olabilir. En ekonomik olanı "I" kesitli olanıdır. Kemer öngerilmemiş olarak tasarlanır. Kemerde oluşabilen değişik işaretli momentler nedeni ile çift donatı kabul edilir. Gergi öngerilmeli olarak yapılır. Gerginin öngerilmeli olarak yapılması büyük malzeme tasarrufu ve hafif olmasını sağlar. Gerginin gerilmesini önlemek için her 5-6 m'de bir, betonarme veya çelik askıları yapılır. Yapı güvenliğini artırmak için, mesnet blokları ile gergi monolitik şekilde bütün olarak yapılır. Gerginin öngerilmeli olarak yapılması için mesnet kamalarına gerilen halat milleri kullanılır (Hanmehmetova, 1999 ve 2000).

Blokların birleşmesi, montaj sırasında donatı çıkıntılarının veya beton gövdesinde yerleştirilen detayların kaynaklanması ile gerçekleştirilir. Bu birleşim düğümleri sonra, beton harcı ile monolitikleştirilir. Büyük açıklıklı yüksek kemerlerin eksen eğrilik fonksiyonları daha farklı olmaktadır. Genelde bu kemerler üç mafsallı olarak yapılırlar. Burada yatay tepki reaksiyonu temellere ve zemine aktarılır. Zayıf zeminlerde, bu kuvvet döşeme kotunun altında yerleştirilen gergilere aktarılır (Hanmehmetova, 1999).

Kemerlerin hesaplanması; kaplama yükü, kemerin öz ağırlığı, bir taraflı kar yükünün ve asma yüklerinin etkilerine göre yapılır. Büyük açıklıklı kemerler betonun rötre ve sünmesinden oluşan gerilmelere göre de hesaplanmalıdır. Yüksek kemerler ise, rüzgar yükünün etkisine göre hesaplanır. İki mafsallı kemerin hesap şemasında kemerin ekseni ikinci dereceden parabol olarak kabul edilir.

Kemerin en kesit yüksekliği; $h = (1/30 \sim 1/40)\ell$ eni; $b = (0,4 \sim 0,5)h$ olarak kabul edilir. Gergideki öngerilmeli donatı alanı gerginin çekme kuvvetine göre hesaplanır. İki mafsallı

kemerler, eğilme momentlerinden oluşan yer değiştirmeler ve normal kuvvetlerin dikkate alınması ile, izostatik sistemler gibi hesaplanır. Öngerilmeli gerginin yer değiştirmelerinin hesabında betonun dönüştürülmüş beton kesit alanı (A_{ret}) dikkate alınır. Gerginin öngerilmeli olmasından dolayı, kemer mesnetlerin hareket imkanı azalır (Hanmehmetova, 1999).



Şekil 4.3. Kemer ve kemer kesitleri

Bu durumda gergide çekme (H) kuvveti artar. Kemerdeki eğilme momenti ise azalır. Üç mafsallı kemerler izostatik sistemlerdir. Mesnetler aynı hizada olursa, itki kuvveti;

$$H = M_{bmx} / f \quad (4.8)$$

İfadesinden hesaplanır. Burada M_{bmx} – uygun kirişteki g mafsalı hizası kesitteki eğilme momentidir. Kesit kuvvetleri kemer kesitlerinde aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$M_x = M_{bmx} - H \cdot y \quad (4.9)$$

$$T_x = T_{bmx} \cdot \cos \alpha - H \cdot \sin \alpha \quad (4.10)$$

$$N_x = H \cdot \cos \alpha - T_{bmx} \cdot \sin \alpha \quad (4.11)$$

Burada; α - kirişin istenen kesitindeki kemer eksenine teğet ile yatay arasındaki açı, M_x - kirişin istenen kesitindeki eğilme momenti, T_x - kirişin istenen kesitindeki kesme kuvveti, N_x - kirişin istenen kesitindeki normal kuvvettir (Hanmehmetova, 1999 ve 2000).

BÖLÜM 5

VİSUAL BASİC İLE GÖRSEL PROGRAMLAMANNIN DÜZLEM TAŞIYICI SİSTEMLERE UYGULANMASI

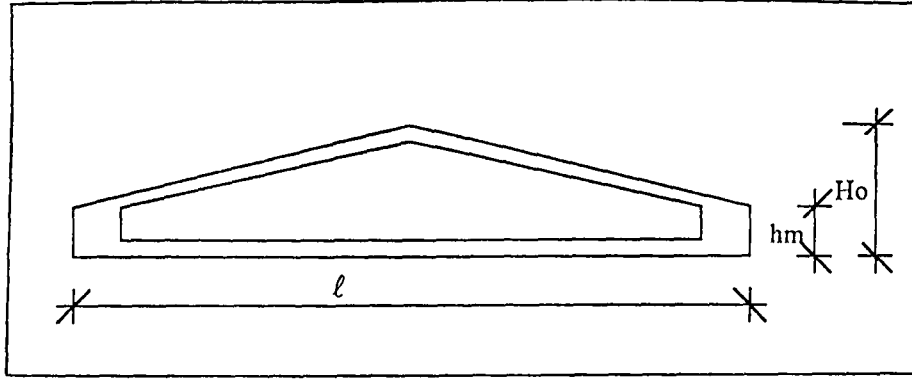
Bu bölümde; düzlem çatı kirişlerden, öngerilmeli betonarme “I” kesitli yamuk kirişlerin, paralel başlıklı kafes kirişlerin ve 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişlerin çözümleri bulunmaktadır. Bu çözümler ek A, B ve C’deki akış diyagramlarına göre Visual Basic’te hazırlanmış bilgisayar programlarında yapılmıştır. Ek A, B ve C’deki akış diyagramları kaynak Hanmehmetova Z. 1999 ve Hanmehmetova Z. 2000’deki formüllerden yararlanılarak yapılmıştır. Çözümlerde hangi açıklıkta hangi sistemin daha hafif ve ekonomik olduğu araştırılacaktır.

5.1. Visual Basic ile Öngerilmeli Betonarme “I” Kesitli Yamuk Kiriş Hesabı

Ek-A’daki akış diyagramına göre, Visual Basic’te hazırlanmış olan bilgisayar programında, öngerilmeli betonarme “I” kesitli yamuk kiriş 18 ve 24 m açıklıkta çözülmüştür. Çözümde diğer taşıyıcı çatı sistemler ile karşılaştırma yapılabilmesi için iki kiriş arası (B) 6 m alınmıştır. Ayrıca beton (C 35) için hesap dayanımları, donatı çeliği (S 420) için hesap dayanımları, yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları, kirişe etkiyen sabit yükler ve kar yükleri belirli değerlerde alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Bu değerlere göre çatı makasına etkiyen yükler hesaplanarak çatı makasının ön tasarımı ve kesin tasarımı yapılarak “I” kesitli olarak boyutlandırılmıştır. (Kirişin kesin tasarımı en kritik kesit için yapılmıştır). Bu boyutlara göre yüksek dayanımlı donatı halatı ve konstrüktif olarak normal donatılar kullanılmıştır. Kirişin gövdesine ve basınç bölgelerine konstrüktif normal çelik donatıları konulmuştur. Kirişin çatlama dayanımı kontrolünün yapılması için birincil ve ikincil öngerilme kayıpları hesaplanmıştır. Öngerilme kayıpları dikkate alınarak gerçek sıkıştırma kuvveti hesaplanmıştır. Bu sıkıştırma kuvvetinden çatı makasının kritik kesitini çatılamak eğilme momenti değeri bulunmuştur. En son olarak da çatlama dayanımının sağlanıp sağlanmadığının kontrolü yapılarak çatı makasının hesabı tamamlanmıştır. Çatlama dayanımı sağlanmamış ise çatı makasının ön tasarımı ve kesin tasarımı tekrar yapılarak çatı makası boyutlandırılarak ve donatılarak hesaplamalara devam edilmiştir.

Örnek 5.1.1. 18 m açıklıklı "I"kesitli öngerilmeli betonarme çatı makasının hesaplanması



Sekil 5.1. 18 m açıklıklı çatı makası

$$l = 18 \text{ m}$$

$$B = 6 \text{ m}$$

Beton için hesap dayanımları

$$f_{cd} = 2,3 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 0,21 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = 0,135 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_b = 3320 \text{ KN/cm}^2$$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

$$E_{sc} = 20000 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 36,5 \text{ KN/cm}^2$$

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımlar

$$R_{s,ser15} = 129,5 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s12} = 110 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s15} = 108 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_s = 18000 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s,ser12} = 133,5 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{pd} = 139,13 \text{ KN/cm}^2$$

Kirişe etkiyen yüklerin hesabı

$$g_{\varphi\delta} = 90 \text{ KN}$$

$$P_{d1} = 1,1275 \text{ KN/m}^2$$

$$p_{kk} = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{\varphi\delta} = 0,9166663 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi} = 0,95 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{kar1} = 1,12 \text{ KN/m}^2$$

$$G_d = 1,025 \text{ KN/m}^2$$

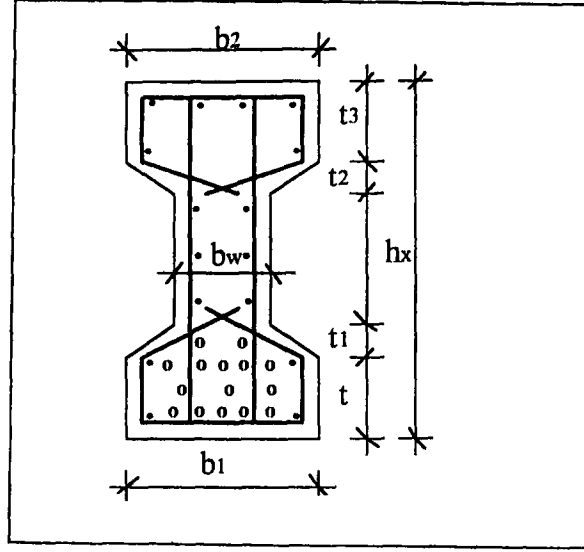
$$G = 2,808333 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi\delta} = 0,8333333 \text{ KN/m}^2$$

$$P = 3,2392663 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{\varphi} = 1,1951 \text{ KN/m}^2$$

Kiriş I kesitli profil düşünülerek boyutlandırma yapılırsa



Şekil 5.2. 18 m açıklıklı çatı makası kesiti

Kesitin boyutlandırılması

$$l/10 \geq H_0 \geq 1/15 \text{ ise}$$

$$H_0 = 1,5 \text{ m}$$

$$h_m = 0,75 \text{ m}$$

$$x = 6,66 \text{ m}$$

$$h_x = 130,5 \text{ cm}$$

$$b_1 = 30 \text{ cm}$$

$$b_w = 10 \text{ cm}$$

$$b_2 = 30 \text{ cm}$$

$$t = 19 \text{ cm}$$

$$t_1 = 6 \text{ cm}$$

$$t_2 = 10 \text{ cm}$$

$$t_3 = 10 \text{ cm}$$

$$h_a = 85,5 \text{ cm}$$

$$d_1 = 3 \text{ cm}$$

$$d_2 = 11 \text{ cm}$$

$$d_3 = 19 \text{ cm}$$

$$d_4 = 23 \text{ cm}$$

$$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$$

$$\Delta_t = 65 \text{ C}^\circ$$

$$\xi = 0,35$$

$$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$$

$$\alpha_{91s1} = 0,85$$

$$\psi = 1,75$$

$$P_d = 26,155596 \text{ KN/m}$$

$$\max M_x = 98769,284727 \text{ KN.cm}$$

$$h_{ox} = 127,5 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 20,493679 \text{ cm}^2$$

Yüksek dayanımlı donatı halatı kullanılırsa

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp1} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp2} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp3} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp4} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

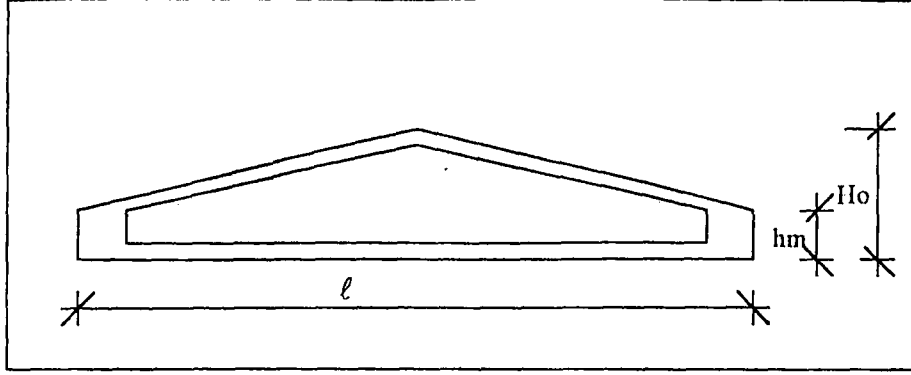
$$\text{Tane } A_{sp1} = 5$$

Tane $A_{sp2} = 3$	$h_1 = 12,6 \text{ cm}$
Tane $A_{sp3} = 5$	$d = 117,9 \text{ cm}$
Tane $A_{sp4} = 2$	$\rho = 0,006005$
Tane $A_s = 14$	$f'_{pd} = 118,914395 \text{ KN/cm}^2$
$A_{sp1} = 7,08 \text{ cm}^2$	$a = 99,193951 \text{ cm}$
$A_{sp2} = 4,248 \text{ cm}^2$	$A_b = 2045 \text{ cm}^2$
$A_{sp3} = 7,08 \text{ cm}^2$	$y_1 = 62,075591 \text{ cm}$
$A_{sp4} = 2,832 \text{ cm}^2$	$y_2 = 68,424409 \text{ cm}$
$A_{sp} = 21,24 \text{ cm}^2$	$r = 18,8274335 \text{ cm}$
$A_s = 15,82 \text{ cm}^2$	$e_{op} = 49,475591 \text{ cm}$
$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam	

Öngerilme kayıplarının hesaplanması

$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_9 = 6,505895 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_3 = 2 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{los1} = 25,674001 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{los2} = 10,505895 \text{ KN/cm}^2$
$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{los} = 36,179896 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_6 = 0,71$	$\gamma_{sp} = 0,9$
$\beta = 1,846$	$P = 1487,381485 \text{ KN}$
$P_1 = 2117,63643 \text{ KN}$	$M_1 = 101592,653496 \text{ KN.cm}^2$
$\alpha_1 = 5,421687$	$W_{ret} = 108205,065019 \text{ cm}^3$
$\alpha_2 = 6,024096$	$W_{pl} = 189358,863783 \text{ cm}^3$
$A_{ret} = 2255,457831 \text{ cm}^2$	$M_2 = 39765,361394 \text{ KN.cm}$
$\sigma_{bp} = 0,93889 \text{ KN/cm}^2$	$M_{arc} = 141358,01489 \text{ KN.cm}$
$\sigma_6 = 2,041065 \text{ KN/cm}^2$	$\max M_x < M_{arc}$ ise tamam
$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$	

Örnek 5.1.2. 24 m açıklıklı "I"kesitli öngerilmeli betonarme çatı makasının hesaplanması



Şekil 5.3. 24 m açıklıklı çatı makası

$$l = 24 \text{ m}$$

$$B = 6 \text{ m}$$

Beton için hesap dayanımları

$$f_{cd} = 2,3 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 0,21 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = 0,135 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_b = 3320 \text{ KN/cm}^2$$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

$$E_{sc} = 20000 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 36,5 \text{ KN/cm}^2$$

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımlar

$$R_{s,ser15} = 129,5 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s12} = 110 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s15} = 108 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_s = 18000 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s,ser12} = 133,5 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{pd} = 139,13 \text{ KN/cm}^2$$

Kirişe etkiyen yüklerin hesabı

$$g_{\varphi\delta} = 120 \text{ KN}$$

$$P_{d1} = 1,1275 \text{ KN/m}^2$$

$$p_{kk} = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{\varphi\delta} = 0,9166663 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi} = 0,95 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{kar1} = 1,12 \text{ KN/m}^2$$

$$G_d = 1,025 \text{ KN/m}^2$$

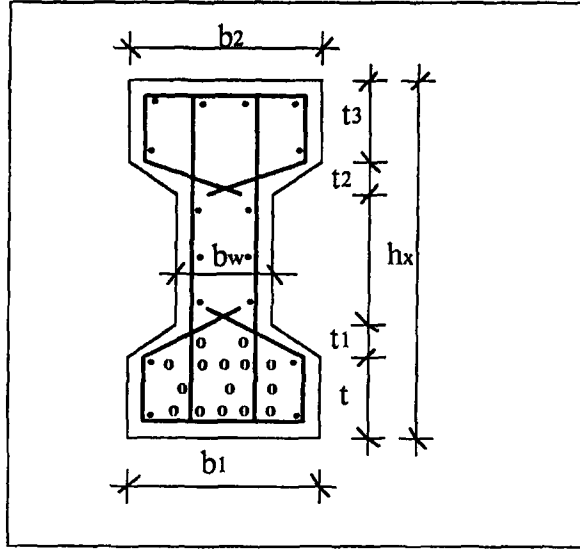
$$G = 2,808333 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi\delta} = 0,833333 \text{ KN/m}^2$$

$$P = 3,2392663 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{\varphi} = 1,1951 \text{ KN/m}^2$$

Kiriş I kesitli profil düşünülerek boyutlandırma yapılırsa



Şekil 5.4. 24 m açıklıklı çatı makası kesiti

Kesitin boyutlandırılması

$$l/10 \geq H_o \geq 1/15 \text{ ise}$$

$$d_2 = 11 \text{ cm}$$

$$H_o = 2 \text{ m}$$

$$d_3 = 19 \text{ cm}$$

$$h_m = 1 \text{ m}$$

$$d_4 = 23 \text{ cm}$$

$$x = 8,88 \text{ m}$$

$$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$$

$$h_x = 174 \text{ cm}$$

$$\Delta_t = 65 \text{ C}^\circ$$

$$b_1 = 30 \text{ cm}$$

$$\xi = 0,35$$

$$b_w = 10 \text{ cm}$$

$$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$$

$$b_2 = 30 \text{ cm}$$

$$\alpha_{91st} = 0,85$$

$$t = 19 \text{ cm}$$

$$\psi = 1,75$$

$$t_1 = 6 \text{ cm}$$

$$P_d = 26,155596 \text{ KN/m}$$

$$t_2 = 14 \text{ cm}$$

$$\max M_x = 175589,839515 \text{ KN.cm}$$

$$t_3 = 6 \text{ cm}$$

$$h_{ox} = 171 \text{ cm}$$

$$h_a = 129 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 27,16511 \text{ cm}^2$$

$$d_1 = 3 \text{ cm}$$

Yüksek dayanımlı donatı halatı kullanılırsa

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp1} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp4} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp2} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp3} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_{sp1} = 7$$

Tane $A_{sp2} = 5$	$h_1 = 12, \text{ cm}$
Tane $A_{sp3} = 5$	$d = 162, \text{ cm}$
Tane $A_{sp4} = 3$	$\rho = 0,005827$
Tane $A_s = 14$	$f'_{pd} = 119,513626 \text{ KN/cm}^2$
$A_{sp1} = 9,912 \text{ cm}^2$	$a = 139,126644 \text{ cm}$
$A_{sp2} = 7,08 \text{ cm}^2$	$A_b = 2520 \text{ cm}^2$
$A_{sp3} = 7,08 \text{ cm}^2$	$y_1 = 84,321429 \text{ cm}$
$A_{sp4} = 4,248 \text{ cm}^2$	$y_2 = 89,678571 \text{ cm}$
$A_{sp} = 28,32 \text{ cm}^2$	$r = 20,115249 \text{ cm}$
$A_s = 15,82 \text{ cm}^2$	$e_{op} = 72,321429 \text{ cm}$
$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam	

Öngerilme kayıplarının hesaplanması

$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_9 = 7,101611 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_3 = 1,5 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{los1} = 25,360893 \text{ KN/cm}^2$
$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{los2} = 11,101611 \text{ KN/cm}^2$
$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$	$\sigma_{los} = 36,462504 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_6 = 0,71$	$\gamma_{sp} = 0,9$
$\beta = 1,846$	$P = 2024,3773 \text{ KN}$
$P_1 = 2837,67524 \text{ KN}$	$M_1 = 187126,713431 \text{ KN.cm}^2$
$\alpha_1 = 5,421687$	$W_{ret} = 182587,586042 \text{ cm}^3$
$\alpha_2 = 6,024096$	$W_{pl} = 319528,275574 \text{ cm}^3$
$A_{ret} = 2768,843375 \text{ cm}^2$	$M_2 = 67100,937871 \text{ KN.cm}$
$\sigma_{tp} = 1,02486 \text{ KN/cm}^2$	$M_{arc} = 254227,651302 \text{ KN.cm}$
$\sigma_6 = 2,227957 \text{ KN/cm}^2$	$\max M_x < M_{arc}$ ise tamam
$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$	

5.2. Visual Basic İle Betonarme Paralel Başlıklı Kafes Kiriş Hesabı

Ek-B'deki akış diyagramına göre, Visual Basic'te hazırlanmış olan bilgisayar programında, betonarme paralel başlıklı kafes kiriş 18, 24, 30 ve 36 m açıklıkta çözülmüştür. (Ek- B'deki akış diyagramı kaynak Hanmehmetova Z. 1999, Hanmehmetova Z. 2000' deki förmüller ve çözüm yöntemlerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.)

Çözümde diğer taşıyıcı çatı sistemler ile karşılaştırma yapılabilmesi için iki kiriş arası (B) 6 m alınmıştır. Ayrıca beton (C 35) için hesap dayanımları, donatı çeliği (S 420) için hesap dayanımları, yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları, kirişe etkiyen sabit yükler ve kar yükleri belirli değerlerde alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Kafes kiriş çatı çubuklarındaki kuvvetler hesaplanıp; paralel başlıklı kafes kirişin çubukları boyutlandırılmış, çubuklara etkiyen yüklere göre öngerilmeli ve öngerilmesiz olarak hesaplanmıştır. Paralel başlıklı kafes kirişin alt başlık çubukları öngerilmeli olarak, diğer çubuklar ise genelde öngerilmesiz olarak çözülmüştür. Fakat dirsek çubuklarına gelen kuvvetler çok fazla ise bu çubuklar öngerilmeli olarak hesaplanması daha ekonomik hafif olmasını sağlar.

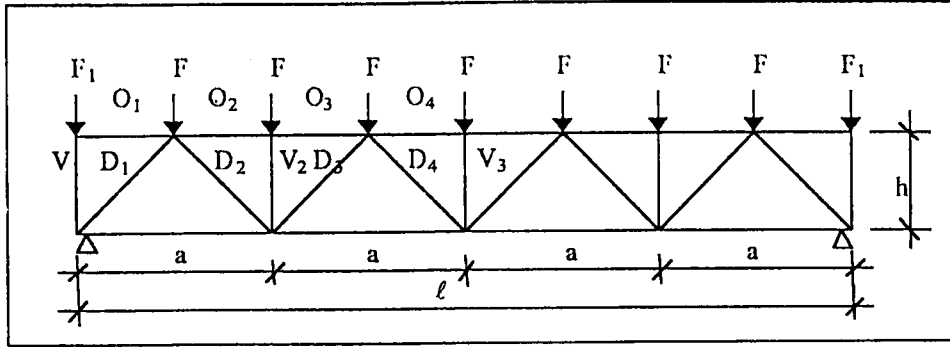
Öngerilmesiz çubuklarda, çubuğa etkiyen maksimum kuvvete göre ön tasarım yapılmış, betonu çatlatacak olan kritik kuvvetin kontrolü yapılarak çubukların boyutlandırılması ve donatı hesabı yapılmıştır.

Öngerilmeli çubukların hesabı, çubuğa etkiyen maksimum kuvvete göre; çubuk boyutları, öngerilme donatıları ve konstrüktif donatılar seçilerek dönüştürülmüş kesit alanı bulunmuştur. Daha sonra birincil ve ikincil öngerilme kayıpları hesaplanarak toplam öngerilme kayıpları bulunmuştur. Bu öngerilme kayıplarından yararlanılarak sıkıştırma kuvveti hesaplanmış; en son olarak da çatlama oluştuğu anda kesit tarafından taşınan kuvvet hesaplanmıştır. Çatlama dayanımı sağlanmadı ise çubuğun boyutlandırılması ve donatılması tekrar yapılmıştır.

Çubuğun çatlama dayanımı kontrolünün yapılması için öngerilme kayıpları hesaplanmıştır. Öngerilme kayıpları dikkate alınarak gerçek sıkıştırma kuvveti hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara göre çubuğu çatlatacak kritik kuvvet bulunmuştur. Son olarak da çatlama dayanımının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmiştir.

Öngerilmesiz olarak hesaplanacak çubukların çatlama dayanımının sağlanıp sağlanmadığı ikinci bir kontrol olan TS- 500'deki aksenal basınç elemanlarına uygulanacak kuvvet için konulan üst sınır değeri için boyutlandırma kontrol edilmiştir.

Örnek 5.2.1. 18 m açıklıklı kafes kiriş hesabı



Şekil 5.5. 18 m açıklıklı kafes kiriş

l	$= 18 \text{ m}$	F	$= 1 \text{ KN}$
h	$= 2 \text{ m}$	F_i	$= 0,5 \text{ KN}$
a	$= 2,25 \text{ m}$	F sayısı (n)	$= 7$
B	$= 6 \text{ m}$	F_i sayısı (n_1)	$= 2$

Beton için hesap dayanımları

f_{cd}	$= 2,3 \text{ KN/cm}^2$	f_{ctd}	$= 0,135 \text{ KN/cm}^2$
f_{ctk}	$= 0,21 \text{ KN/cm}^2$	E_b	$= 3320 \text{ KN/cm}^2$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

E_{sc}	$= 20000 \text{ KN/cm}^2$	f_{yd}	$= 36,5 \text{ KN/cm}^2$
----------	---------------------------	----------	--------------------------

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları

$R_{s,ser15}$	$= 129,5 \text{ KN/cm}^2$	R_{s12}	$= 110 \text{ KN/cm}^2$
R_{s15}	$= 108 \text{ KN/cm}^2$	E_s	$= 18000 \text{ KN/cm}^2$
$R_{s,ser12}$	$= 133,5 \text{ KN/cm}^2$		

Kirişe etkiyen yüklerin hesabı

γ_n	$= 0,95$	$P_{\varphi\delta}$	$= 0,9166663 \text{ KN/m}^2$
p_{kk}	$= 0,8 \text{ KN/m}^2$	G	$= 3,833333 \text{ KN/m}^2$
p_{ku}	$= 0,24 \text{ KN/m}^2$	P	$= 4,3667663 \text{ KN/m}^2$
$g_{\varphi\delta}$	$= 90 \text{ KN}$	P_{kar1}	$= 1,12 \text{ KN/m}^2$
G_{φ}	$= 0,95 \text{ KN/m}^2$	P_{ku}	$= 0,336 \text{ KN/m}^2$
G_d	$= 2,050 \text{ KN/m}^2$	$R_A = R_B$	$= 4 \text{ KN}$
P_{φ}	$= 1,1951 \text{ KN/m}^2$	$\tan \alpha$	$= 0,888889$
P_{d1}	$= 2,255 \text{ KN/m}^2$	$\sin \alpha$	$= 0,664364$
$G_{\varphi\delta}$	$= 0,833333 \text{ KN/m}^2$	$\cos \alpha$	$= 0,747409$

Düğüm yükleri hesabı

$$\begin{aligned} F_{b1} &= 56,00377777975 \text{ KN} & F_{n1} &= 49,162495725 \text{ KN} \\ F_{b2} &= 14,364 \text{ KN} & F_{n2} &= 10,26 \text{ KN} \\ F_{b3} &= 4,3092 \text{ KN} & F_{n3} &= 3,078 \text{ KN} \end{aligned}$$

Birim yüklemeden dolayı kafes çatı makas çubuklarında oluşan kuvvetler

$$\begin{aligned} O_1 &= 0 & O_3 &= -6,749995 \\ V_1 &= -0,5 & D_3 &= -2,257798 \\ D_1 &= -5,268196 & U_2 &= 8,437493 \\ U_1 &= 3,937497 & D_4 &= 0,752599 \\ D_2 &= 3,762997 & O_4 &= -8,999993 \\ O_2 &= -6,749995 & V_3 &= -1, \\ V_2 &= -1, \end{aligned}$$

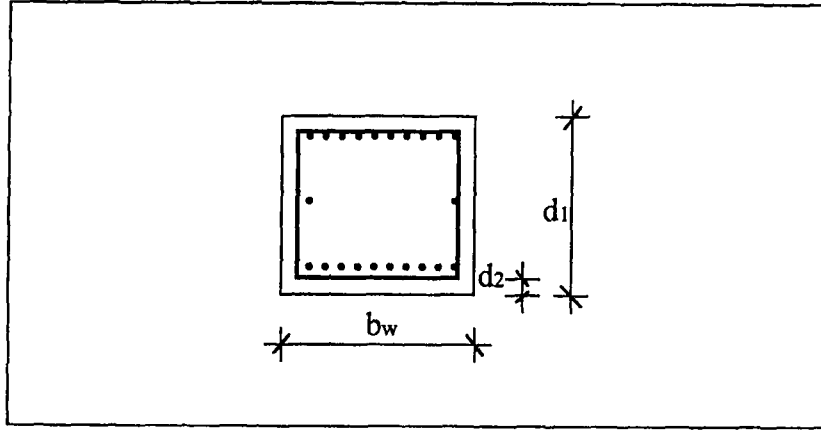
Kafes çatı makas elamanlarındaki kuvvetler

$$\begin{aligned} F_{n1O1} &= 0, \text{ KN} & F_{1O4} &= -504,033608 \text{ KN} \\ F_{n1O2} &= -331,8466 \text{ KN} & F_{1U1} &= 220,514707 \text{ KN} \\ F_{n1O3} &= -331,8466 \text{ KN} & F_{1U2} &= 472,531483 \text{ KN} \\ F_{n1O4} &= -442,462117 \text{ KN} & F_{1D1} &= -295,038878 \text{ KN} \\ F_{n1U1} &= 193,577179 \text{ KN} & F_{1D2} &= 210,742048 \text{ KN} \\ F_{n1U2} &= 414,808214 \text{ KN} & F_{1D3} &= -126,445218 \text{ KN} \\ F_{n1D1} &= -258,997663 \text{ KN} & F_{1D4} &= 42,148387 \text{ KN} \\ F_{n1D2} &= 184,998324 \text{ KN} & F_{1V1} &= -28,001889 \text{ KN} \\ F_{n1D3} &= -110,998985 \text{ KN} & F_{1V2} &= -56,003778 \text{ KN} \\ F_{n1D4} &= 36,999645 \text{ KN} & F_{1V3} &= -56,003778 \text{ KN} \\ F_{n1V1} &= -24,581248 \text{ KN} & F_{n2O1} &= 0, \text{ KN} \\ F_{n1V2} &= -49,162496 \text{ KN} & F_{n2O2} &= -69,254949 \text{ KN} \\ F_{n1V3} &= -49,162496 \text{ KN} & F_{n2O3} &= -69,254949 \text{ KN} \\ F_{1O1} &= 0, \text{ KN} & F_{n2O4} &= -92,339928 \text{ KN} \\ F_{1O2} &= -378,02522 \text{ KN} & F_{n2U1} &= 40,398719 \text{ KN} \\ F_{1O3} &= -378,02522 \text{ KN} & F_{n2U2} &= 86,568678 \text{ KN} \end{aligned}$$

$F_{3D4} = 3,2431 \text{ KN}$	$F_{12V2} = -70,367778 \text{ KN}$
$F_{3V1} = -2,1546 \text{ KN}$	$F_{12V3} = -70,367778 \text{ KN}$
$F_{3V2} = -4,3092 \text{ KN}$	$F_{n13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{3V3} = -4,3092 \text{ KN}$	$F_{n13O2} = -352,623085 \text{ KN}$
$F_{n12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n13O3} = -352,623085 \text{ KN}$
$F_{n12O2} = -401,101549 \text{ KN}$	$F_{n13O4} = -470,164096 \text{ KN}$
$F_{n12O3} = -401,101549 \text{ KN}$	$F_{n13U1} = 205,696795 \text{ KN}$
$F_{n12O4} = -534,802046 \text{ KN}$	$F_{n13U2} = 440,778817 \text{ KN}$
$F_{n12U1} = 233,975899 \text{ KN}$	$F_{n13D1} = -275,213171 \text{ KN}$
$F_{n12U2} = 501,376892 \text{ KN}$	$F_{n13D2} = 196,580829 \text{ KN}$
$F_{n12D1} = -313,049354 \text{ KN}$	$F_{n13D3} = -117,948487 \text{ KN}$
$F_{n12D2} = 223,606673 \text{ KN}$	$F_{n13D4} = 39,316145 \text{ KN}$
$F_{n12D3} = -134,163992 \text{ KN}$	$F_{n13V1} = -26,120248 \text{ KN}$
$F_{n12D4} = 44,721311 \text{ KN}$	$F_{n13V2} = -52,240496 \text{ KN}$
$F_{n12V1} = -29,711248 \text{ KN}$	$F_{n13V3} = -52,240496 \text{ KN}$
$F_{n12V2} = -59,422496 \text{ KN}$	$F_{13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{n12V3} = -59,422496 \text{ KN}$	$F_{13O2} = -407,112299 \text{ KN}$
$F_{12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{13O3} = -407,112299 \text{ KN}$
$F_{12O2} = -474,982148 \text{ KN}$	$F_{13O4} = -542,816378 \text{ KN}$
$F_{12O3} = -474,982148 \text{ KN}$	$F_{13U1} = 237,482169 \text{ KN}$
$F_{12O4} = -633,309508 \text{ KN}$	$F_{13U2} = 508,890328 \text{ KN}$
$F_{12U1} = 277,072914 \text{ KN}$	$F_{13D1} = -317,740588 \text{ KN}$
$F_{12U2} = 593,727633 \text{ KN}$	$F_{13D2} = 226,957555 \text{ KN}$
$F_{12D1} = -370,711246 \text{ KN}$	$F_{13D3} = -136,174521 \text{ KN}$
$F_{12D2} = 264,793737 \text{ KN}$	$F_{13D4} = 45,391487 \text{ KN}$
$F_{12D3} = -158,876228 \text{ KN}$	$F_{13V1} = -30,156489 \text{ KN}$
$F_{12D4} = 52,958719 \text{ KN}$	$F_{13V2} = -60,312978 \text{ KN}$
$F_{12V1} = -35,183889 \text{ KN}$	$F_{13V3} = -60,312978 \text{ KN}$

$F_{n2D1} = -54,051691 \text{ KN}$	$F_{n3O2} = -20,776485 \text{ KN}$
$F_{n2D2} = 38,608349 \text{ KN}$	$F_{n3O3} = -20,776485 \text{ KN}$
$F_{n2D3} = -23,165007 \text{ KN}$	$F_{n3O4} = -27,701978 \text{ KN}$
$F_{n2D4} = 7,721666 \text{ KN}$	$F_{n3U1} = 12,119616 \text{ KN}$
$F_{n2V1} = -5,13 \text{ KN}$	$F_{n3U2} = 25,970603 \text{ KN}$
$F_{n2V2} = -10,26 \text{ KN}$	$F_{n3D1} = -16,215507 \text{ KN}$
$F_{n2V3} = -10,26 \text{ KN}$	$F_{n3D2} = 11,582505 \text{ KN}$
$F_{2O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n3D3} = -6,949502 \text{ KN}$
$F_{2O2} = -96,956928 \text{ KN}$	$F_{n3D4} = 2,3165 \text{ KN}$
$F_{2O3} = -96,956928 \text{ KN}$	$F_{n3V1} = -1,539 \text{ KN}$
$F_{2O4} = -129,275899 \text{ KN}$	$F_{n3V2} = -3,078 \text{ KN}$
$F_{2U1} = 56,558207 \text{ KN}$	$F_{n3V3} = -3,078 \text{ KN}$
$F_{2U2} = 121,196149 \text{ KN}$	$F_{3O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{2D1} = -75,672367 \text{ KN}$	$F_{3O2} = -29,087078 \text{ KN}$
$F_{2D2} = 54,051689 \text{ KN}$	$F_{3O3} = -29,087078 \text{ KN}$
$F_{2D3} = -32,43101 \text{ KN}$	$F_{3O4} = -38,78277 \text{ KN}$
$F_{2D4} = 10,810332 \text{ KN}$	$F_{3U1} = 16,967462 \text{ KN}$
$F_{2V1} = -7,182 \text{ KN}$	$F_{3U2} = 36,358845 \text{ KN}$
$F_{2V2} = -14,364 \text{ KN}$	$F_{3D1} = -22,70171 \text{ KN}$
$F_{2V3} = -14,364 \text{ KN}$	$F_{3D2} = 16,215507 \text{ KN}$
$F_{n3O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{3D3} = -9,729303 \text{ KN}$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.6 18 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1O1=F1O2=F1O3 = -378,02522 \text{ KN}$$

$$F12O1=F12O2=F12O3 = -474,982148 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$M_1 = 949,964296 \text{ KN.cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$\delta_e = 0,10125$$

$$a_w = 225 \text{ cm}$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\mu = 0,025$$

$$\delta_e = 0,10125$$

$$\beta = 1$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = 843,394942 \text{ KN}$$

$$A_o = 174,882971 \text{ cm}^2$$

$$N_{cr} > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$A_b = 360 \text{ cm}^2$$

$$\max N_d = 745,2 \text{ KN}$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$\max N_d > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$e_a = 0,375 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 9 \text{ cm}^2$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$I_o = 202,5 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$I_o = 4320, \text{ cm}^4$$

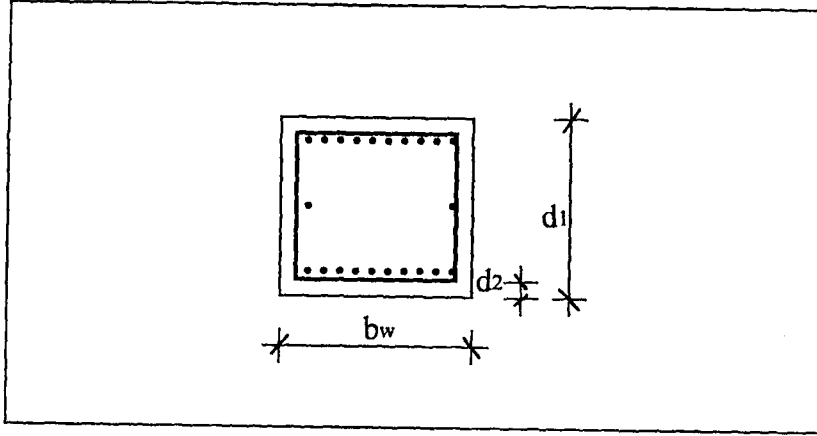
$$A_s = 9,24 \text{ cm}^2$$

$$I_s = 12, \text{ cm}^4$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

$$M_{II} = 756,05044 \text{ KN.cm}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.7 18 m açıklıklı öngerilmemiş O4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F_{1O4} = -504,033608 \text{ KN}$$

$$F_{12O4} = -633,309508 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 225 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 233,177286 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 360 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,375 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$I_o = 202,5 \text{ cm}^4$$

$$I_o = 4320, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 12, \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 1008,067216 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 1266,619016 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,10125$$

$$\delta_{\text{emin}} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,10125$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{\text{crc}} = 843,394942 \text{ KN}$$

$$N_{\text{crc}} > F_{12O4} \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 745,2 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F_{12O4} \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 9 \text{ cm}^2$$

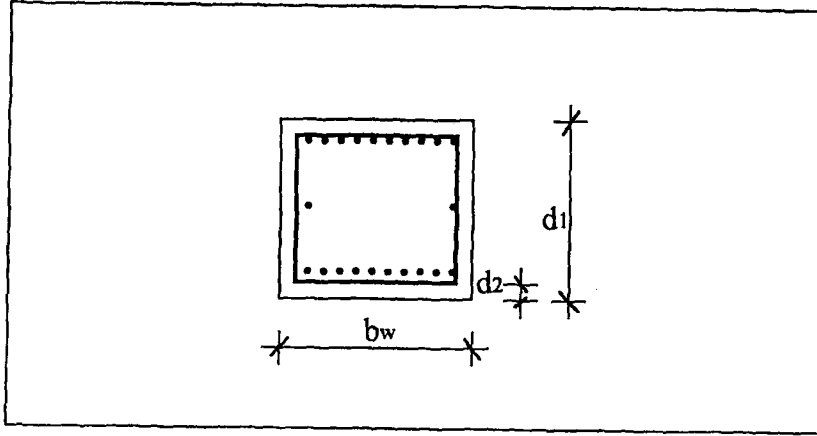
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$A_s = 9,24 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.8 18 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D1 = -295,038878 \text{ KN}$$

$$F12D1 = -370,711246 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 301 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 136,491622 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 270,9 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 590,077756 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 741,422492 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cr} = 331,567536 \text{ KN}$$

$$N_{cr} > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

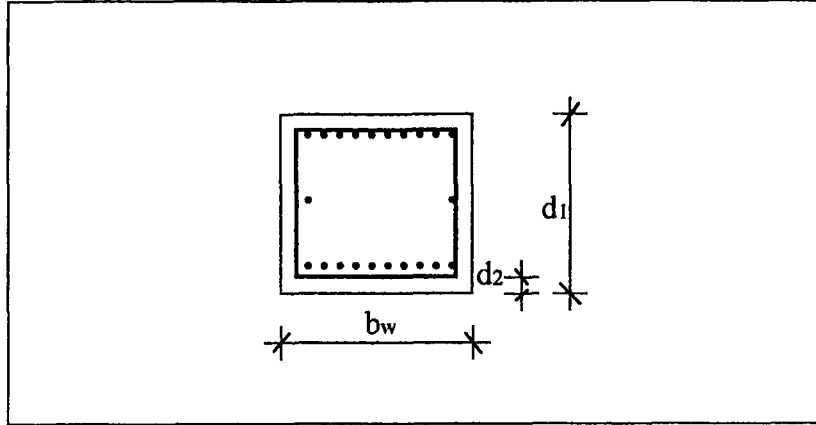
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$A_s = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.9.18 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D2 = 210,742048 \text{ KN}$$

$$F12D2 = 264,793737 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 301 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 97,494012 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$I_o = 270,9 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{II} = 421,484096 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 529,587474 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{crc} = 331,567536 \text{ KN}$$

$$N_{crc} > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

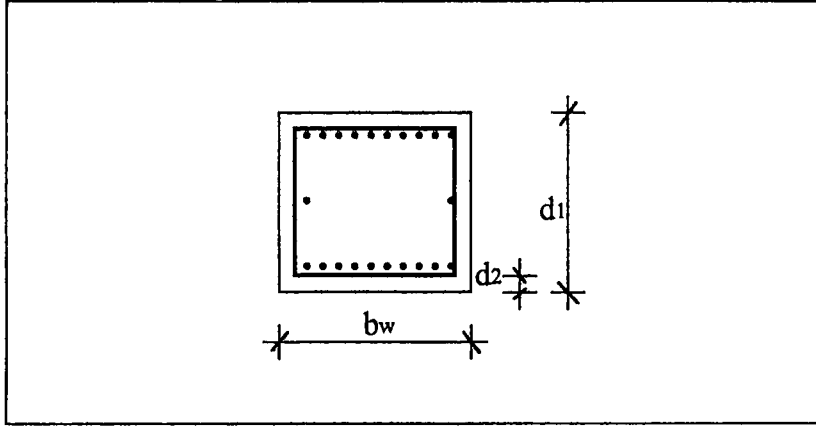
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$A_s = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.10.18 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D3 = -126,445218 \text{ KN}$$

$$F12D3 = -158,876228 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 301 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 58,496402 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 270,9 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 252,890436 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 317,752456 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cre} = 331,567536 \text{ KN}$$

$$N_{cre} > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

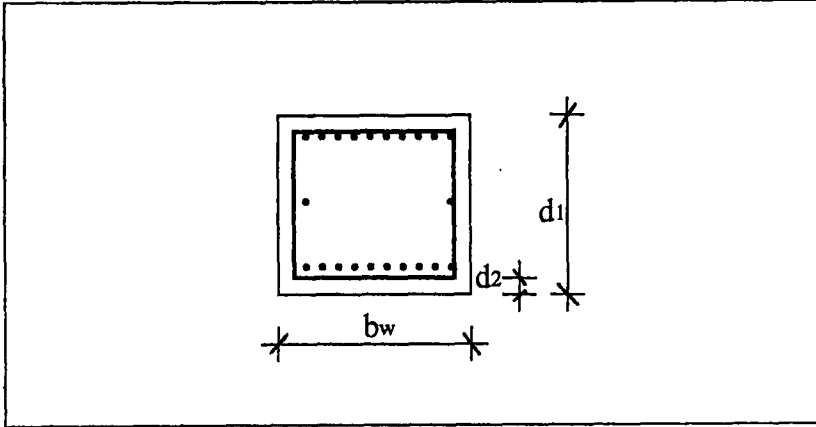
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$A_s = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.11.18 m açıklıklı öngerilmemiş D4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D4 = 42,148387 \text{ KN}$$

$$F12D4 = 52,958719 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 301 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 19,498792 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 270,9 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 84,296774 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 105,917438 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,04425$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{orc} = 331,567536 \text{ KN}$$

$$N_{orc} > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

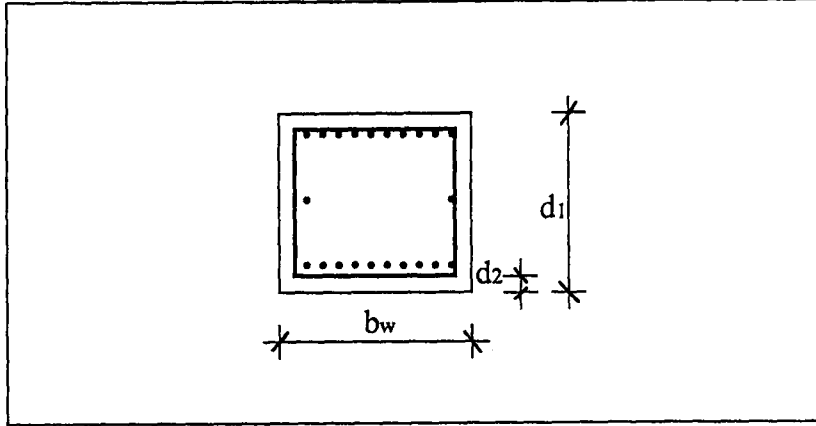
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$A_s = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.12.18 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V1 = -28,001889 \text{ KN}$$

$$F12V1 = -35,183889 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$M_1 = 70,367778 \text{ KN.cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$\delta_e = 0,12$$

$$a_w = 200 \text{ cm}$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\mu = 0,025$$

$$\delta_e = 0,12$$

$$\beta = 1$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$N_{cr} = 530,097952 \text{ KN}$$

$$A_o = 12,954304 \text{ cm}^2$$

$$N_{cr} > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$\max N_d > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$l_o = 180 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

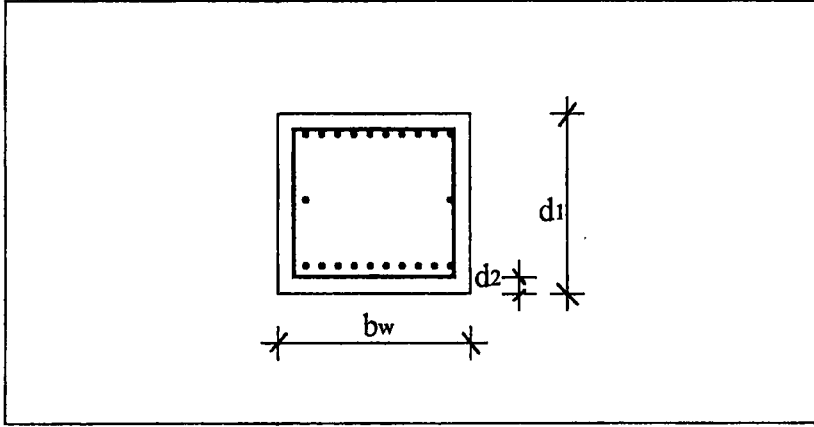
$$A_s = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

$$M_{11} = 56,003778 \text{ KN.cm}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.14. 18 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V3 = -56,003778 \text{ KN}$$

$$F12V3 = -70,367778 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 200 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 25,908608 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 180 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 112,007556 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 140,735556 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,12$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,12$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 530,097952 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

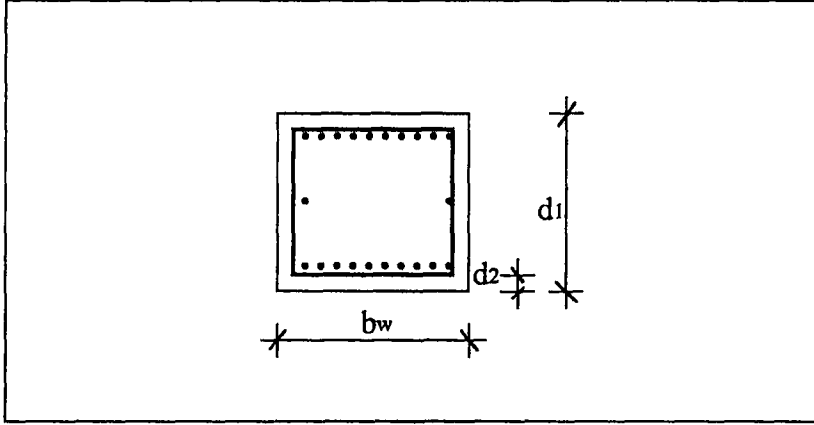
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$A_s = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.13. 18 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V2 = -56,003778 \text{ KN}$$

$$F12V2 = -70,367778 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 200 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 25,908608 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 180 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 112,007556 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 140,735556 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,12$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,12$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 530,097952 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

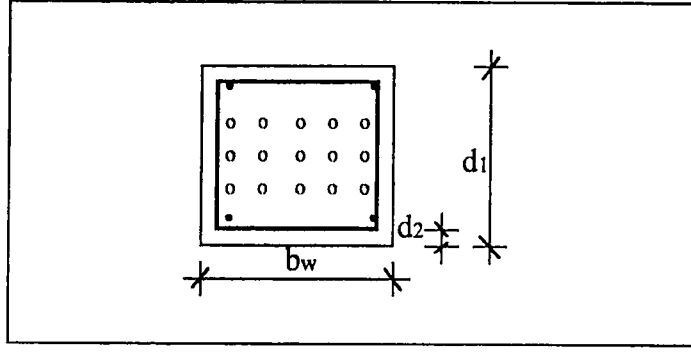
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$A_s = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.15. 18 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti

$$F_{12U1} = 277,072914 \text{ KN}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$F_{n12U1} = 233,975899 \text{ KN}$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$A_{sp} = 5,664 \text{ cm}^2$$

$$d = 12 \text{ cm}$$

$$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$$

$$l_1 = 450 \text{ cm}$$

$$A_{sp} > A_{st} \text{ ise tamam}$$

$$R = 15 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,024511$$

$$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$$

$$\alpha_1 = 5,421687$$

$$\gamma_{s6} = 1,15$$

$$\alpha_2 = 6,024096$$

$$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$$

$$A_{ret} = 409,744579 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_i = 0,85$$

$$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$$

$$\alpha_{91st} = 0,85$$

$$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$$

$$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$$

$$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$$

$$\delta = 1,2$$

$$\sigma_3 = 8 \text{ KN/cm}^2$$

$$\psi_t = 1$$

$$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\eta = 1,2$$

$$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\alpha c} = 0,2 \text{ mm}$$

$$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$$

$$A_b = 360 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_6 = 0,71$$

$$N_{kr} = 48,6 \text{ KN}$$

$$\beta = 1,846$$

$$A_{st} = 2,230861 \text{ cm}^2$$

$$P_1 = 530,719049 \text{ KN}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bp} = 1,295244 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Tane } A_{sp} = 4$$

$$\sigma_6 = 2,815748 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 8,975196 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 32,448684 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 12,975196 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 45,42388 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 352,241783 \text{ KN}$$

$$N_{\text{crc}} = 427,464694 \text{ KN}$$

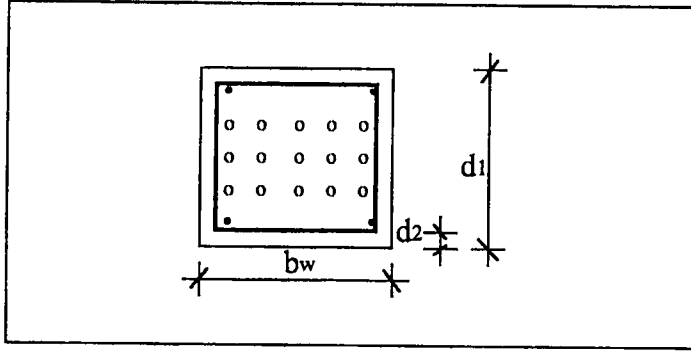
$$N_{\text{crc}} > F12U1 \text{ ise tamam}$$

$$\sigma_{\text{sn}} = -47,230784 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = -0,195483 \text{ mm}$$

$$a_{\text{crc}} > a_{\text{cr}} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.16. 18 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti

$F_{12U2} = 593,727633 \text{ KN}$	Kesit Alanı $A_s = 0,79 \text{ cm}^2$
$F_{n12U2} = 501,376892 \text{ KN}$	Tane $A_s = 4$
$b_w = 30 \text{ cm}$	$A_{sp} = 8,496 \text{ cm}^2$
$d = 14 \text{ cm}$	$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$
$l_1 = 450 \text{ cm}$	$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam
$R = 15 \text{ mm}$	$\mu = 0,027752$
$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha_1 = 5,421687$
$\gamma_{s6} = 1,15$	$\alpha_2 = 6,024096$
$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$	$A_{ret} = 485,098796 \text{ cm}^2$
$\gamma_i = 0,85$	$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_{91st} = 0,85$	$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$
$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$	$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$
$\delta = 1,2$	$\sigma_3 = 8 \text{ KN/cm}^2$
$\psi_t = 1$	$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\eta = 1,2$	$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$a_{arc} = 0,2 \text{ mm}$	$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$
$A_b = 420 \text{ cm}^2$	$\alpha_6 = 0,71$
$N_{kr} = 56,7 \text{ KN}$	$\beta = 1,846$
$A_{st} = 4,780416 \text{ cm}^2$	$P_1 = 796,078573 \text{ KN}$
Kesit Alanı $A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$	$\sigma_{bp} = 1,641065 \text{ KN/cm}^2$
Tane $A_{sp} = 6$	$\sigma_6 = 5,693929 \text{ KN/cm}^2$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 7,74302 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 35,326865 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 11,74302 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 47,069885 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 533,550146 \text{ KN}$$

$$N_{\text{crc}} = 624,964513 \text{ KN}$$

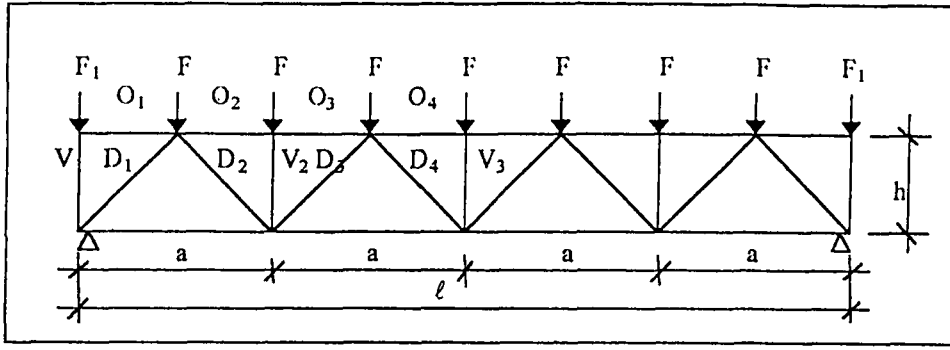
$$N_{\text{crc}} > F_{12U2} \text{ ise tamam}$$

$$\sigma_{\text{sn}} = -6,02947 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = -0,017244 \text{ mm}$$

$$a_{\text{crc}} > a_{\text{cr}} \text{ ise tamam}$$

Örnek 5.2.2. 24 m açıklıklı kafes kiriş hesabı



Şekil 5.17. 24 m açıklıklı kafes kiriş

l	$= 24 \text{ m}$	F	$= 1 \text{ KN}$
h	$= 2,7 \text{ m}$	F_i	$= 0,5 \text{ KN}$
a	$= 3 \text{ m}$	F sayısı (n)	$= 7$
B	$= 6 \text{ m}$	F_i sayısı (n_1)	$= 2$

Beton için hesap dayanımları

f_{cd}	$= 2,3 \text{ KN/cm}^2$	f_{ctd}	$= 0,135 \text{ KN/cm}^2$
f_{ctk}	$= 0,21 \text{ KN/cm}^2$	E_b	$= 3320 \text{ KN/cm}^2$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

E_{sc}	$= 20000 \text{ KN/cm}^2$	f_{yd}	$= 36,5 \text{ KN/cm}^2$
----------	---------------------------	----------	--------------------------

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları

$R_{s,ser15}$	$= 129,5 \text{ KN/cm}^2$	R_{s12}	$= 110 \text{ KN/cm}^2$
R_{s15}	$= 108 \text{ KN/cm}^2$	E_s	$= 18000 \text{ KN/cm}^2$
$R_{s,ser12}$	$= 133,5 \text{ KN/cm}^2$		

Kirişe etkiyen yüklerin hesabı

γ_n	$= 0,95$	$P_{\varphi 8}$	$= 0,9166663 \text{ KN/m}^2$
p_{kk}	$= 0,8 \text{ KN/m}^2$	G	$= 3,8333333 \text{ KN/m}^2$
p_{ku}	$= 0,24 \text{ KN/m}^2$	P	$= 4,3667663 \text{ KN/m}^2$
$g_{\varphi 8}$	$= 120 \text{ KN}$	P_{kar1}	$= 1,12 \text{ KN/m}^2$
G_{φ}	$= 0,95 \text{ KN/m}^2$	P_{ku}	$= 0,336 \text{ KN/m}^2$
G_d	$= 2,050 \text{ KN/m}^2$	$R_A = R_B$	$= 4 \text{ KN}$
P_{φ}	$= 1,1951 \text{ KN/m}^2$	$\tan \alpha$	$= 0,9$
P_{d1}	$= 2,255 \text{ KN/m}^2$	$\sin \alpha$	$= 0,668965$
$G_{\varphi 8}$	$= 0,8333333 \text{ KN/m}^2$	$\cos \alpha$	$= 0,743294$

Düğüm yükleri hesabı

$$F_{b1} = 74,67170373 \text{ KN}$$

$$F_{n1} = 65,5499943 \text{ KN}$$

$$F_{b2} = 19,152 \text{ KN}$$

$$F_{n2} = 13,68 \text{ KN}$$

$$F_{b3} = 5,7456 \text{ KN}$$

$$F_{n3} = 4,104 \text{ KN}$$

Birim yüklemeden dolayı kafes çatı makas çubuklarında oluşan kuvvetler

$$O_1 = 0$$

$$O_3 = -6,666663$$

$$V_1 = -0,5$$

$$D_3 = -2,242269$$

$$D_1 = -5,231963$$

$$U_2 = 8,333328$$

$$U_1 = 3,888887$$

$$D_4 = 0,747422$$

$$D_2 = 3,737116$$

$$O_4 = -8,888882$$

$$O_2 = -6,666663$$

$$V_3 = -1,$$

$$V_2 = -1,$$

Kafes çatı makas elamanlarındaki kuvvetler

$$F_{n1O1} = 0, \text{ KN}$$

$$F_{1O4} = -663,747963 \text{ KN}$$

$$F_{n1O2} = -436,999722 \text{ KN}$$

$$F_{1U1} = 290,389818 \text{ KN}$$

$$F_{n1O3} = -436,999722 \text{ KN}$$

$$F_{1U2} = 622,2638 \text{ KN}$$

$$F_{n1O4} = -582,666164 \text{ KN}$$

$$F_{1D1} = -390,679591 \text{ KN}$$

$$F_{n1U1} = 254,916521 \text{ KN}$$

$$F_{1D2} = 279,056819 \text{ KN}$$

$$F_{n1U2} = 546,249603 \text{ KN}$$

$$F_{1D3} = -167,434046 \text{ KN}$$

$$F_{n1D1} = -342,955145 \text{ KN}$$

$$F_{1D4} = 55,811274 \text{ KN}$$

$$F_{n1D2} = 244,967932 \text{ KN}$$

$$F_{1V1} = -37,335852 \text{ KN}$$

$$F_{n1D3} = -146,98072 \text{ KN}$$

$$F_{1V2} = -74,671704 \text{ KN}$$

$$F_{n1D4} = 48,993508 \text{ KN}$$

$$F_{1V3} = -74,671704 \text{ KN}$$

$$F_{n1V1} = -32,774997 \text{ KN}$$

$$F_{n2O1} = 0, \text{ KN}$$

$$F_{n1V2} = -65,549994 \text{ KN}$$

$$F_{n2O2} = -91,19995 \text{ KN}$$

$$F_{n1V3} = -65,549994 \text{ KN}$$

$$F_{n2O3} = -91,19995 \text{ KN}$$

$$F_{1O1} = 0, \text{ KN}$$

$$F_{n2O4} = -121,599906 \text{ KN}$$

$$F_{1O2} = -497,811084 \text{ KN}$$

$$F_{n2U1} = 53,199974 \text{ KN}$$

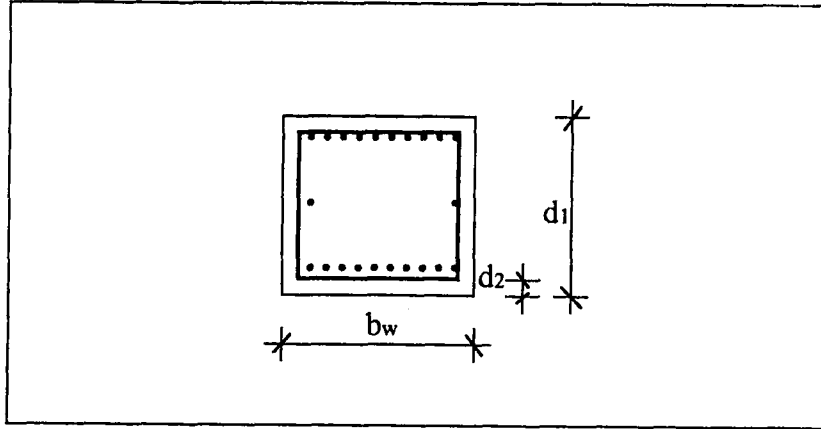
$$F_{1O3} = -497,811084 \text{ KN}$$

$$F_{n2U2} = 113,999927 \text{ KN}$$

$F_{31D4} = 4,294388 \text{ KN}$	$F_{12V2} = -93,823704 \text{ KN}$
$F_{3V1} = -2,8728 \text{ KN}$	$F_{12V3} = -93,823704 \text{ KN}$
$F_{3V2} = -5,7456 \text{ KN}$	$F_{n13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{3V3} = -5,7456 \text{ KN}$	$F_{n13O2} = -464,359707 \text{ KN}$
$F_{n12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n13O3} = -464,359707 \text{ KN}$
$F_{n12O2} = -528,199671 \text{ KN}$	$F_{n13O4} = -619,146136 \text{ KN}$
$F_{n12O3} = -528,199671 \text{ KN}$	$F_{n13U1} = 270,876513 \text{ KN}$
$F_{n12O4} = -704,26607 \text{ KN}$	$F_{n13U2} = 580,449581 \text{ KN}$
$F_{n12U1} = 308,116495 \text{ KN}$	$F_{n13D1} = -364,427121 \text{ KN}$
$F_{n12U2} = 660,24953 \text{ KN}$	$F_{n13D2} = 260,305057 \text{ KN}$
$F_{n12D1} = -414,528399 \text{ KN}$	$F_{n13D3} = -156,182992 \text{ KN}$
$F_{n12D2} = 296,091679 \text{ KN}$	$F_{n13D4} = 52,060928 \text{ KN}$
$F_{n12D3} = -177,65496 \text{ KN}$	$F_{n13V1} = -34,826997 \text{ KN}$
$F_{n12D4} = 59,218241 \text{ KN}$	$F_{n13V2} = -69,653994 \text{ KN}$
$F_{n12V1} = -39,614997 \text{ KN}$	$F_{n13V3} = -69,653994 \text{ KN}$
$F_{n12V2} = -79,229994 \text{ KN}$	$F_{13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{n12V3} = -79,229994 \text{ KN}$	$F_{13O2} = -536,115063 \text{ KN}$
$F_{12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{13O3} = -536,115063 \text{ KN}$
$F_{12O2} = -625,491014 \text{ KN}$	$F_{13O4} = -714,819924 \text{ KN}$
$F_{12O3} = -625,491014 \text{ KN}$	$F_{13U1} = 312,733807 \text{ KN}$
$F_{12O4} = -833,987831 \text{ KN}$	$F_{13U2} = 670,143769 \text{ KN}$
$F_{12U1} = 364,869782 \text{ KN}$	$F_{13D1} = -420,740358 \text{ KN}$
$F_{12U2} = 781,863697 \text{ KN}$	$F_{13D2} = 300,528792 \text{ KN}$
$F_{12D1} = -490,882146 \text{ KN}$	$F_{13D3} = -180,317227 \text{ KN}$
$F_{12D2} = 350,630064 \text{ KN}$	$F_{13D4} = 60,105662 \text{ KN}$
$F_{12D3} = -210,377982 \text{ KN}$	$F_{13V1} = -40,208652 \text{ KN}$
$F_{12D4} = 70,1259 \text{ KN}$	$F_{13V2} = -80,417304 \text{ KN}$
$F_{12V1} = -46,911852 \text{ KN}$	$F_{13V3} = -80,417304 \text{ KN}$

$F_{n2D1} = -71,573254 \text{ KN}$	$F_{n3O2} = -27,359985 \text{ KN}$
$F_{n2D2} = 51,123747 \text{ KN}$	$F_{n3O3} = -27,359985 \text{ KN}$
$F_{n2D3} = -30,67424 \text{ KN}$	$F_{n3O4} = -36,479972 \text{ KN}$
$F_{n2D4} = 10,224733 \text{ KN}$	$F_{n3U1} = 15,959992 \text{ KN}$
$F_{n2V1} = -6,84 \text{ KN}$	$F_{n3U2} = 34,199978 \text{ KN}$
$F_{n2V2} = -13,68 \text{ KN}$	$F_{n3D1} = -21,471976 \text{ KN}$
$F_{n2V3} = -13,68 \text{ KN}$	$F_{n3D2} = 15,337124 \text{ KN}$
$F_{2O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n3D3} = -9,202272 \text{ KN}$
$F_{2O2} = -127,67993 \text{ KN}$	$F_{n3D4} = 3,06742 \text{ KN}$
$F_{2O3} = -127,67993 \text{ KN}$	$F_{n3V1} = -2,052 \text{ KN}$
$F_{2O4} = -170,239868 \text{ KN}$	$F_{n3V2} = -4,104 \text{ KN}$
$F_{2U1} = 74,479964 \text{ KN}$	$F_{n3V3} = -4,104 \text{ KN}$
$F_{2U2} = 159,599898 \text{ KN}$	$F_{3O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{2D1} = -100,202555 \text{ KN}$	$F_{3O2} = -38,303979 \text{ KN}$
$F_{2D2} = 71,573246 \text{ KN}$	$F_{3O3} = -38,303979 \text{ KN}$
$F_{2D3} = -42,943936 \text{ KN}$	$F_{3O4} = -51,07196 \text{ KN}$
$F_{2D4} = 14,314626 \text{ KN}$	$F_{3U1} = 22,343989 \text{ KN}$
$F_{2V1} = -9,576 \text{ KN}$	$F_{3U2} = 47,879969 \text{ KN}$
$F_{2V2} = -19,152 \text{ KN}$	$F_{3D1} = -30,060767 \text{ KN}$
$F_{2V3} = -19,152 \text{ KN}$	$F_{3D2} = 21,471974 \text{ KN}$
$F_{n3O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{3D3} = -12,883181 \text{ KN}$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.18. 24 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1O1=F1O2=F1O3 = -497,811084 \text{ KN}$$

$$F12O1=F12O2=F12O3 = -625,491014 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$M_1 = 1563,727535 \text{ KN.cm}$$

$$d_1 = 13 \text{ cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$\delta_e = 0,062308$$

$$a_w = 300 \text{ cm}$$

$$\delta_{emin} = 0,076923$$

$$\mu = 0,025$$

$$\delta_e = 0,062308$$

$$\beta = 1$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$h = 9 \text{ cm}$$

$$N_{cre} = 722,912744 \text{ KN}$$

$$A_o = 230,298606 \text{ cm}^2$$

$$N_{cre} > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$A_b = 390 \text{ cm}^2$$

$$\max N_d = 807,3 \text{ KN}$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$\max N_d > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$e_a = 0,5 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 9,75 \text{ cm}^2$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$l_o = 270 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_s = 7$$

$$I_o = 5492,5 \text{ cm}^4$$

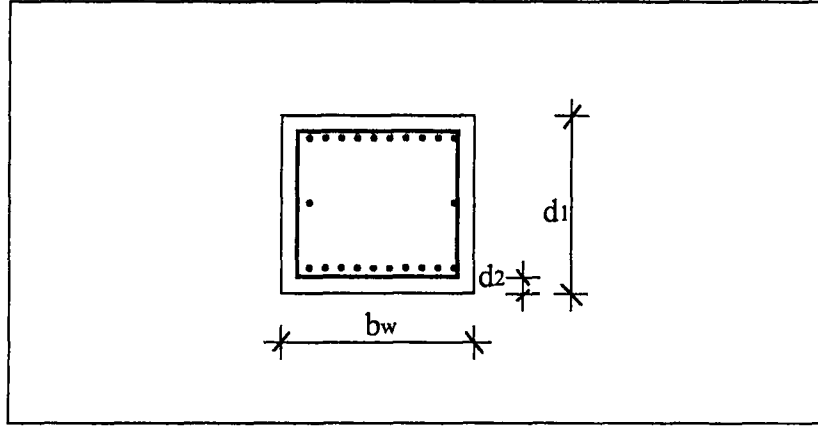
$$A_s = 10,78 \text{ cm}^2$$

$$I_s = 16,875 \text{ cm}^4$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

$$M_{11} = 1244,52771 \text{ KN.cm}$$

Öngerilmesiz çubuk hesapları



Şekil 5.19. 24 m açıklıklı öngerilmesiz O4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1O4 = -663,747963 \text{ KN}$$

$$F12O4 = -833,987831 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 300 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 307,064739 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 420 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,5 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$I_o = 270 \text{ cm}$$

$$I_o = 6860, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 22,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 1991,243889 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 2501,963493 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,077143$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = 0,077143$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 842,209007 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12O4 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 869,4 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12O4 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 10,5 \text{ cm}^2$$

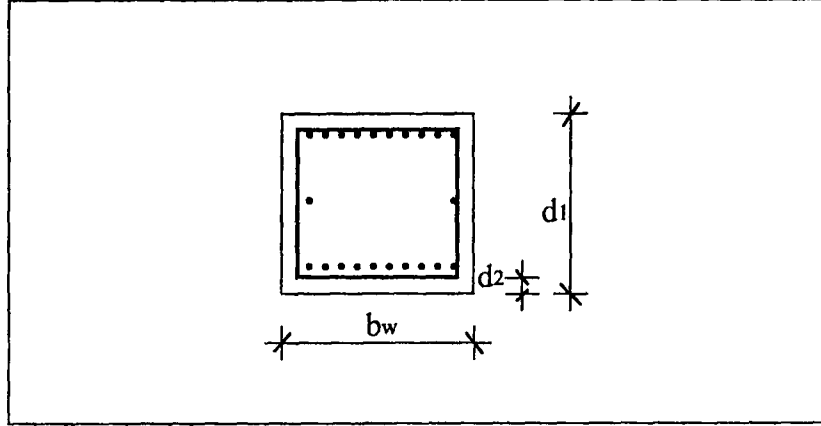
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 7$$

$$A_s = 10,78 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.20. 24 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D1 = -390,679591 \text{ KN}$$

$$F12D1 = -490,882146 \text{ KN}$$

$$b_w = 18 \text{ cm}$$

$$d_1 = 16 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 404 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$A_o = 180,737167 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 288 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 363,6 \text{ cm}$$

$$I_o = 6144, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 21,6 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 1562,718364 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 1963,528584 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,04275$$

$$\delta_{emin} = 0,0625$$

$$\delta_e = 0,04275$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 499,60236 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 596,16 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 7,2 \text{ cm}^2$$

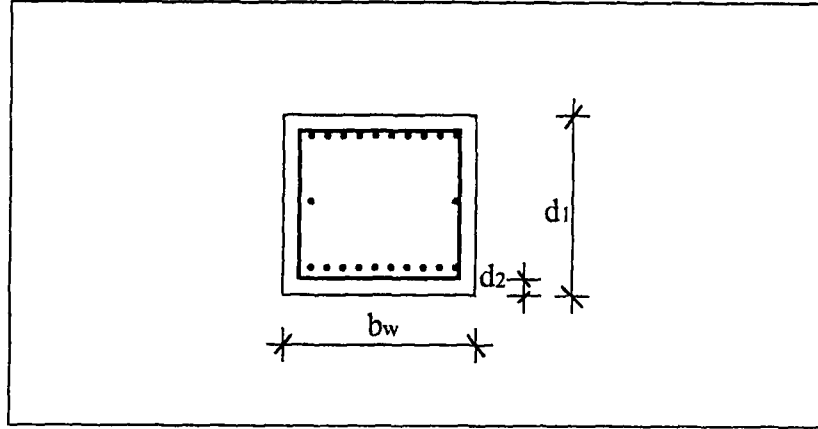
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 7,7 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.21. 24 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D2 = 279,056819 \text{ KN}$$

$$F12D2 = 350,630064 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 404 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 129,097962 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 363,6 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 558,113638 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 701,260128 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,033$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = -0,033$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cr} = 365,344443 \text{ KN}$$

$$N_{cr} > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

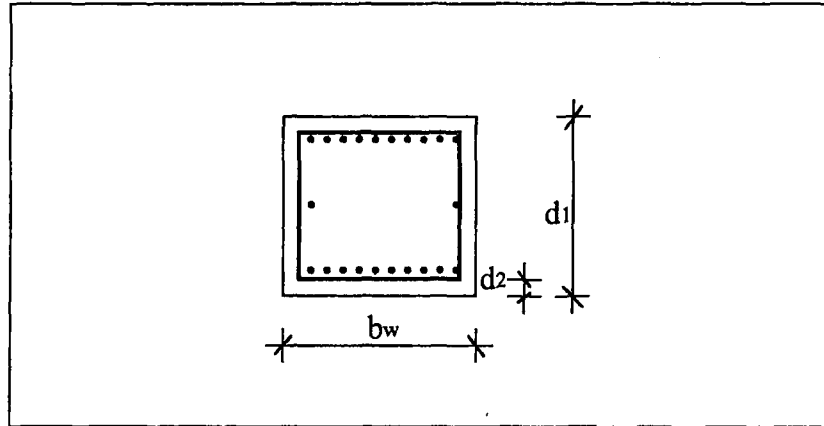
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.22. 24 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D3 = -167,434046 \text{ KN}$$

$$F12D3 = -210,377982 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 404 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 77,458756 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 363,6 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 334,868092 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 420,755964 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,033$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = -0,033$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 365,344443 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

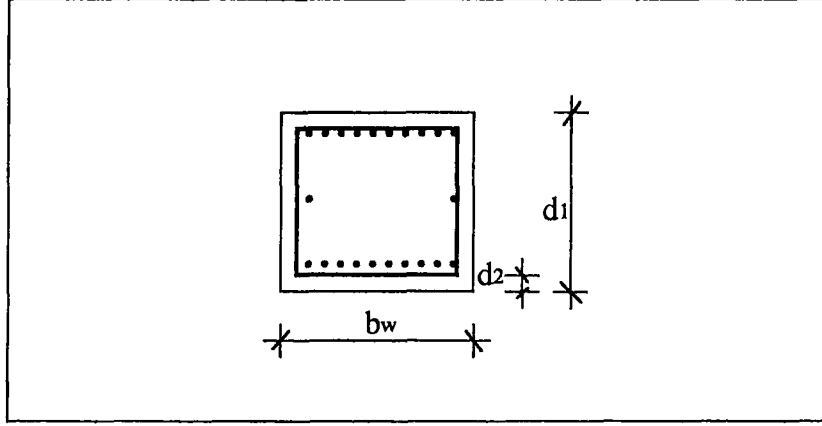
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$Tane A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmesiz çubuk hesapları



Şekil 5.23. 24 m açıklıklı öngerilmesiz D4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D4 = 55,811274 \text{ KN}$$

$$F12D4 = 70,1259 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 404 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 25,819551 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 363,6 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 111,622548 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 140,2518 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,033$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = -0,033$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 365,344443 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

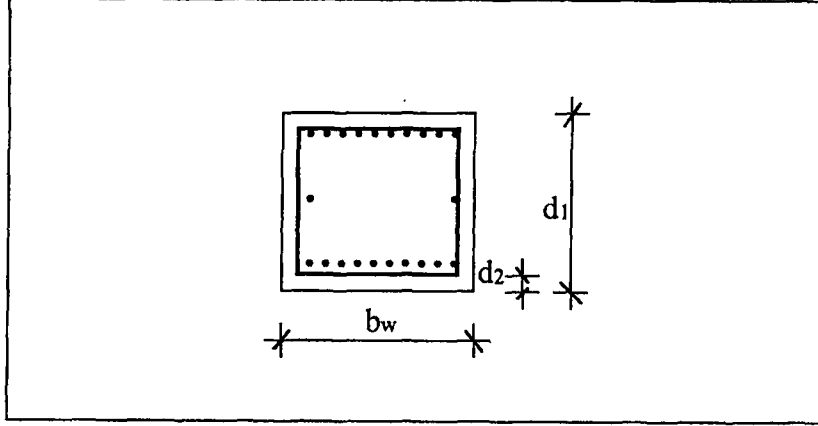
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.24. 24 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V1 = -37,335852 \text{ KN}$$

$$F12V1 = -46,911852 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 270 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 17,272405 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 243 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 74,671704 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 93,823704 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 363,211169 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

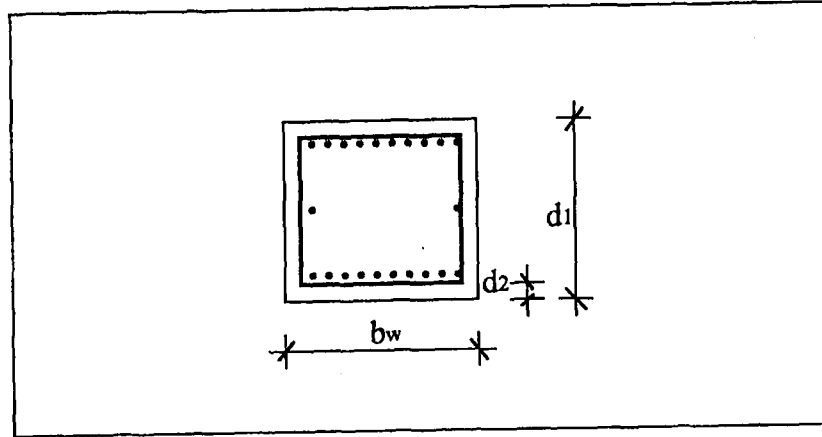
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.25. 24 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V2 = -74,671704 \text{ KN}$$

$$F12V2 = -93,823704 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 270 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 34,54481 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 243 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 149,343408 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 187,647408 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 363,211169 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

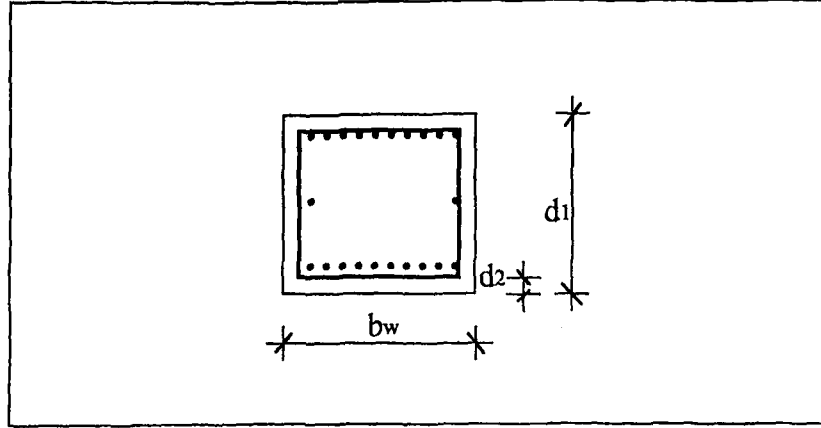
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.26. 24 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V3 = -74,671704 \text{ KN}$$

$$F12V3 = -93,823704 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 12 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 270 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 8 \text{ cm}$$

$$A_o = 34,54481 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 192 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 243 \text{ cm}$$

$$I_o = 2304, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 6,4 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 149,343408 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 187,647408 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\delta_{emin} = 0,083333$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cre} = 363,211169 \text{ KN}$$

$$N_{cre} > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 397,44 \text{ KN}$$

$$\max \dot{N}_d > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,8 \text{ cm}^2$$

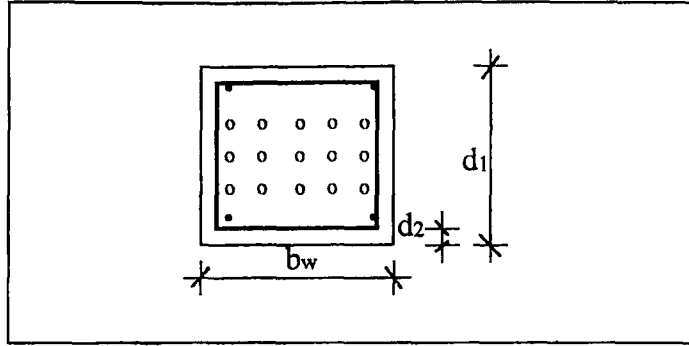
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.27. 24 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti

$F_{12U1} = 364,869782 \text{ KN}$	Kesit Alanı $A_s = 0,79 \text{ cm}^2$
$F_{n12U1} = 308,116495 \text{ KN}$	Tane $A_s = 4$
$b_w = 30 \text{ cm}$	$A_{sp} = 5,664 \text{ cm}^2$
$d = 12 \text{ cm}$	$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$
$l_1 = 600 \text{ cm}$	$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam
$R = 15 \text{ mm}$	$\mu = 0,024511$
$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha_1 = 5,421687$
$\gamma_{s6} = 1,15$	$\alpha_2 = 6,024096$
$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$	$A_{ret} = 409,744579 \text{ cm}^2$
$\gamma_i = 0,85$	$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_{91st} = 0,85$	$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$
$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$	$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$
$\delta = 1,2$	$\sigma_3 = 6 \text{ KN/cm}^2$
$\psi_t = 1$	$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\eta = 1,2$	$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$a_{arc} = 0,2 \text{ mm}$	$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$
$A_b = 360 \text{ cm}^2$	$\alpha_6 = 0,71$
$N_{kr} = 48,6 \text{ KN}$	$\beta = 1,846$
$A_{st} = 2,93776 \text{ cm}^2$	$P_1 = 542,047049 \text{ KN}$
Kesit Alanı $A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$	$\sigma_{1p} = 1,32289 \text{ KN/cm}^2$
Tane $A_{sp} = 4$	$\sigma_6 = 2,980622 \text{ KN/cm}^2$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 9,166765 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 30,613558 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 13,166765 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 43,780323 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 359,606255 \text{ KN}$$

$$N_{\text{cr}} = 434,829166 \text{ KN}$$

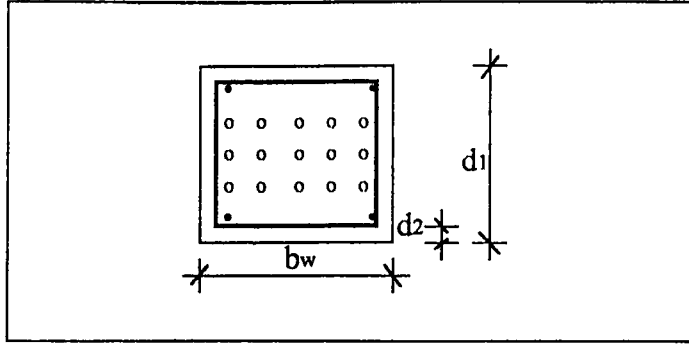
$$N_{\text{cr}} > F12U1 \text{ ise tamam}$$

$$\sigma_{\text{sn}} = -20,563003 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = -0,085108 \text{ mm}$$

$$a_{\text{cr}} > a_{\text{cr}} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.28. 24 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti

$F_{12U2} = 781,863697 \text{ KN}$	Kesit Alanı $A_s = 0,79 \text{ cm}^2$
$F_{n12U2} = 660,24953 \text{ KN}$	Tane $A_s = 4$
$b_w = 30 \text{ cm}$	$A_{sp} = 9,912 \text{ cm}^2$
$d = 18 \text{ cm}$	$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$
$l_1 = 600 \text{ cm}$	$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam
$R = 15 \text{ mm}$	$\mu = 0,024207$
$\Delta_l = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha_1 = 5,421687$
$\gamma_{s6} = 1,15$	$\alpha_2 = 6,024096$
$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$	$A_{ret} = 612,775905 \text{ cm}^2$
$\gamma_i = 0,85$	$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_{91st} = 0,85$	$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$
$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$	$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$
$\delta = 1,2$	$\sigma_3 = 6 \text{ KN/cm}^2$
$\psi_t = 1$	$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\eta = 1,2$	$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$a_{arc} = 0,2 \text{ mm}$	$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$
$A_b = 540 \text{ cm}^2$	$\alpha_6 = 0,71$
$N_{kr} = 72,9 \text{ KN}$	$\beta = 1,846$
$A_{st} = 6,295199 \text{ cm}^2$	$P_1 = 948,582335 \text{ KN}$
Kesit Alanı $A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$	$\sigma_{bp} = 1,548009 \text{ KN/cm}^2$
Tane $A_{sp} = 7$	$\sigma_6 = 4,900373 \text{ KN/cm}^2$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 6,453386 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 32,533309 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 10,453386 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 42,986695 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 673,090198 \text{ KN}$$

$$N_{\text{arc}} = 788,665293 \text{ KN}$$

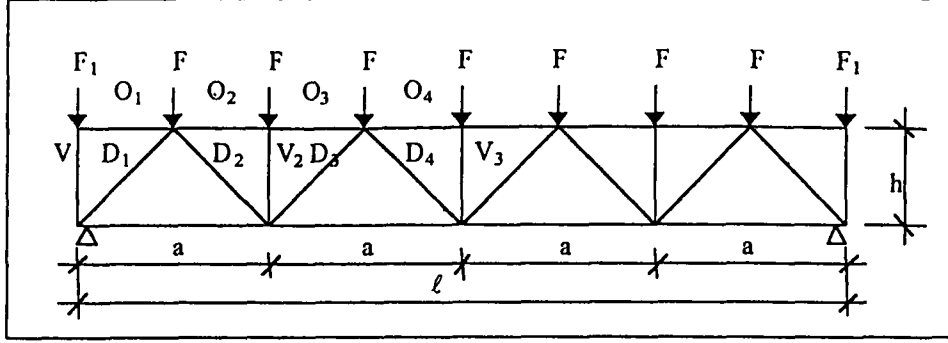
$$N_{\text{arc}} > F12U2 \text{ ise tamam}$$

$$\sigma_{\text{sn}} = -1,901758 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = -0,008099 \text{ mm}$$

$$a_{\text{arc}} > a_{\text{cr}} \text{ ise tamam}$$

Örnek 5.2.3. 30 m açıklıklı kafes kiriş hesabı



Şekil 5.29. 30 m açıklıklı kafes kiriş

l	$= 30 \text{ m}$	F	$= 1 \text{ KN}$
h	$= 3,4 \text{ m}$	F_i	$= 0,5 \text{ KN}$
a	$= 3,75 \text{ m}$	F sayısı (n)	$= 7$
B	$= 6 \text{ m}$	F_i sayısı (n_1)	$= 2$

Beton için hesap dayanımları

f_{cd}	$= 2,3 \text{ KN/cm}^2$	f_{ctd}	$= 0,135 \text{ KN/cm}^2$
f_{ctk}	$= 0,21 \text{ KN/cm}^2$	E_b	$= 3320 \text{ KN/cm}^2$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

E_{sc}	$= 20000 \text{ KN/cm}^2$	f_{yd}	$= 36,5 \text{ KN/cm}^2$
----------	---------------------------	----------	--------------------------

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları

$R_{s,ser15}$	$= 129,5 \text{ KN/cm}^2$	R_{s12}	$= 110 \text{ KN/cm}^2$
R_{s15}	$= 108 \text{ KN/cm}^2$	E_s	$= 18000 \text{ KN/cm}^2$
$R_{s,ser12}$	$= 133,5 \text{ KN/cm}^2$		

Kirişe etkiyen yüklerin hesabı

γ_n	$= 0,95$	$P_{\varphi\delta}$	$= 0,9166663 \text{ KN/m}^2$
p_{kk}	$= 0,8 \text{ KN/m}^2$	G	$= 3,833333 \text{ KN/m}^2$
p_{ku}	$= 0,24 \text{ KN/m}^2$	P	$= 4,3667663 \text{ KN/m}^2$
$g_{\varphi\delta}$	$= 150 \text{ KN}$	P_{kar1}	$= 1,12 \text{ KN/m}^2$
G_{φ}	$= 0,95 \text{ KN/m}^2$	P_{ku}	$= 0,336 \text{ KN/m}^2$
G_d	$= 2,050 \text{ KN/m}^2$	$R_A = R_B$	$= 4 \text{ KN}$
P_{φ}	$= 1,1951 \text{ KN/m}^2$	$\tan \alpha$	$= 0,906667$
P_{d1}	$= 2,255 \text{ KN/m}^2$	$\sin \alpha$	$= 0,671689$
$G_{\varphi\delta}$	$= 0,833333 \text{ KN/m}^2$	$\cos \alpha$	$= 0,740833$

Düğüm yükleri hesabı

$$F_{b1} = 93,3396296625 \text{ KN} \quad F_{n1} = 81,937492875 \text{ KN}$$

$$F_{b2} = 23,94 \text{ KN} \quad F_{n2} = 17,1 \text{ KN}$$

$$F_{b3} = 7,182 \text{ KN} \quad F_{n3} = 5,13 \text{ KN}$$

Birim yüklemeden dolayı kafes çatı makas çubuklarında oluşan kuvvetler

$$O_1 = 0 \quad O_3 = -6,617643$$

$$V_1 = -0,5 \quad D_3 = -2,233177$$

$$D_1 = -5,210745 \quad U_2 = 8,272055$$

$$U_1 = 3,860292 \quad D_4 = 0,744393$$

$$D_2 = 3,721961 \quad O_4 = -8,823525$$

$$O_2 = -6,617643 \quad V_3 = -1,$$

$$V_2 = -1,$$

Kafes çatı makas elamanlarındaki kuvvetler

$$F_{n1O1} = 0, \text{ KN} \quad F_{1O4} = -823,584556 \text{ KN}$$

$$F_{n1O2} = -542,233076 \text{ KN} \quad F_{1U1} = 360,318226 \text{ KN}$$

$$F_{n1O3} = -542,233076 \text{ KN} \quad F_{1U2} = 772,11055 \text{ KN}$$

$$F_{n1O4} = -722,977517 \text{ KN} \quad F_{1D1} = -486,369009 \text{ KN}$$

$$F_{n1U1} = 316,302648 \text{ KN} \quad F_{1D2} = 347,406461 \text{ KN}$$

$$F_{n1U2} = 677,791448 \text{ KN} \quad F_{1D3} = -208,443914 \text{ KN}$$

$$F_{n1D1} = -426,955381 \text{ KN} \quad F_{1D4} = 69,481367 \text{ KN}$$

$$F_{n1D2} = 304,968153 \text{ KN} \quad F_{1V1} = -46,669815 \text{ KN}$$

$$F_{n1D3} = -182,980925 \text{ KN} \quad F_{1V2} = -93,33963 \text{ KN}$$

$$F_{n1D4} = 60,993696 \text{ KN} \quad F_{1V3} = -93,33963 \text{ KN}$$

$$F_{n1V1} = -40,968746 \text{ KN} \quad F_{n2O1} = 0, \text{ KN}$$

$$F_{n1V2} = -81,937493 \text{ KN} \quad F_{n2O2} = -113,161695 \text{ KN}$$

$$F_{n1V3} = -81,937493 \text{ KN} \quad F_{n2O3} = -113,161695 \text{ KN}$$

$$F_{1O1} = 0, \text{ KN} \quad F_{n2O4} = -150,882278 \text{ KN}$$

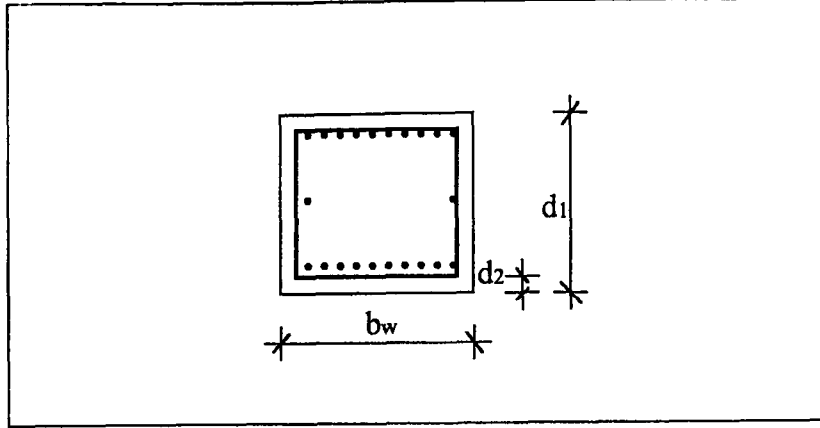
$$F_{1O2} = -617,688347 \text{ KN} \quad F_{n2U1} = 66,010993 \text{ KN}$$

$$F_{1O3} = -617,688347 \text{ KN} \quad F_{n2U2} = 141,452141 \text{ KN}$$

$F_{3D4} = 5,346231 \text{ KN}$	$F_{12V2} = -117,27963 \text{ KN}$
$F_{3V1} = -3,591 \text{ KN}$	$F_{12V3} = -117,27963 \text{ KN}$
$F_{3V2} = -7,182 \text{ KN}$	$F_{n13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{3V3} = -7,182 \text{ KN}$	$F_{n13O2} = -576,181585 \text{ KN}$
$F_{n12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n13O3} = -576,181585 \text{ KN}$
$F_{n12O2} = -655,394771 \text{ KN}$	$F_{n13O4} = -768,2422 \text{ KN}$
$F_{n12O3} = -655,394771 \text{ KN}$	$F_{n13U1} = 336,105946 \text{ KN}$
$F_{n12O4} = -873,859794 \text{ KN}$	$F_{n13U2} = 720,22709 \text{ KN}$
$F_{n12U1} = 382,313641 \text{ KN}$	$F_{n13D1} = -453,686503 \text{ KN}$
$F_{n12U2} = 819,243588 \text{ KN}$	$F_{n13D2} = 324,061813 \text{ KN}$
$F_{n12D1} = -516,059121 \text{ KN}$	$F_{n13D3} = -194,437123 \text{ KN}$
$F_{n12D2} = 368,613686 \text{ KN}$	$F_{n13D4} = 64,812432 \text{ KN}$
$F_{n12D3} = -221,168251 \text{ KN}$	$F_{n13V1} = -43,533746 \text{ KN}$
$F_{n12D4} = 73,722816 \text{ KN}$	$F_{n13V2} = -87,067493 \text{ KN}$
$F_{n12V1} = -49,518746 \text{ KN}$	$F_{n13V3} = -87,067493 \text{ KN}$
$F_{n12V2} = -99,037493 \text{ KN}$	$F_{13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{n12V3} = -99,037493 \text{ KN}$	$F_{13O2} = -665,216259 \text{ KN}$
$F_{12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{13O3} = -665,216259 \text{ KN}$
$F_{12O2} = -776,11472 \text{ KN}$	$F_{13O4} = -886,955112 \text{ KN}$
$F_{12O3} = -776,11472 \text{ KN}$	$F_{13U1} = 388,042843 \text{ KN}$
$F_{12O4} = -1034,819744 \text{ KN}$	$F_{13U2} = 831,520449 \text{ KN}$
$F_{12U1} = 452,733616 \text{ KN}$	$F_{13D1} = -523,792579 \text{ KN}$
$F_{12U2} = 970,143547 \text{ KN}$	$F_{13D2} = 374,137585 \text{ KN}$
$F_{12D1} = -611,114244 \text{ KN}$	$F_{13D3} = -224,482591 \text{ KN}$
$F_{12D2} = 436,510208 \text{ KN}$	$F_{13D4} = 74,827597 \text{ KN}$
$F_{12D3} = -261,906172 \text{ KN}$	$F_{13V1} = -50,260815 \text{ KN}$
$F_{12D4} = 87,302135 \text{ KN}$	$F_{13V2} = -100,52163 \text{ KN}$
$F_{12V1} = -58,639815 \text{ KN}$	$F_{13V3} = -100,52163 \text{ KN}$

$F_{n2D1} = -89,10374 \text{ KN}$	$F_{n3O2} = -33,948509 \text{ KN}$
$F_{n2D2} = 63,645533 \text{ KN}$	$F_{n3O3} = -33,948509 \text{ KN}$
$F_{n2D3} = -38,187327 \text{ KN}$	$F_{n3O4} = -45,264683 \text{ KN}$
$F_{n2D4} = 12,72912 \text{ KN}$	$F_{n3U1} = 19,803298 \text{ KN}$
$F_{n2V1} = -8,55 \text{ KN}$	$F_{n3U2} = 42,435642 \text{ KN}$
$F_{n2V2} = -17,1 \text{ KN}$	$F_{n3D1} = -26,731122 \text{ KN}$
$F_{n2V3} = -17,1 \text{ KN}$	$F_{n3D2} = 19,09366 \text{ KN}$
$F_{2O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n3D3} = -11,456198 \text{ KN}$
$F_{2O2} = -158,426373 \text{ KN}$	$F_{n3D4} = 3,818736 \text{ KN}$
$F_{2O3} = -158,426373 \text{ KN}$	$F_{n3V1} = -2,565 \text{ KN}$
$F_{2O4} = -211,235189 \text{ KN}$	$F_{n3V2} = -5,13 \text{ KN}$
$F_{2U1} = 92,41539 \text{ KN}$	$F_{n3V3} = -5,13 \text{ KN}$
$F_{2U2} = 198,032997 \text{ KN}$	$F_{3O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{2D1} = -124,745235 \text{ KN}$	$F_{3O2} = -47,527912 \text{ KN}$
$F_{2D2} = 89,103746 \text{ KN}$	$F_{3O3} = -47,527912 \text{ KN}$
$F_{2D3} = -53,462257 \text{ KN}$	$F_{3O4} = -63,370557 \text{ KN}$
$F_{2D4} = 17,820768 \text{ KN}$	$F_{3U1} = 27,724617 \text{ KN}$
$F_{2V1} = -11,97 \text{ KN}$	$F_{3U2} = 59,409899 \text{ KN}$
$F_{2V2} = -23,94 \text{ KN}$	$F_{3D1} = -37,423571 \text{ KN}$
$F_{2V3} = -23,94 \text{ KN}$	$F_{3D2} = 26,731124 \text{ KN}$
$F_{n3O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{3D3} = -16,038677 \text{ KN}$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.30. 30 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1O1=F1O2=F1O3 = -617,688347 \text{ KN}$$

$$F12O1=F12O2=F12O3 = -776,11472 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$M_1 = 3104,45888 \text{ KN.cm}$$

$$d_1 = 16 \text{ cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$\delta_e = 0,059063$$

$$a_w = 375 \text{ cm}$$

$$\delta_{emin} = 0,0625$$

$$\mu = 0,025$$

$$\delta_e = 0,059063$$

$$\beta = 1$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$N_{arc} = 882,379255 \text{ KN}$$

$$A_o = 285,756524 \text{ cm}^2$$

$$N_{arc} > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$A_b = 480 \text{ cm}^2$$

$$\max N_d = 993,6 \text{ KN}$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$\max N_d > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$e_a = 0,625 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 12 \text{ cm}^2$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$l_o = 337,5 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_s = 7$$

$$I_o = 10240, \text{ cm}^4$$

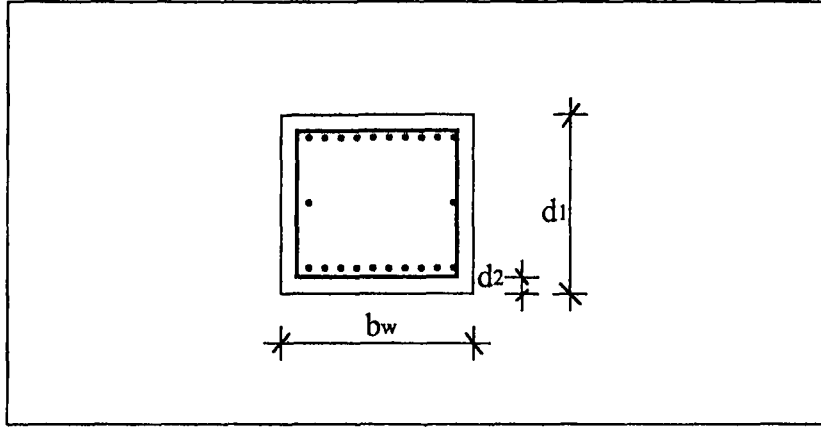
$$A_s = 14,07 \text{ cm}^2$$

$$I_s = 36, \text{ cm}^4$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

$$M_{11} = 2470,753388 \text{ KN.cm}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.31. 30 m açıklıklı öngerilmemiş O4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F_{1O4} = -823,584556 \text{ KN}$$

$$F_{12O4} = -1034,819744 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d_1 = 18 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 375 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 14 \text{ cm}$$

$$A_o = 381,008742 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 540 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,625 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 337,5 \text{ cm}$$

$$I_o = 14580, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 52,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 4117,92278 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 5174,09872 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,0825$$

$$\delta_{emin} = 0,055556$$

$$\delta_e = 0,0825$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cre} = 1123,254444 \text{ KN}$$

$$N_{cre} > F_{12O4} \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 1117,8 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F_{12O4} \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 13,5 \text{ cm}^2$$

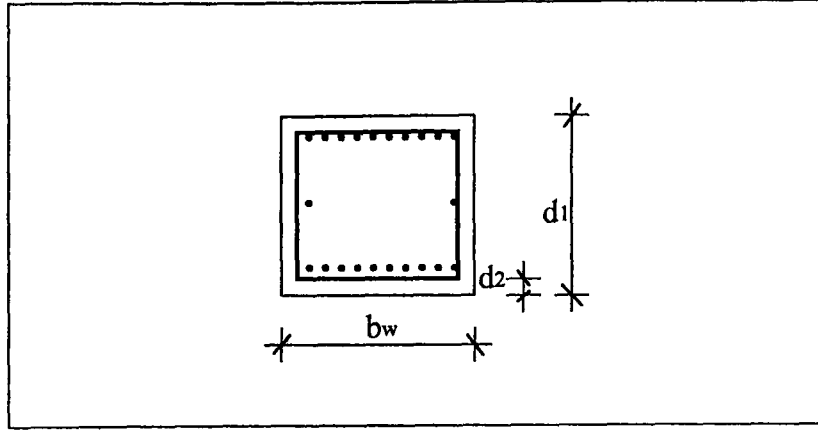
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 7$$

$$A_s = 14,07 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.32. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti

$$M_{ot} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D1 = -486,369009 \text{ KN}$$

$$F12D1 = -611,114244 \text{ KN}$$

$$b_w = 22 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 506 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 225,005244 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 308 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$I_o = 455,4 \text{ cm}$$

$$I_o = 5030,666667 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 16,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{II} = 1459,107027 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 1833,342732 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 744,927061 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 637,56 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 7,7 \text{ cm}^2$$

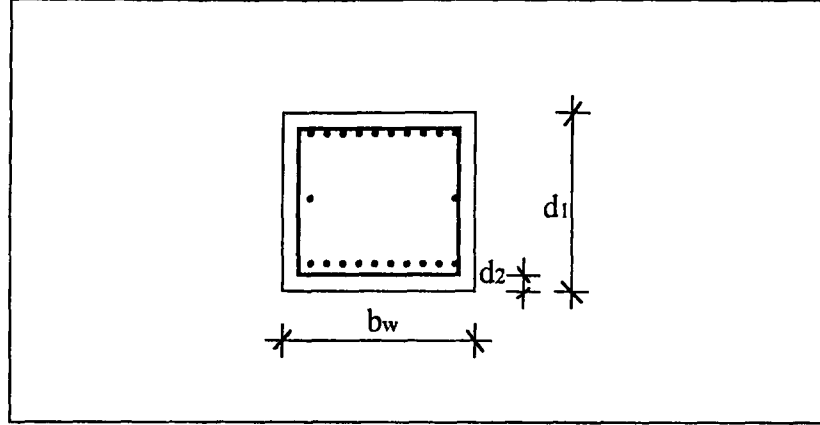
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$A_s = 8,04 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.33. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D2 = 347,406461 \text{ KN}$$

$$F12D2 = 436,510208 \text{ KN}$$

$$b_w = 16 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 506 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 160,718044 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 224 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 455,4 \text{ cm}$$

$$I_o = 3658,666667 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 12, \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 1042,219383 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 1309,530624 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{crc} = 541,765135 \text{ KN}$$

$$N_{crc} > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 463,68 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 5,6 \text{ cm}^2$$

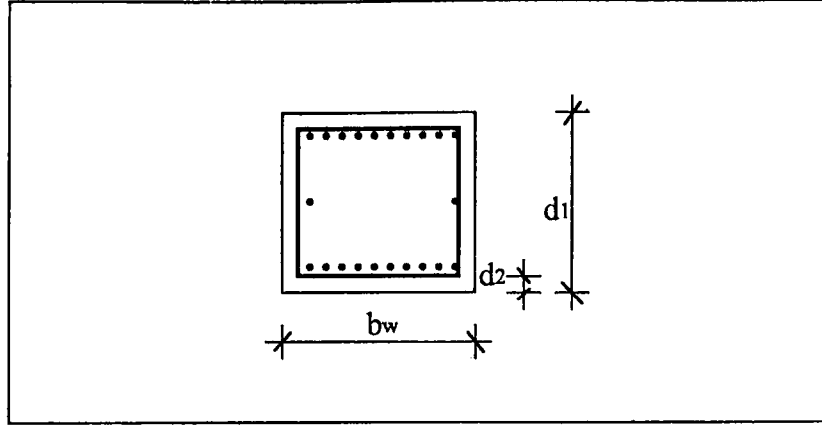
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 3$$

$$A_s = 6,03 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.34. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D3 = -208,443914 \text{ KN}$$

$$F12D3 = -261,906172 \text{ KN}$$

$$b_w = 14 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 506 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 96,430844 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 196 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 455,4 \text{ cm}$$

$$I_o = 3201,333333 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 10,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 625,331742 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 785,718516 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cr} = 474,044493 \text{ KN}$$

$$N_{cr} > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 405,72 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,9 \text{ cm}^2$$

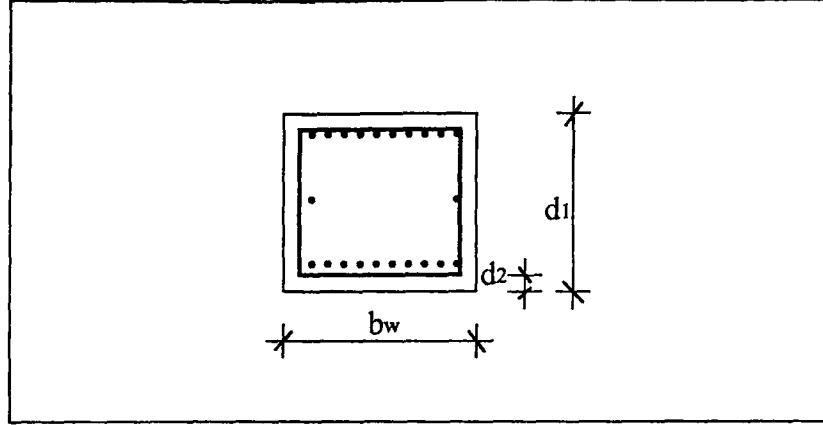
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.35. 30 m açıklıklı öngerilmemiş D4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D4 = 69,481367 \text{ KN}$$

$$F12D4 = 87,302135 \text{ KN}$$

$$b_w = 14 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 506 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 32,143643 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 196 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 455,4 \text{ cm}$$

$$I_o = 3201,333333 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 10,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 208,444101 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 261,906405 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = -0,055286$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cre} = 474,044493 \text{ KN}$$

$$N_{cre} > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 405,72 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,9 \text{ cm}^2$$

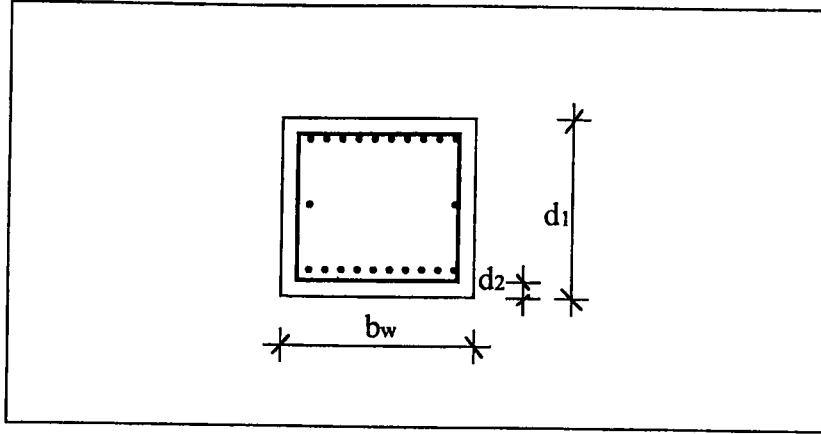
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.36. 30 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V1 = -46,669815 \text{ KN}$$

$$F12V1 = -58,639815 \text{ KN}$$

$$b_w = 14 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 340 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 21,590506 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 196 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 306 \text{ cm}$$

$$I_o = 3201,333333 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 10,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 140,009445 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 175,919445 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,051429$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = 0,051429$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{crc} = 348,646915 \text{ KN}$$

$$N_{crc} > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 405,72 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,9 \text{ cm}^2$$

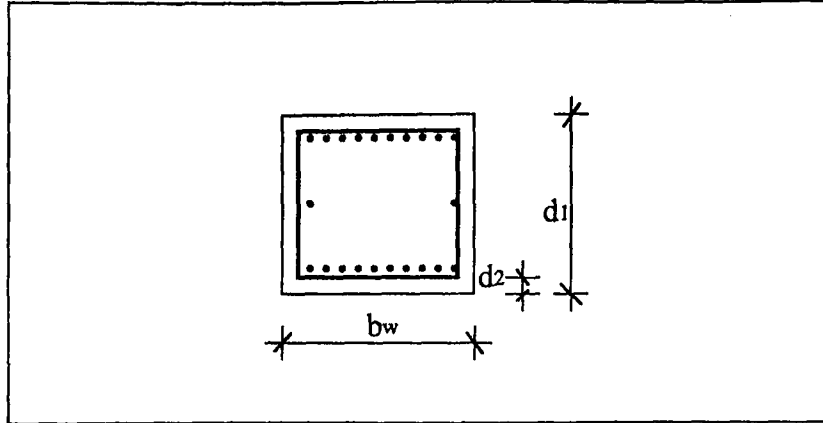
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.37. 30 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V2 = -93,33963 \text{ KN}$$

$$F12V2 = -117,27963 \text{ KN}$$

$$b_w = 14 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 340 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 43,181013 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 196 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 306 \text{ cm}$$

$$I_o = 3201,333333 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 10,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 280,01889 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 351,83889 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,051429$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = 0,051429$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cr} = 348,646915 \text{ KN}$$

$$N_{cr} > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 405,72 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,9 \text{ cm}^2$$

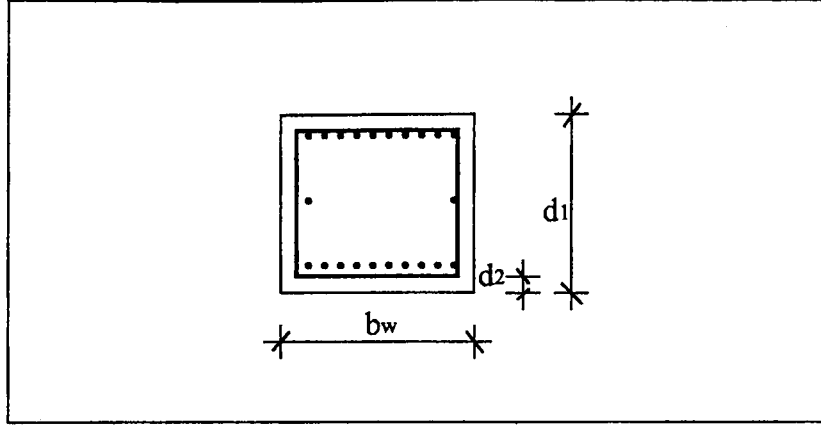
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.38. 30 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V3 = -93,33963 \text{ KN}$$

$$F12V3 = -117,27963 \text{ KN}$$

$$b_w = 14 \text{ cm}$$

$$d_1 = 14 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 340 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$A_o = 43,181013 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 196 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 306 \text{ cm}$$

$$I_o = 3201,333333 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 10,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 280,01889 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 351,83889 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,051429$$

$$\delta_{emin} = 0,071429$$

$$\delta_e = 0,051429$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 348,646915 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 405,72 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 4,9 \text{ cm}^2$$

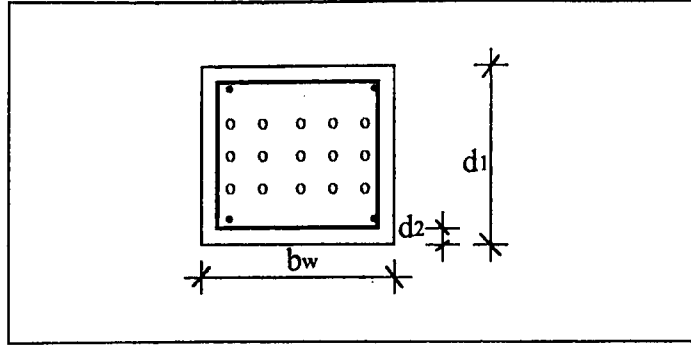
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 5$$

$$A_s = 5,65 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.40. 30 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti

$F_{12U1} = 452,733616 \text{ KN}$	Kesit Alanı $A_s = 0,79 \text{ cm}^2$
$F_{n12U1} = 382,313641 \text{ KN}$	Tane $A_s = 4$
$b_w = 30 \text{ cm}$	$A_{sp} = 5,664 \text{ cm}^2$
$d = 16 \text{ cm}$	$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$
$l_1 = 750 \text{ cm}$	$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam
$R = 15 \text{ mm}$	$\mu = 0,018383$
$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha_1 = 5,421687$
$\gamma_{s6} = 1,15$	$\alpha_2 = 6,024096$
$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$	$A_{ret} = 529,744579 \text{ cm}^2$
$\gamma_i = 0,85$	$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_{91st} = 0,85$	$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$
$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$	$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$
$\delta = 1,2$	$\sigma_3 = 4,8 \text{ KN/cm}^2$
$\psi_t = 1$	$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\eta = 1,2$	$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$a_{cre} = 0,2 \text{ mm}$	$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$
$A_b = 480 \text{ cm}^2$	$\alpha_6 = 0,71$
$N_{kr} = 64,8 \text{ KN}$	$\beta = 1,846$
$A_{st} = 3,645198 \text{ cm}^2$	$P_1 = 548,843849 \text{ KN}$
Kesit Alanı $A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$	$\sigma_{bp} = 1,036054 \text{ KN/cm}^2$
Tane $A_{sp} = 4$	$\sigma_6 = 2,252291 \text{ KN/cm}^2$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 7,179179 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 28,685227 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 11,179179 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 39,864406 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 387,292102 \text{ KN}$$

$$N_{\text{crc}} = 483,935013 \text{ KN}$$

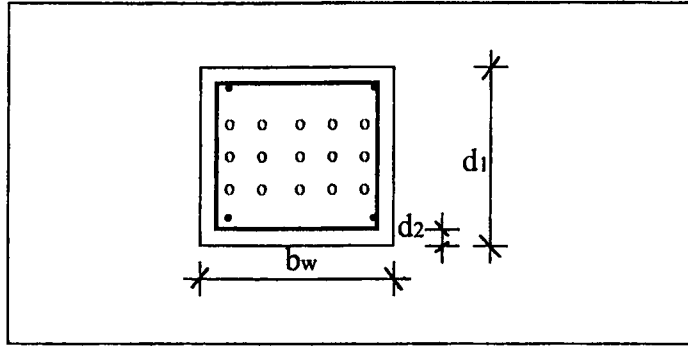
$$N_{\text{crc}} > F12U1 \text{ ise tamam}$$

$$\sigma_{\text{sn}} = -1,988203 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = -0,013037 \text{ mm}$$

$$a_{\text{crc}} > a_{\text{cr}} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.39. 30 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti

$F_{12U2} = 970,143547 \text{ KN}$	Kesit Alanı $A_s = 0,79 \text{ cm}^2$
$F_{n12U2} = 819,243588 \text{ KN}$	Tane $A_s = 4$
$b_w = 30 \text{ cm}$	$A_{sp} = 11,328 \text{ cm}^2$
$d = 30 \text{ cm}$	$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$
$l_1 = 750 \text{ cm}$	$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam
$R = 15 \text{ mm}$	$\mu = 0,016098$
$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha_1 = 5,421687$
$\gamma_{s6} = 1,15$	$\alpha_2 = 6,024096$
$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$	$A_{ret} = 980,453014 \text{ cm}^2$
$\gamma_i = 0,85$	$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_{91st} = 0,85$	$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$
$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$	$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$
$\delta = 1,2$	$\sigma_3 = 4,8 \text{ KN/cm}^2$
$\psi_t = 1$	$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\eta = 1,2$	$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$a_{arc} = 0,2 \text{ mm}$	$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$
$A_b = 900 \text{ cm}^2$	$\alpha_6 = 0,71$
$N_{kr} = 121,5 \text{ KN}$	$\beta = 1,846$
$A_{st} = 7,81114 \text{ cm}^2$	$P_1 = 1097,687697 \text{ KN}$
Kesit Alanı $A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$	$\sigma_{bp} = 1,119572 \text{ KN/cm}^2$
Tane $A_{sp} = 8$	$\sigma_6 = 2,433852 \text{ KN/cm}^2$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 7,757904 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 28,866788 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 11,757904 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 40,624692 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 802,869783 \text{ KN}$$

$$N_{\text{arc}} = 985,445606 \text{ KN}$$

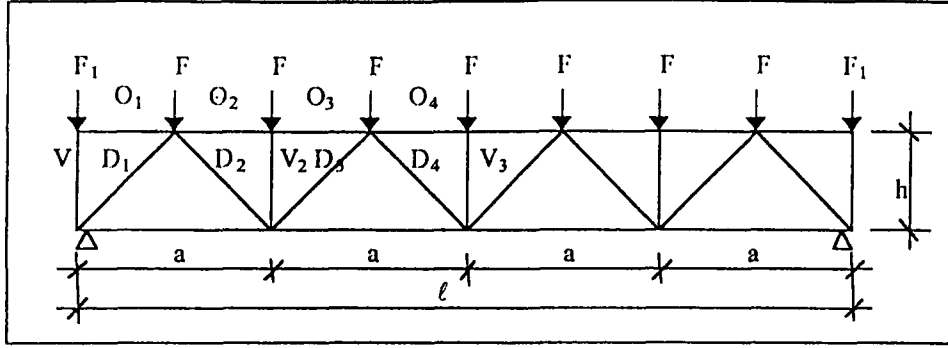
$N_{\text{arc}} > F12U2$ ise tamam

$$\sigma_{\text{sn}} = 2,004628 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = 0,014952 \text{ mm}$$

$a_{\text{arc}} > a_{\text{cr}}$ ise tamam

Örnek 5.2.4. 36 m açıklıklı kafes kiriş hesabı



Şekil 5.41. 36 m açıklıklı kafes kiriş

l	$= 36 \text{ m}$	F	$= 1 \text{ KN}$
h	$= 4 \text{ m}$	F_i	$= 0,5 \text{ KN}$
a	$= 4,5 \text{ m}$	F sayısı (n)	$= 7$
B	$= 6 \text{ m}$	F_i sayısı (n_1)	$= 2$

Beton için hesap dayanımları

f_{cd}	$= 2,3 \text{ KN/cm}^2$	f_{ctd}	$= 0,135 \text{ KN/cm}^2$
f_{ctk}	$= 0,21 \text{ KN/cm}^2$	E_b	$= 3320 \text{ KN/cm}^2$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

E_{sc}	$= 20000 \text{ KN/cm}^2$	f_{yd}	$= 36,5 \text{ KN/cm}^2$
----------	---------------------------	----------	--------------------------

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları

$R_{s,ser15}$	$= 129,5 \text{ KN/cm}^2$	R_{s12}	$= 110 \text{ KN/cm}^2$
R_{s15}	$= 108 \text{ KN/cm}^2$	E_s	$= 18000 \text{ KN/cm}^2$
$R_{s,ser12}$	$= 133,5 \text{ KN/cm}^2$		

Kiriş etkiyen yüklerin hesabı

γ_n	$= 0,95$	$P_{\phi s}$	$= 0,9166663 \text{ KN/m}^2$
p_{kk}	$= 0,8 \text{ KN/m}^2$	G	$= 3,8333333 \text{ KN/m}^2$
p_{ku}	$= 0,24 \text{ KN/m}^2$	P	$= 4,3667663 \text{ KN/m}^2$
$g_{\phi s}$	$= 180 \text{ KN}$	P_{kar1}	$= 1,12 \text{ KN/m}^2$
G_{ϕ}	$= 0,95 \text{ KN/m}^2$	P_{ku}	$= 0,336 \text{ KN/m}^2$
G_d	$= 2,050 \text{ KN/m}^2$	$R_A = R_B$	$= 4 \text{ KN}$
P_{ϕ}	$= 1,1951 \text{ KN/m}^2$	$\tan \alpha$	$= 0,888889$
P_{d1}	$= 2,255 \text{ KN/m}^2$	$\sin \alpha$	$= 0,664364$
$G_{\phi\alpha}$	$= 0,8333333 \text{ KN/m}^2$	$\cos \alpha$	$= 0,747409$

Düğüm yükleri hesabı

$$F_{b1} = 112,007555595 \text{ KN} \quad F_{n1} = 98,32499145 \text{ KN}$$

$$F_{b2} = 28,728 \text{ KN} \quad F_{n2} = 20,52 \text{ KN}$$

$$F_{b3} = 8,6184 \text{ KN} \quad F_{n3} = 6,156 \text{ KN}$$

Birim yüklemeden dolayı kafes çatı makas çubuklarında oluşan kuvvetler

$$O_1 = 0 \quad O_3 = -6,749995$$

$$V_1 = -0,5 \quad D_3 = -2,257798$$

$$D_1 = -5,268196 \quad U_2 = 8,437493$$

$$U_1 = 3,937497 \quad D_4 = 0,752599$$

$$D_2 = 3,762997 \quad O_4 = -8,999993$$

$$O_2 = -6,749995 \quad V_3 = -1,$$

$$V_2 = -1,$$

Kafes çatı makas elamanlarındaki kuvvetler

$$F_{n1O1} = 0, \text{ KN} \quad F_{1O4} = -1008,067216 \text{ KN}$$

$$F_{n1O2} = -663,693201 \text{ KN} \quad F_{1U1} = 441,029414 \text{ KN}$$

$$F_{n1O3} = -663,693201 \text{ KN} \quad F_{1U2} = 945,062966 \text{ KN}$$

$$F_{n1O4} = -884,924235 \text{ KN} \quad F_{1D1} = -590,077756 \text{ KN}$$

$$F_{n1U1} = 387,154359 \text{ KN} \quad F_{1D2} = 421,484096 \text{ KN}$$

$$F_{n1U2} = 829,616427 \text{ KN} \quad F_{1D3} = -252,890435 \text{ KN}$$

$$F_{n1D1} = -517,995327 \text{ KN} \quad F_{1D4} = 84,296774 \text{ KN}$$

$$F_{n1D2} = 369,996648 \text{ KN} \quad F_{1V1} = -56,003778 \text{ KN}$$

$$F_{n1D3} = -221,997969 \text{ KN} \quad F_{1V2} = -112,007556 \text{ KN}$$

$$F_{n1D4} = 73,99929 \text{ KN} \quad F_{1V3} = -112,007556 \text{ KN}$$

$$F_{n1V1} = -49,162496 \text{ KN} \quad F_{n2O1} = 0, \text{ KN}$$

$$F_{n1V2} = -98,324991 \text{ KN} \quad F_{n2O2} = -138,509897 \text{ KN}$$

$$F_{n1V3} = -98,324991 \text{ KN} \quad F_{n2O3} = -138,509897 \text{ KN}$$

$$F_{1O1} = 0, \text{ KN} \quad F_{n2O4} = -184,679856 \text{ KN}$$

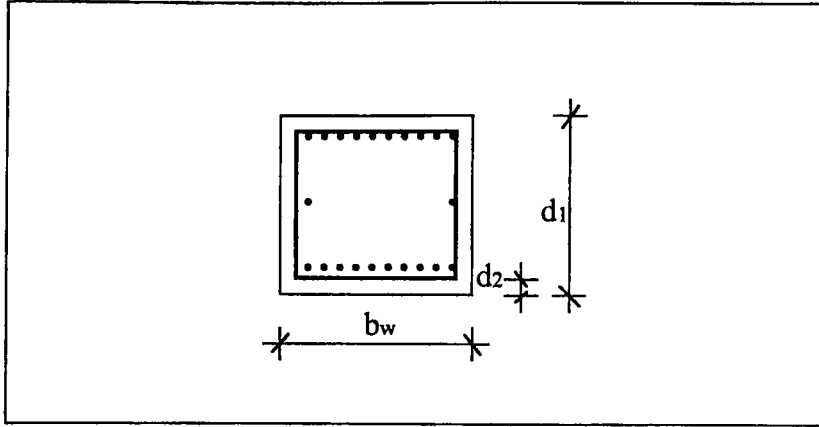
$$F_{1O2} = -756,05044 \text{ KN} \quad F_{n2U1} = 80,797438 \text{ KN}$$

$$F_{1O3} = -756,05044 \text{ KN} \quad F_{n2U2} = 173,137356 \text{ KN}$$

$F_{3D4} = 6,486199 \text{ KN}$	$F_{12V2} = -140,735556 \text{ KN}$
$F_{3V1} = -4,3092 \text{ KN}$	$F_{12V3} = -140,735556 \text{ KN}$
$F_{3V2} = -8,6184 \text{ KN}$	$F_{n13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{3V3} = -8,6184 \text{ KN}$	$F_{n13O2} = -705,24617 \text{ KN}$
$F_{n12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n13O3} = -705,24617 \text{ KN}$
$F_{n12O2} = -802,203098 \text{ KN}$	$F_{n13O4} = -940,328192 \text{ KN}$
$F_{n12O3} = -802,203098 \text{ KN}$	$F_{n13U1} = 411,39359 \text{ KN}$
$F_{n12O4} = -1069,604091 \text{ KN}$	$F_{n13U2} = 881,557634 \text{ KN}$
$F_{n12U1} = 467,951797 \text{ KN}$	$F_{n13D1} = -550,426341 \text{ KN}$
$F_{n12U2} = 1002,753783 \text{ KN}$	$F_{n13D2} = 393,161657 \text{ KN}$
$F_{n12D1} = -626,098709 \text{ KN}$	$F_{n13D3} = -235,896974 \text{ KN}$
$F_{n12D2} = 447,213346 \text{ KN}$	$F_{n13D4} = 78,63229 \text{ KN}$
$F_{n12D3} = -268,327984 \text{ KN}$	$F_{n13V1} = -52,240496 \text{ KN}$
$F_{n12D4} = 89,442622 \text{ KN}$	$F_{n13V2} = -104,480991 \text{ KN}$
$F_{n12V1} = -59,422496 \text{ KN}$	$F_{n13V3} = -104,480991 \text{ KN}$
$F_{n12V2} = -118,844991 \text{ KN}$	$F_{13O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{n12V3} = -118,844991 \text{ KN}$	$F_{13O2} = -814,224597 \text{ KN}$
$F_{12O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{13O3} = -814,224597 \text{ KN}$
$F_{12O2} = -949,964297 \text{ KN}$	$F_{13O4} = -1085,632756 \text{ KN}$
$F_{12O3} = -949,964297 \text{ KN}$	$F_{13U1} = 474,964338 \text{ KN}$
$F_{12O4} = -1266,619015 \text{ KN}$	$F_{13U2} = 1017,780656 \text{ KN}$
$F_{12U1} = 554,145828 \text{ KN}$	$F_{13D1} = -635,481177 \text{ KN}$
$F_{12U2} = 1187,455265 \text{ KN}$	$F_{13D2} = 453,915109 \text{ KN}$
$F_{12D1} = -741,422491 \text{ KN}$	$F_{13D3} = -272,349041 \text{ KN}$
$F_{12D2} = 529,587473 \text{ KN}$	$F_{13D4} = 90,782974 \text{ KN}$
$F_{12D3} = -317,752456 \text{ KN}$	$F_{13V1} = -60,312978 \text{ KN}$
$F_{12D4} = 105,917438 \text{ KN}$	$F_{13V2} = -120,625956 \text{ KN}$
$F_{12V1} = -70,367778 \text{ KN}$	$F_{13V3} = -120,625956 \text{ KN}$

$F_{n2D1} = -108,103382 \text{ KN}$	$F_{n3O2} = -41,552969 \text{ KN}$
$F_{n2D2} = 77,216698 \text{ KN}$	$F_{n3O3} = -41,552969 \text{ KN}$
$F_{n2D3} = -46,330015 \text{ KN}$	$F_{n3O4} = -55,403957 \text{ KN}$
$F_{n2D4} = 15,443331 \text{ KN}$	$F_{n3U1} = 24,239232 \text{ KN}$
$F_{n2V1} = -10,26 \text{ KN}$	$F_{n3U2} = 51,941207 \text{ KN}$
$F_{n2V2} = -20,52 \text{ KN}$	$F_{n3D1} = -32,431015 \text{ KN}$
$F_{n2V3} = -20,52 \text{ KN}$	$F_{n3D2} = 23,16501 \text{ KN}$
$F_{2O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{n3D3} = -13,899004 \text{ KN}$
$F_{2O2} = -193,913856 \text{ KN}$	$F_{n3D4} = 4,632999 \text{ KN}$
$F_{2O3} = -193,913856 \text{ KN}$	$F_{n3V1} = -3,078 \text{ KN}$
$F_{2O4} = -258,551799 \text{ KN}$	$F_{n3V2} = -6,156 \text{ KN}$
$F_{2U1} = 113,116414 \text{ KN}$	$F_{n3V3} = -6,156 \text{ KN}$
$F_{2U2} = 242,392299 \text{ KN}$	$F_{3O1} = 0, \text{ KN}$
$F_{2D1} = -151,344735 \text{ KN}$	$F_{3O2} = -58,174157 \text{ KN}$
$F_{2D2} = 108,103378 \text{ KN}$	$F_{3O3} = -58,174157 \text{ KN}$
$F_{2D3} = -64,862021 \text{ KN}$	$F_{3O4} = -77,56554 \text{ KN}$
$F_{2D4} = 21,620664 \text{ KN}$	$F_{3U1} = 33,934924 \text{ KN}$
$F_{2V1} = -14,364 \text{ KN}$	$F_{3U2} = 72,71769 \text{ KN}$
$F_{2V2} = -28,728 \text{ KN}$	$F_{3D1} = -45,40342 \text{ KN}$
$F_{2V3} = -28,728 \text{ KN}$	$F_{3D2} = 32,431013 \text{ KN}$
$F_{n3O1} = 0, \text{ KN}$	$F_{3D3} = -19,458606 \text{ KN}$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.42. 36 m açıklıklı öngerilmemiş O1, O2, O3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1O1=F1O2=F1O3 = -756,05044 \text{ KN}$$

$$F12O1=F12O2=F12O3 = -949,964297 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d_1 = 20 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 450 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 16 \text{ cm}$$

$$A_o = 349,765941 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 600 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,75 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 405 \text{ cm}$$

$$I_o = 20000, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 72, \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 4536,30264 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 5699,785782 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\delta_{\text{emin}} = 0,05$$

$$\delta_e = 0,0675$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{\text{arc}} = 1147,867635 \text{ KN}$$

$$N_{\text{arc}} > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 1242 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12O2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 15 \text{ cm}^2$$

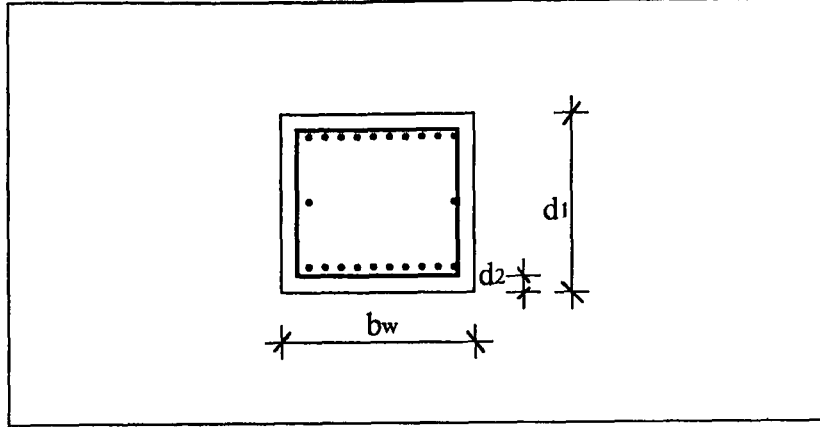
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 8$$

$$A_s = 16,08 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.43. 36 m açıklıklı öngerilmemiş O4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1O4 = -1008,067216 \text{ KN}$$

$$F12O4 = -1266,619015 \text{ KN}$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d_1 = 22 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 450 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 18 \text{ cm}$$

$$A_o = 466,354571 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 660 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,75 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 405 \text{ cm}$$

$$I_o = 26620, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 94,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 7056,470512 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 8866,333105 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,085909$$

$$\delta_{emin} = 0,045455$$

$$\delta_e = 0,085909$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cr} = 1401,905181 \text{ KN}$$

$$N_{cr} > F12O4 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 1366,2 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12O4 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 16,5 \text{ cm}^2$$

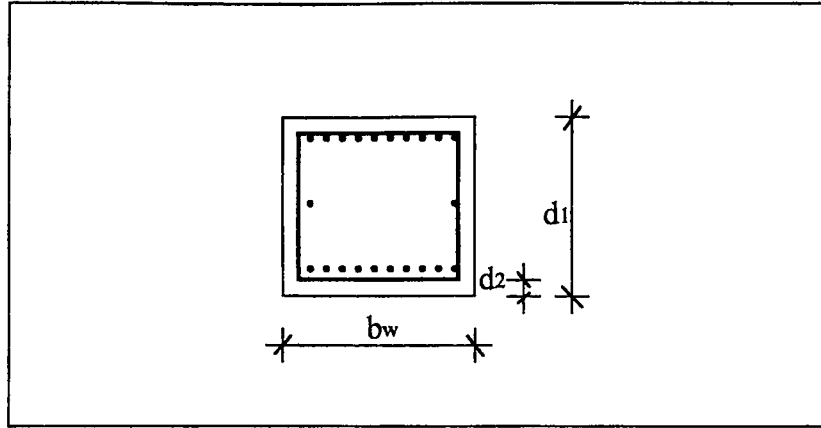
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 9$$

$$A_s = 18,09 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.44. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D1 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D1 = -590,077756 \text{ KN}$$

$$F12D1 = -741,422491 \text{ KN}$$

$$b_w = 26 \text{ cm}$$

$$d_1 = 18 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 602 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 14 \text{ cm}$$

$$A_o = 272,983244 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 468 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 541,8 \text{ cm}$$

$$I_o = 12636, \text{ cm}^4$$

$$I_s = 45,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 2950,38878 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 3707,112455 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,031$$

$$\delta_{\text{emin}} = 0,055556$$

$$\delta_e = -0,031$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{\text{arc}} = 882,69884 \text{ KN}$$

$$N_{\text{arc}} > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 968,76 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D1 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 11,7 \text{ cm}^2$$

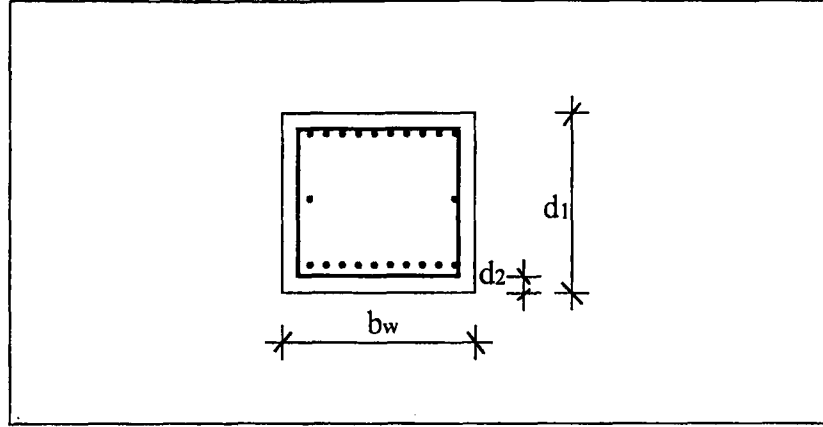
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.45. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D2 = 421,484096 \text{ KN}$$

$$F12D2 = 529,587473 \text{ KN}$$

$$b_w = 26 \text{ cm}$$

$$M_1 = 2647,937365 \text{ KN.cm}$$

$$d_1 = 18 \text{ cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$\delta_e = -0,031$$

$$a_w = 602 \text{ cm}$$

$$\delta_{emin} = 0,055556$$

$$\mu = 0,025$$

$$\delta_e = -0,031$$

$$\beta = 1$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$h = 14 \text{ cm}$$

$$N_{crc} = 882,69884 \text{ KN}$$

$$A_o = 194,988024 \text{ cm}^2$$

$$N_{crc} > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$A_b = 468 \text{ cm}^2$$

$$\max N_d = 968,76 \text{ KN}$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$\max N_d > F12D2 \text{ ise tamam}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$A_{st} = 11,7 \text{ cm}^2$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$I_o = 541,8 \text{ cm}$$

$$Tane A_s = 6$$

$$I_o = 12636, \text{ cm}^4$$

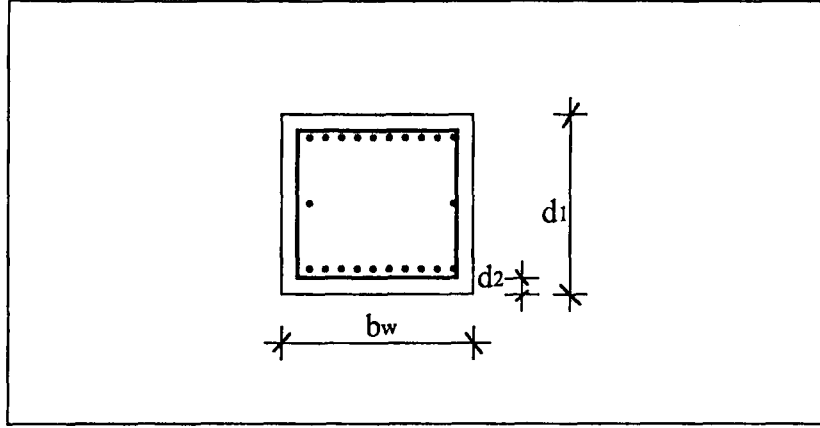
$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$I_s = 45,5 \text{ cm}^4$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

$$M_{II} = 2107,42048 \text{ KN.cm}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.46. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D3 = -252,890435 \text{ KN}$$

$$F12D3 = -317,752456 \text{ KN}$$

$$b_w = 26 \text{ cm}$$

$$d_1 = 16 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 602 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$A_o = 116,992804 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 416 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 541,8 \text{ cm}$$

$$I_o = 8874,666667 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 31,2 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 1011,56174 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 1271,009824 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,068625$$

$$\delta_{emin} = 0,0625$$

$$\delta_e = -0,068625$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 1303,4557 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 861,12 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 10,4 \text{ cm}^2$$

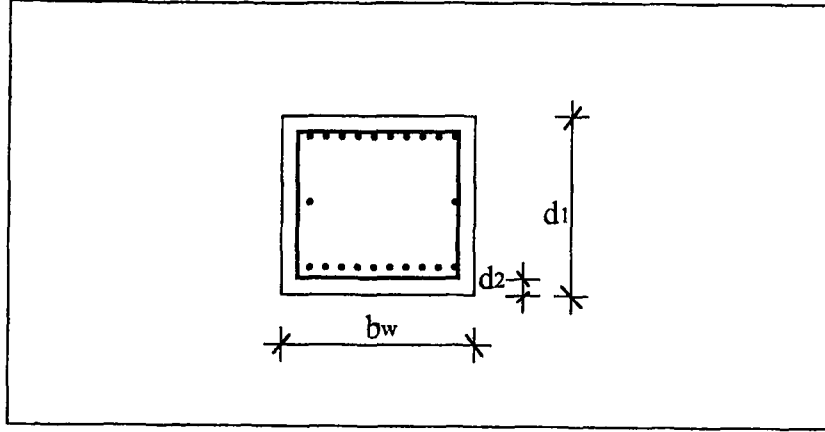
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.47. 36 m açıklıklı öngerilmemiş D4 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1D4 = 84,296774 \text{ KN}$$

$$F12D4 = 105,917438 \text{ KN}$$

$$b_w = 26 \text{ cm}$$

$$d_1 = 16 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 602 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$A_o = 38,997584 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 416 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = \text{cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 541,8 \text{ cm}$$

$$I_o = 8874,666667 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 31,2 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 337,187096 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 423,669752 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = -0,068625$$

$$\delta_{emin} = 0,0625$$

$$\delta_e = -0,068625$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{cr} = 1303,4557 \text{ KN}$$

$$N_{cr} > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 861,12 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12D4 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 10,4 \text{ cm}^2$$

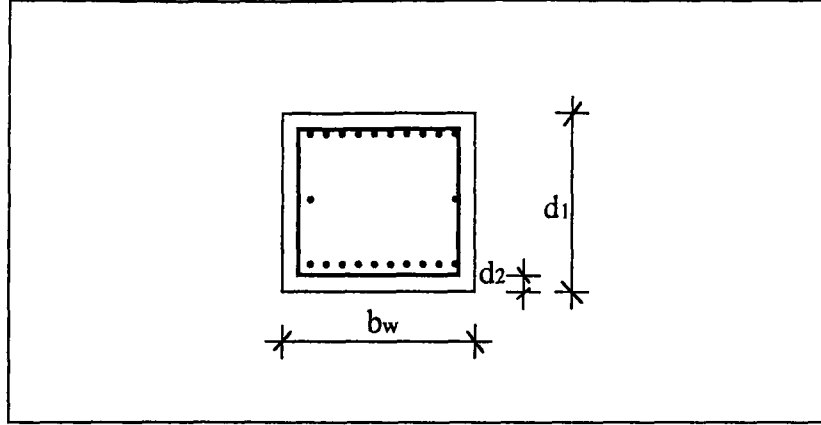
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.48. 36 m açıklıklı öngerilmemiş V1 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V1 = -56,003778 \text{ KN}$$

$$F12V1 = -70,367778 \text{ KN}$$

$$b_w = 26 \text{ cm}$$

$$d_1 = 16 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 400 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$A_o = 25,908608 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 416 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,666667 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 360 \text{ cm}$$

$$I_o = 8874,666667 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 31,2 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 224,015112 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 281,471112 \text{ KN.cm}$$

$$\phi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,045$$

$$\delta_{emin} = 0,0625$$

$$\delta_e = 0,045$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{arc} = 726,465272 \text{ KN}$$

$$N_{arc} > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 861,12 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V1 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 10,4 \text{ cm}^2$$

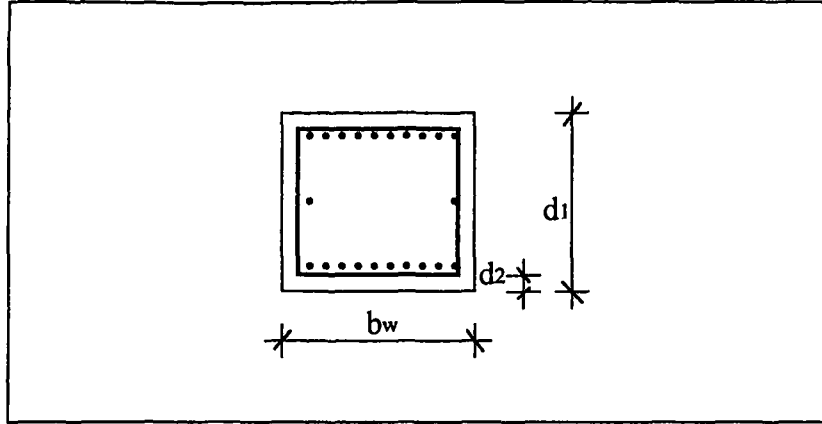
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.49. 36 m açıklıklı öngerilmemiş V2 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V2 = -112,007556 \text{ KN}$$

$$F12V2 = -140,735556 \text{ KN}$$

$$b_w = 26 \text{ cm}$$

$$d_1 = 16 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 400 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$A_o = 51,817215 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 416 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,666667 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 360 \text{ cm}$$

$$I_o = 8874,666667 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 31,2 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 448,030224 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 562,942224 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,045$$

$$\delta_{emin} = 0,0625$$

$$\delta_e = 0,045$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{crc} = 726,465272 \text{ KN}$$

$$N_{crc} > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 861,12 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V2 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 10,4 \text{ cm}^2$$

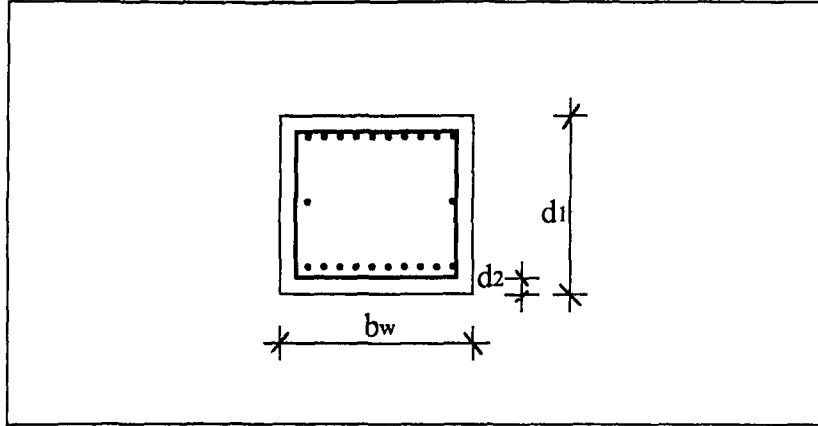
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmemiş çubuk hesapları



Şekil 5.50. 36 m açıklıklı öngerilmemiş V3 çubuğu kesiti

$$M_{o1} = 0 \text{ KN.m}$$

$$F1V3 = -112,007556 \text{ KN}$$

$$F12V3 = -140,735556 \text{ KN}$$

$$b_w = 26 \text{ cm}$$

$$d_1 = 16 \text{ cm}$$

$$d_2 = 4 \text{ cm}$$

$$a_w = 400 \text{ cm}$$

$$\mu = 0,025$$

$$\beta = 1$$

$$h = 12 \text{ cm}$$

$$A_o = 51,817215 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 416 \text{ cm}^2$$

$$A_b > A_o \text{ ise}$$

$$e_a = 0,666667 \text{ cm}$$

$$e_o = 1 \text{ cm}$$

$$l_o = 360 \text{ cm}$$

$$I_o = 8874,666667 \text{ cm}^4$$

$$I_s = 31,2 \text{ cm}^4$$

$$M_{11} = 448,030224 \text{ KN.cm}$$

$$M_1 = 562,942224 \text{ KN.cm}$$

$$\varphi_1 = 1,795872$$

$$\delta_e = 0,045$$

$$\delta_{emin} = 0,0625$$

$$\delta_e = 0,045$$

$$\alpha = 6,024096$$

$$N_{erc} = 726,465272 \text{ KN}$$

$$N_{erc} > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$\max N_d = 861,12 \text{ KN}$$

$$\max N_d > F12V3 \text{ ise tamam}$$

$$A_{st} = 10,4 \text{ cm}^2$$

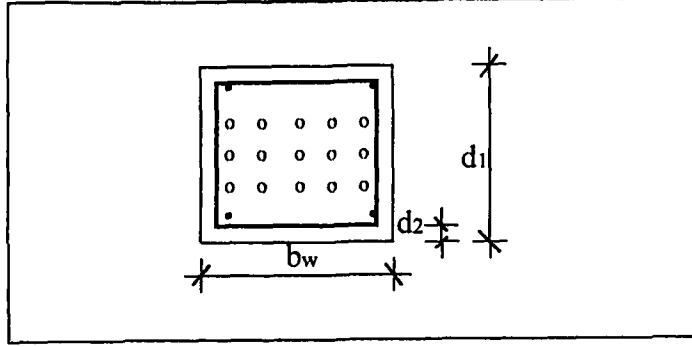
$$\text{Kesit Alanı } A_s = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_s = 6$$

$$A_s = 12,06 \text{ cm}^2$$

$$A_s > A_{st} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.51. 36 m açıklıklı öngerilmeli U1 çubuğu kesiti

$$F_{12U1} = 554,145828 \text{ KN}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 0,79 \text{ cm}^2$$

$$F_{n12U1} = 467,951797 \text{ KN}$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$A_{sp} = 7,08 \text{ cm}^2$$

$$d = 20 \text{ cm}$$

$$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$$

$$l_1 = 900 \text{ cm}$$

$$A_{sp} > A_{st} \text{ ise tamam}$$

$$R = 15 \text{ mm}$$

$$\mu = 0,017067$$

$$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$$

$$\alpha_1 = 5,421687$$

$$\gamma_{s6} = 1,15$$

$$\alpha_2 = 6,024096$$

$$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$$

$$A_{ret} = 657,421687 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_i = 0,85$$

$$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$$

$$\alpha_{91st} = 0,85$$

$$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$$

$$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$$

$$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$$

$$\delta = 1,2$$

$$\sigma_3 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\psi_t = 1$$

$$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\eta = 1,2$$

$$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{arc} = 0,2 \text{ mm}$$

$$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$$

$$A_b = 600 \text{ cm}^2$$

$$\alpha_6 = 0,71$$

$$N_{kr} = 81 \text{ KN}$$

$$\beta = 1,846$$

$$A_{st} = 4,461722 \text{ cm}^2$$

$$P_1 = 691,718811 \text{ KN}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{bp} = 1,052169 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Tane } A_{sp} = 5$$

$$\sigma_6 = 2,287324 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 7,290845 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 27,92026 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 11,290845 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 39,211105 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 497,410524 \text{ KN}$$

$$N_{\text{arc}} = 618,214163 \text{ KN}$$

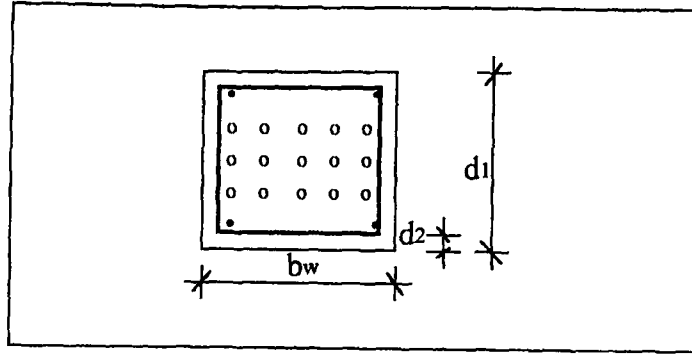
$$N_{\text{arc}} > F12U1 \text{ ise tamam}$$

$$\sigma_{\text{sn}} = -7,514981 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = -0,053178 \text{ mm}$$

$$a_{\text{arc}} > a_{\text{cr}} \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli çubuk hesapları



Şekil 5.52. 36 m açıklıklı öngerilmeli U2 çubuğu kesiti

$F_{12U2} = 1187,455265 \text{ KN}$	Kesit Alanı $A_s = 0,79 \text{ cm}^2$
$F_{n12U2} = 1002,753783 \text{ KN}$	Tane $A_s = 4$
$b_w = 30 \text{ cm}$	$A_{sp} = 16,992 \text{ cm}^2$
$d = 30 \text{ cm}$	$A_s = 3,16 \text{ cm}^2$
$l_1 = 900 \text{ cm}$	$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam
$R = 15 \text{ mm}$	$\mu = 0,022391$
$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$	$\alpha_1 = 5,421687$
$\gamma_{s6} = 1,15$	$\alpha_2 = 6,024096$
$\Delta\gamma_{sp} = 0,1$	$A_{ret} = 1011,161449 \text{ cm}^2$
$\gamma_i = 0,85$	$\sigma_{sp} = 123,333333 \text{ KN/cm}^2$
$\alpha_{g_{ist}} = 0,85$	$\sigma_1 = 13,507936 \text{ KN/cm}^2$
$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$	$\sigma_2 = 8,125 \text{ KN/cm}^2$
$\delta = 1,2$	$\sigma_3 = 4 \text{ KN/cm}^2$
$\psi_t = 1$	$\sigma_4 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$\eta = 1,2$	$\sigma_5 = 0 \text{ KN/cm}^2$
$a_{arc} = 0,2 \text{ mm}$	$R_{bp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$
$A_b = 900 \text{ cm}^2$	$\alpha_6 = 0,71$
$N_{kr} = 121,5 \text{ KN}$	$\beta = 1,846$
$A_{st} = 9,560831 \text{ cm}^2$	$P_1 = 1660,125146 \text{ KN}$
Kesit Alanı $A_{sp} = 1,416 \text{ cm}^2$	$\sigma_{bp} = 1,6418 \text{ KN/cm}^2$
Tane $A_{sp} = 6$	$\sigma_6 = 5,700196 \text{ KN/cm}^2$

$$\sigma_7 = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_8 = 4 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_9 = 7,753207 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{10} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{11} = 0 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los1}} = 31,333132 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los2}} = 11,753207 \text{ KN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{los}} = 43,086339 \text{ KN/cm}^2$$

$$\gamma_{\text{sp}} = 0,9$$

$$P = 1177,563752 \text{ KN}$$

$$N_{\text{crc}} = 1371,102486 \text{ KN}$$

$$N_{\text{crc}} > F12U2 \text{ ise tamam}$$

$$\sigma_{\text{sn}} = -12,638083 \text{ KN/cm}^2$$

$$a_{\text{cr}} = -0,06288 \text{ mm}$$

$$a_{\text{crc}} > a_{\text{cr}} \text{ ise tamam}$$

5.3 Visual Basic ile Betonarme 2. Derece Parabol Üç Mafsallı Kemer Kiriş Hesabı

Ek-C'deki akış diyagramına (kaynak Hanmehmetova Z. 1999 ve Hanmehmetova Z. 2000'deki förmül ve hesaplamalardan yararlanılmıştır.) göre, Visual Basic'te hazırlanmış olan bilgisayar programında, betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş 24, 30 ve 36 m açıklıkta çözülmüştür.

Çözümde diğer taşıyıcı çatı sistemler ile karşılaştırma yapılabilmesi için iki kiriş arası (B) 6 m alınmıştır. Ayrıca beton (C 35) için hesap dayanımları, donatı çeliği (S 420) için hesap dayanımları, yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımları, kirişe etkileyen sabit yükler ve kar yükleri belirli değerlerde alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Kemerin hesaplanması iki yük kombinasyonuna göre yapılmıştır.

1. Öz ağırlık + tüm açıklıkta kar yükü
2. Öz ağırlık + yarım açıklıkta kar yükü

Büyük açıklıklı kemerler betonun rötre ve sünmesinden oluşan gerilmelere göre de hesaplanmalıdır.

Yüksek kemerler ise, rüzgar yükünün etkisine göre de hesaplanırlar.

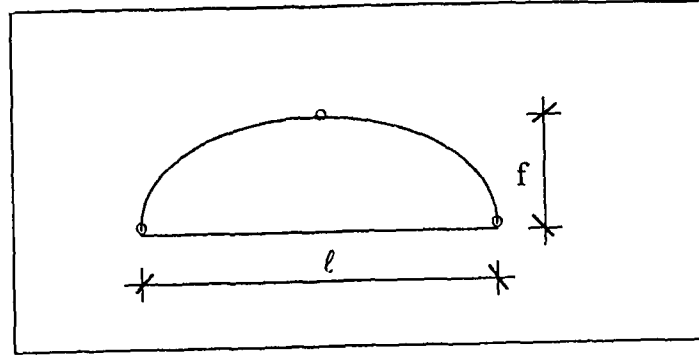
Bilindiği gibi ekseni 2. derece parabol olan üç mafsallı kemerlerin tüm açıklığı kaplayan düzgün yayılı yük etkisinde kemerin tüm kesitlerindeki eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri sıfıra eşit olur.

Bu yüklemde kemer aksenal basınçlı olarak normal kuvvetin etkisinde çalışır. 1. yük kombinasyonundan meydana gelen mesnet reaksiyonları 2. yüklemdekinden büyük olur.

Ayrıca 2. yük kombinasyonunda kemer kesitlerinde eğilme momentleri meydana gelir. Bunu dikkate alarak her iki yüklem (kemerin yarım kar yüklü ve tam kar yüklü olması durumunda) kombinasyonu için mesnet reaksiyonları ve çeşitli kesitlerdeki eğilme momentleri hesaplanır (Hanmehmetova, 2000). Kemerin en kritik kesiti bulunarak en büyük eğilme momentine göre kemer öngerilmesiz olarak boyutlandırılıp donatı hesabı yapılmıştır.

Gergi ise aksenal kuvvete göre 24, 30 m açıklıkta öngerimeli olarak, 36 m açıklıkta öngerilmeli ve öngerilmesiz olarak boyutlandırılıp donatı hesabı yapılmıştır. 36 m açıklıkta gerginin öngerilmeli ve öngerilmesiz olarak çözülmesindeki amaç, öngerilme sayesinde sistemin öngerilmesize göre ne kadar hafif ve ekonomik olduğunu görmektir.

Örnek 5.3.1. 24 m açıklıklı üç mafsallı 2. derece parabol öngerilmeli kemer kiriş hesabı



Şekil 5.53. 24 m açıklıklı kemer kiriş

$$l = 24 \text{ m}$$

$$b = 6 \text{ m}$$

$$f = 3 \text{ m}$$

Beton için hesap dayanımları

$$f_{cd} = 2,3 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = 0,135 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 0,21 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_b = 3320 \text{ KN/cm}^2$$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

$$E_{sc} = 20000 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 36,5 \text{ KN/cm}^2$$

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımlar

$$R_{s,ser15} = 129,5 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s12} = 110 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s15} = 108 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_s = 18000 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s,ser12} = 133,5 \text{ KN/cm}^2$$

Kemere etkileyen yüklerin hesabı

$$p_{kk} = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi\delta} = 1,80556 \text{ KN/m}^2$$

$$g_{\varphi\delta} = 260 \text{ KN}$$

$$P_{\varphi\delta} = 1,986116 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi} = 0,95 \text{ KN/m}^2$$

$$G = 4,30872 \text{ KN/m}^2$$

$$G_d = 1,025 \text{ KN/m}^2$$

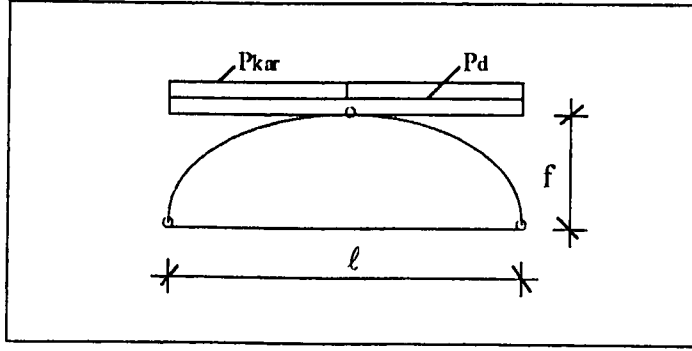
$$P_{kar1} = 1,12 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{\varphi} = 1,1951 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{kar} = 6,72 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{dl} = 1,1275 \text{ KN/m}^2$$

$$P_d = 25,85232 \text{ KN/m}^2$$



Şekil 5.54 24 m açıklıklı tam kar yüklü kemer kiriş

Kemerin tam kar yüklü mesnet reaksiyonlarının hesabı

$$R_A = 390,86784 \text{ KN} \quad H = 781,73568 \text{ KN}$$

$$R_B = 390,86784 \text{ KN}$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{11} = 0 \text{ m} \quad \phi_1 = 26,565051$$

$$x_{21} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_1 = 0,447214$$

$$y_{m1} = 0 \text{ m} \quad \cos\phi_1 = 0,894427$$

$$\tan\phi_1 = 0,5$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m1} = 390,86784 \text{ KN} \quad T_{mx1} = -0,000391 \text{ KN}$$

$$M_{m1} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mx1} = -874,007069 \text{ KN}$$

$$M_{mx1} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{12} = 6$ noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{12} = 6 \text{ m} \quad \phi_2 = 18,434932$$

$$x_{22} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_2 = 0,316227$$

$$y_{m2} = 2,25 \text{ m} \quad \cos\phi_2 = 0,948683$$

$$\tan\phi_2 = 0,333333$$

$x_{12} = 6$ noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m2} = 195,43392 \text{ KN} \quad T_{mx2} = -61,801091 \text{ KN}$$

$$M_{m2} = 1758,90528 \text{ KN.m} \quad N_{mx2} = -803,420832 \text{ KN}$$

$$M_{mx2} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{13} = 12 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{13} = 12 \text{ m} \quad \phi_3 = 9,462341$$

$$x_{23} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_3 = 0,164399$$

$$y_{m3} = 3 \text{ m} \quad \cos\phi_3 = 0,986394$$

$$\tan\phi_3 = 0,166667$$

x_{13} = 12 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m3} = 0, \text{ KN} \quad T_{mx3} = -128,516564 \text{ KN}$$

$$M_{m3} = 2345,20704 \text{ KN.m} \quad N_{mx3} = -771,099384 \text{ KN}$$

$$M_{mx3} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{14} = 18 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{14} = 18 \text{ m} \quad \phi_4 = 0,$$

$$x_{24} = 6 \text{ m} \quad \sin\phi_4 = 0,$$

$$y_{m4} = 2,25 \text{ m} \quad \cos\phi_4 = 1,$$

$$\tan\phi_4 = 0,$$

x_{14} = 18 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m4} = -195,43392 \text{ KN} \quad T_{mx4} = -195,43392 \text{ KN}$$

$$M_{m4} = 1758,90528 \text{ KN.m} \quad N_{mx4} = -781,73568 \text{ KN}$$

$$M_{mx4} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{15} = 24 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{15} = 24 \text{ m} \quad \phi_5 = -9,462341$$

$$x_{25} = 12 \text{ m} \quad \sin\phi_5 = -0,164399$$

$$y_{m5} = 0 \text{ m} \quad \cos\phi_5 = 0,986394$$

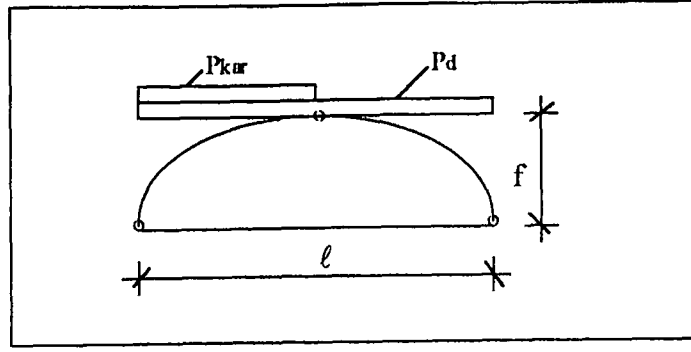
$$\tan\phi_5 = -0,166667$$

x_{15} = 24 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m5} = -390,86784 \text{ KN} \quad T_{mx5} = -257,033128 \text{ KN}$$

$$M_{m5} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mx5} = -835,357666 \text{ KN}$$

$$M_{mx5} = 0, \text{ KN.m}$$



Şekil 5.55. 24 m açıklıklı yarım kar yüklü kemer kiriş

Kemerin yarım kar yüklü mesnet reaksiyonlarının hesabı

$$R_{Ay} + R_{By} = 701,09568 \text{ KN} \quad R_{By} = 330,38784 \text{ KN}$$

$$R_{Ay} = 370,70784 \text{ KN} \quad H_{II} = 701,09568 \text{ KN}$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my1} = 370,70784 \text{ KN} \quad T_{mxy1} = 18,031298 \text{ KN}$$

$$M_{my1} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mxy1} = -792,864642 \text{ KN}$$

$$M_{mxy1} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{12} = 6$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my2} = 175,27392 \text{ KN} \quad T_{mxy2} = -55,425995 \text{ KN}$$

$$M_{my2} = 1637,94528 \text{ KN.m} \quad N_{mxy2} = -720,543899 \text{ KN}$$

$$M_{mxy2} = 60,48 \text{ KN.m}$$

$x_{13} = 12$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my3} = -20,16 \text{ KN} \quad T_{mxy3} = -19,885703 \text{ KN}$$

$$M_{my3} = 2103,28704 \text{ KN.m} \quad N_{mxy3} = -691,556572 \text{ KN}$$

$$M_{mxy3} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{14} = 18$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my4} = -175,27392 \text{ KN} \quad T_{mxy4} = -175,27392 \text{ KN}$$

$$M_{my4} = 1516,98528 \text{ KN.m} \quad N_{mxy4} = -701,09568 \text{ KN}$$

$$M_{mxy4} = -60,48 \text{ KN.m}$$

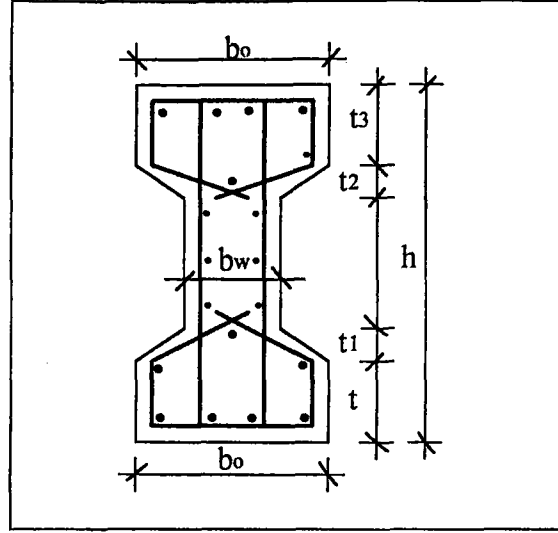
$x_{15} = 24$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my5} = -330,38784 \text{ KN} \quad T_{mxy5} = -210,633154 \text{ KN}$$

$$M_{my5} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mxy5} = -745,872003 \text{ KN}$$

$$M_{mxy5} = 0, \text{ KN.m}$$

Kemerin boyutlandırılması



Şekil 5.56. 24 m açıklıklı kemer kiriş kesiti

$M_{mxy} = 60,48 \text{ KN.m}$	Tane $A_{s1} = 3$
$N_{mxy} = -720,543899 \text{ KN}$	Tane $A_{s2} = 2$
$h_1 = 60 \text{ cm}$	Tane $A_{s3} = 1$
$b_o = 25 \text{ cm}$	Tane $A_{s4} = 1$
$b_w = 10 \text{ cm}$	Tane $A_{s5} = 2$
$t = 7 \text{ cm}$	Tane $A_{s6} = 3$
$t_1 = 9 \text{ cm}$	$A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$
$t_2 = 9 \text{ cm}$	$A_{s2} = 3,08 \text{ cm}^2$
$t_3 = 7 \text{ cm}$	$A_{s3} = 1,54 \text{ cm}^2$
$d_3 = 4 \text{ cm}$	$A_{s4} = 1,54 \text{ cm}^2$
$\xi_R = 0,521$	$A_{s5} = 3,08 \text{ cm}^2$
$h_a = 28, \text{ cm}$	$A_{s6} = 4,62 \text{ cm}^2$
Kesit Alanı $A_{s1} = 1,54 \text{ cm}^2$	$e_o = 12,393659 \text{ cm}$
Kesit Alanı $A_{s2} = 1,54 \text{ cm}^2$	$x = 11,229996 \text{ cm}$
Kesit Alanı $A_{s3} = 1,54 \text{ cm}^2$	$x_R = 29,176 \text{ cm}$
Kesit Alanı $A_{s4} = 1,54 \text{ cm}^2$	$\xi = 0,200536$
Kesit Alanı $A_{s5} = 1,54 \text{ cm}^2$	$A_x = 284,79996 \text{ cm}^2$
Kesit Alanı $A_{s6} = 1,54 \text{ cm}^2$	$A_s = A'_s = -12,683884 \text{ cm}^2$

$$A_s = A'_s < 0 \text{ ise}$$

$$\cos \alpha = 0,882353$$

$$y' = 5,142857 \text{ cm}$$

$$\tan \alpha = 0,533333$$

$$A_b = 945, \text{ cm}^2$$

$$\alpha = 28,072472$$

$$y_G = 30, \text{ cm}$$

$$S = 24,98781 \text{ cm}$$

$$I = 382937,5 \text{ cm}^4$$

$$\lambda = 86,891679$$

$$i = 20,130198 \text{ cm}$$

$$A_s + A'_s = 13,23 \text{ cm}^2$$

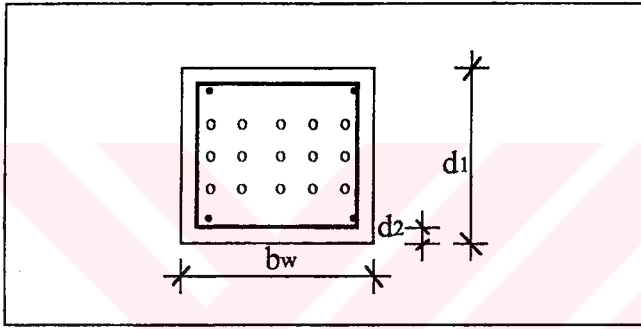
$$R = 25,5 \text{ cm}$$

$$A_{st} = 18,48 \text{ cm}^2$$

$$\sin \alpha = 0,470588$$

$$A_{st} > A_s + A'_s \text{ ise tamam}$$

Öngerilmeli gergi hesabı



Şekil 5.57. 24 m açıklıklı öngerilmeli gergi kesiti

$$H = 781,73568 \text{ KN}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp1} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$b_w = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp2} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$d = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{sp3} = 1,416 \text{ cm}^2$$

$$\Delta_1 = 0,2 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{s6} = 1,15$$

$$\text{Tane } A_{sp1} = 3$$

$$\Delta \gamma_{sp} = 1,15$$

$$\text{Tane } A_{sp2} = 3$$

$$\gamma_i = 0,1$$

$$\text{Tane } A_{sp3} = 3$$

$$\Delta_t = 65 \text{ 'C}$$

$$\text{Tane } A_s = 4$$

$$\alpha_{91st} = 0,85$$

$$A_{sp1} = 4,248 \text{ cm}^2$$

$$d_1 = 2400 \text{ cm}$$

$$A_{sp2} = 4,248 \text{ cm}^2$$

$$A_b = 500 \text{ cm}^2$$

$$A_{sp3} = 4,248 \text{ cm}^2$$

$$N_{kr} = 67,5 \text{ KN}$$

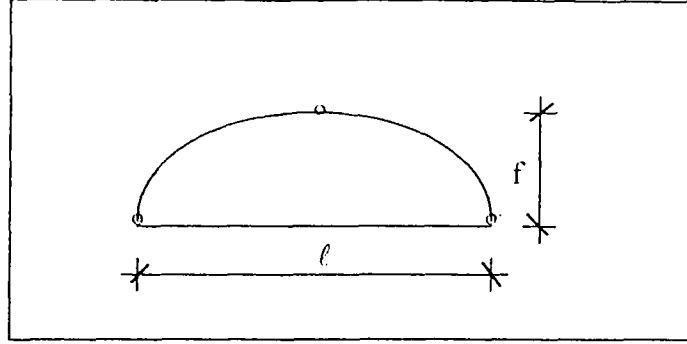
$$A_{sp} = 12,744 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} = 6,294168 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4,52 \text{ cm}^2$$

$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam	$\sigma_{tp} = 2,114162\text{KN/cm}^2$
$\mu = 0,034528$	$\sigma_6 = 9,728366\text{KN/cm}^2$
$\alpha_1 = 5,421687$	$\sigma_7 = 0\text{KN/cm}^2$
$\alpha_2 = 6,024096$	$\sigma_8 = 4\text{KN/cm}^2$
$A_{ret} = 603,999993 \text{ cm}^2$	$\sigma_9 = 14,299528\text{KN/cm}^2$
$\sigma_{sp} = 123,333333\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{10} = 2,114162\text{KN/cm}^2$
$\sigma_1 = 13,507936\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{11} = 0\text{KN/cm}^2$
$\sigma_2 = 8,125\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{los1} = 32,861302\text{KN/cm}^2$
$\sigma_3 = 1,5\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{los2} = 18,299528\text{KN/cm}^2$
$\sigma_4 = 0\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{los} = 51,16083\text{KN/cm}^2$
$\sigma_5 = 0\text{KN/cm}^2$	$\gamma_{sp} = 0,9$
$R_{tp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$	$P = 713,772268 \text{ KN}$
$\alpha_6 = 0,71$	$N_{crc} = 830,429543 \text{ KN}$
$\beta = 1,846$	$N_{crc} > H$ ise tamam
$P_1 = 1276,953859 \text{ KN}$	

Örnek 5.3.2. 30 m açıklıklı üç mafsallı 2. derece parabol öngerilmeli kemer kiriş hesabı



Şekil 5.58. 30 m açıklıklı kemer kiriş

$$l = 30 \text{ m}$$

$$b = 6 \text{ m}$$

$$f = 3,75 \text{ m}$$

Beton için hesap dayanımları

$$f_{cd} = 2,3 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = 0,135 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 0,21 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_b = 3320 \text{ KN/cm}^2$$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

$$E_{sc} = 20000 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 36,5 \text{ KN/cm}^2$$

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımlar

$$R_{s,ser15} = 129,5 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s12} = 110 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s15} = 108 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_s = 18000 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s,ser12} = 133,5 \text{ KN/cm}^2$$

Kemere etkiyen yüklerin hesabı

$$p_{kk} = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{çi} = 1,80556 \text{ KN/m}^2$$

$$g_{çi} = 325 \text{ KN}$$

$$P_{çi} = 1,986116 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{ç} = 0,95 \text{ KN/m}^2$$

$$G = 4,30872 \text{ KN/m}^2$$

$$G_d = 1,025 \text{ KN/m}^2$$

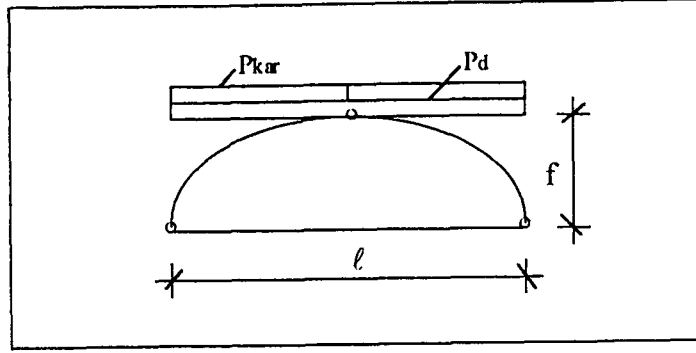
$$p_{kar1} = 1,12 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{ç} = 1,1951 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{kar} = 6,72 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{d1} = 1,1275 \text{ KN/m}^2$$

$$P_d = 25,85232 \text{ KN/m}^2$$



Şekil 5.59 30 m açıklıklı tam kar yüklü kemer giriş

Kemerin tam kar yüklü mesnet reaksiyonlarının hesabı

$$R_A = 488,5848 \text{ KN} \quad H = 977,1696 \text{ KN}$$

$$R_B = 488,5848 \text{ KN}$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{11} = 0 \text{ m} \quad \phi_1 = 26,565051$$

$$x_{21} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_1 = 0,447214$$

$$y_{m1} = 0 \text{ m} \quad \cos\phi_1 = 0,894427$$

$$\tan\phi_1 = 0,5$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m1} = 488,5848 \text{ KN} \quad T_{mx1} = -0,000489 \text{ KN}$$

$$M_{m1} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mx1} = -1092,508837 \text{ KN}$$

$$M_{mx1} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{12} = 7,5$ noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{12} = 7,5 \text{ m} \quad \phi_2 = 16,260222$$

$$x_{22} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_2 = 0,28$$

$$y_{m2} = 2,8125 \text{ m} \quad \cos\phi_2 = 0,96$$

$$\tan\phi_2 = 0,291667$$

$x_{12} = 7,5$ noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m2} = 244,2924 \text{ KN} \quad T_{mx2} = -39,086784 \text{ KN}$$

$$M_{m2} = 2748,2895 \text{ KN.m} \quad N_{mx2} = -1006,484688 \text{ KN}$$

$$M_{mx2} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{13} = 15 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{13} = 15 \text{ m} \quad \phi_3 = 4,763623$$

$$x_{23} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_3 = 0,083045$$

$$y_{m3} = 3,75 \text{ m} \quad \cos\phi_3 = 0,996546$$

$$\tan\phi_3 = 0,083333$$

x_{13} = 15 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m3} = 0, \text{ KN} \quad T_{mx3} = -81,149049 \text{ KN}$$

$$M_{m3} = 3664,386 \text{ KN.m} \quad N_{mx3} = -973,794456 \text{ KN}$$

$$M_{mx3} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{14} = 22,5 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{14} = 22,5 \text{ m} \quad \phi_4 = -7,125016$$

$$x_{24} = 7,5 \text{ m} \quad \sin\phi_4 = -0,124035$$

$$y_{m4} = 2,8125 \text{ m} \quad \cos\phi_4 = 0,992278$$

$$\tan\phi_4 = -0,125$$

x_{14} = 22,5 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m4} = -244,2924 \text{ KN} \quad T_{mx4} = -121,202743 \text{ KN}$$

$$M_{m4} = 2748,2895 \text{ KN.m} \quad N_{mx4} = -999,924704 \text{ KN}$$

$$M_{mx4} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{15} = 30 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{15} = 30 \text{ m} \quad \phi_5 = -18,434932$$

$$x_{25} = 15 \text{ m} \quad \sin\phi_5 = -0,316227$$

$$y_{m5} = 0 \text{ m} \quad \cos\phi_5 = 0,948683$$

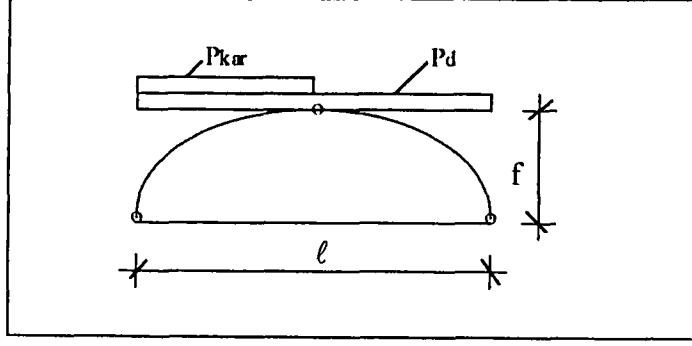
$$\tan\phi_5 = -0,333333$$

x_{15} = 30 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m5} = -488,5848 \text{ KN} \quad T_{mx5} = -154,504683 \text{ KN}$$

$$M_{m5} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mx5} = -1081,527893 \text{ KN}$$

$$M_{mx5} = 0, \text{ KN.m}$$



Şekil 5.60. 30 m açıklıklı yarım kar yüklü kemer giriş

Kemerin yarım kar yüklü mesnet reaksiyonlarının hesabı

$$R_{Ay} + R_{By} = 876,3696 \text{ KN} \quad R_{By} = 412,9848 \text{ KN}$$

$$R_{Ay} = 463,3848 \text{ KN} \quad H_{II} = 876,3696 \text{ KN}$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my1} = 463,3848 \text{ KN} \quad T_{mxy1} = 22,539122 \text{ KN}$$

$$M_{my1} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mxy1} = -991,080802 \text{ KN}$$

$$M_{mxy1} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{12} = 7,5$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my2} = 219,0924 \text{ KN} \quad T_{mxy2} = -35,054784 \text{ KN}$$

$$M_{my2} = 2559,2895 \text{ KN.m} \quad N_{mxy2} = -902,660688 \text{ KN}$$

$$M_{mxy2} = 94,5 \text{ KN.m}$$

$x_{13} = 15$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my3} = -25,2 \text{ KN} \quad T_{mxy3} = -25,112959 \text{ KN}$$

$$M_{my3} = 3286,386 \text{ KN.m} \quad N_{mxy3} = -873,342619 \text{ KN}$$

$$M_{mxy3} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{14} = 22,5$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my4} = -219,0924 \text{ KN} \quad T_{mxy4} = -108,700065 \text{ KN}$$

$$M_{my4} = 2370,2895 \text{ KN.m} \quad N_{mxy4} = -896,7774 \text{ KN}$$

$$M_{mxy4} = -94,5 \text{ KN.m}$$

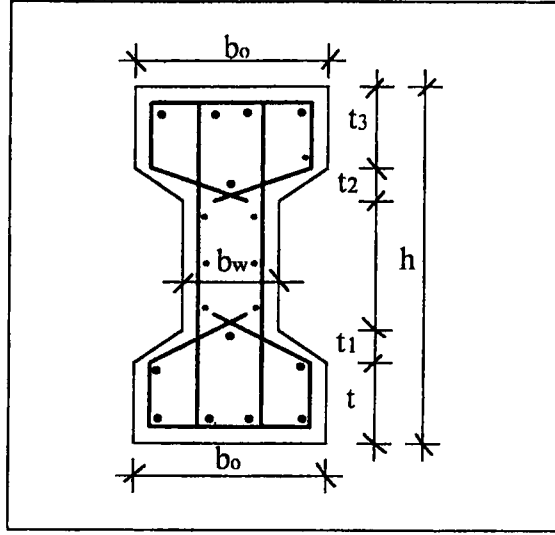
$x_{15} = 30$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my5} = -412,9848 \text{ KN} \quad T_{mxy5} = -114,65993 \text{ KN}$$

$$M_{my5} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mxy5} = -961,993886 \text{ KN}$$

$$M_{mxy5} = 0, \text{ KN.m}$$

Kemerin boyutlandırılması



Şekil 5.61. 30 m açıklıklı kemer kiriş kesiti

$$M_{mxy} = 94,5 \text{ KN.m}$$

$$\text{Tane } A_{s1} = 3$$

$$N_{mxy} = -902,660688 \text{ KN}$$

$$\text{Tane } A_{s2} = 2$$

$$h_1 = 70 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_{s3} = 1$$

$$b_o = 28 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_{s4} = 1$$

$$b_w = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_{s5} = 2$$

$$t = 7 \text{ cm}$$

$$\text{Tane } A_{s6} = 3$$

$$t_1 = 6 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = 4,62 \text{ cm}^2$$

$$t_2 = 6 \text{ cm}$$

$$A_{s2} = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$t_3 = 7 \text{ cm}$$

$$A_{s3} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$d_3 = 4 \text{ cm}$$

$$A_{s4} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\xi_R = 0,521$$

$$A_{s5} = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$h_a = 44, \text{ cm}$$

$$A_{s6} = 4,62 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s1} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$e_o = 15,46905 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s2} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$x = 17,678288 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s3} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$x_R = 34,386 \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s4} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\xi = 0,267853$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s5} = 1,54 \text{ cm}^2$$

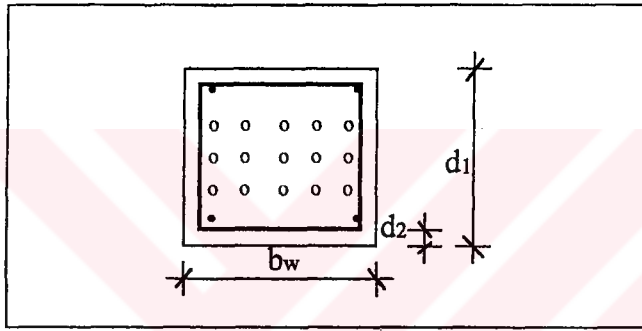
$$A_x = 356,78288 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s6} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A'_s = -14,557194 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
A_s = A'_s < 0 \text{ ise} & \quad \cos \alpha = 0,882353 \\
y' = 3,473684 \text{ cm} & \quad \tan \alpha = 0,533333 \\
A_b = 1060, \text{ cm}^2 & \quad \alpha = 28,072472 \\
y_G = 35, \text{ cm} & \quad S = 31,234763 \text{ cm} \\
I = 610133,333333 \text{ cm}^4 & \quad \lambda = 91,133239 \\
i = 23,991613 \text{ cm} & \quad A_s + A'_s = 14,84 \text{ cm}^2 \\
R = 31,875 \text{ cm} & \quad A_{st} = 18,48 \text{ cm}^2 \\
\sin \alpha = 0,470588 & \quad A_{st} > A_s + A'_s \text{ ise tamam}
\end{aligned}$$

Öngerilmeli gergi hesabı

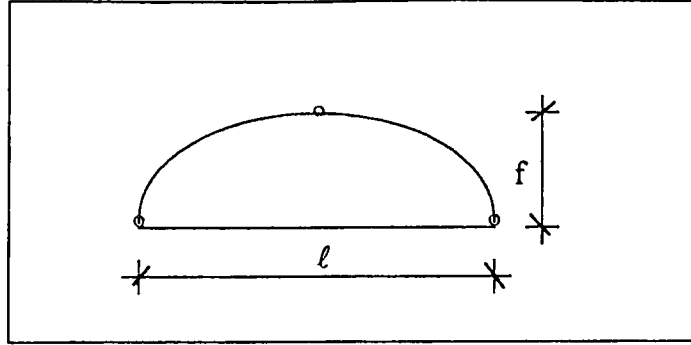


Şekil 5.62. 30 m açıklıklı öngerilmeli gergi kesiti

$$\begin{aligned}
H = 977,1696 \text{ KN} & \quad \text{Kesit Alanı } A_{sp1} = 1,416 \text{ cm}^2 \\
b_w = 28 \text{ cm} & \quad \text{Kesit Alanı } A_{sp2} = 1,416 \text{ cm}^2 \\
d = 21 \text{ cm} & \quad \text{Kesit Alanı } A_{sp3} = 1,416 \text{ cm}^2 \\
\Delta_1 = 0,2 \text{ cm} & \quad \text{Kesit Alanı } A_s = 1,13 \text{ cm}^2 \\
\gamma_{s6} = 1,15 & \quad \text{Tane } A_{sp1} = 4 \\
\Delta \gamma_{sp} = 1,15 & \quad \text{Tane } A_{sp2} = 4 \\
\gamma_i = 0,1 & \quad \text{Tane } A_{sp3} = 3 \\
\Delta_t = 65 \text{ 'C} & \quad \text{Tane } A_s = 4 \\
\alpha_{9ist} = 0,85 & \quad A_{sp1} = 5,664 \text{ cm}^2 \\
d_1 = 3000 \text{ cm} & \quad A_{sp2} = 5,664 \text{ cm}^2 \\
A_b = 588 \text{ cm}^2 & \quad A_{sp3} = 4,248 \text{ cm}^2 \\
N_{kr} = 79,38 \text{ KN} & \quad A_{sp} = 15,576 \text{ cm}^2 \\
A_{st} = 7,86771 \text{ cm}^2 & \quad A_s = 4,52 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

$A_{sp} > A_{st}$	ise tamam	σ_{bp}	$= 2,207703 \text{KN/cm}^2$
μ	$= 0,034177$	σ_6	$= 10,526057 \text{KN/cm}^2$
α_1	$= 5,421687$	σ_7	$= 0 \text{KN/cm}^2$
α_2	$= 6,024096$	σ_8	$= 4 \text{KN/cm}^2$
A_{ret}	$= 709,060233 \text{ cm}^2$	σ_9	$= 15,595884 \text{KN/cm}^2$
σ_{sp}	$= 123,333333 \text{KN/cm}^2$	σ_{10}	$= 2,207703 \text{KN/cm}^2$
σ_1	$= 13,507936 \text{KN/cm}^2$	σ_{11}	$= 0 \text{KN/cm}^2$
σ_2	$= 8,125 \text{KN/cm}^2$	σ_{los1}	$= 33,358993 \text{KN/cm}^2$
σ_3	$= 1,2 \text{KN/cm}^2$	σ_{los2}	$= 19,595884 \text{KN/cm}^2$
σ_4	$= 0 \text{KN/cm}^2$	σ_{los}	$= 52,954877 \text{KN/cm}^2$
σ_5	$= 0 \text{KN/cm}^2$	γ_{sp}	$= 0,9$
R_{bp}	$= 1,84 \text{KN/cm}^2$	P	$= 864,057292 \text{KN}$
α_6	$= 0,71$	N_{crc}	$= 1002,513073 \text{KN}$
β	$= 1,846$	$N_{crc} > H$	ise tamam
P_1	$= 1565,394184 \text{KN}$		

Örnek 5.3.3. 36 m açıklıklı üç mafsallı 2. derece parabol betonarme kemer kiriş hesabı



Şekil 5.63. 36 m açıklıklı kemer kiriş

$$l = 36 \text{ m}$$

$$b = 6 \text{ m}$$

$$f = 4,5 \text{ m}$$

Beton için hesap dayanımları

$$f_{cd} = 2,3 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = 0,135 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{ctk} = 0,21 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_b = 3320 \text{ KN/cm}^2$$

Donatı çeliği için hesap dayanımları

$$E_{sc} = 20000 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 36,5 \text{ KN/cm}^2$$

Yüksek dayanımlı donatı halatı için hesap dayanımlar

$$R_{s,scr15} = 129,5 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s12} = 110 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s15} = 108 \text{ KN/cm}^2$$

$$E_s = 18000 \text{ KN/cm}^2$$

$$R_{s,scr12} = 133,5 \text{ KN/cm}^2$$

Kemere etkiyen yüklerin hesabı

$$p_{kk} = 0,8 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi\delta} = 1,80556 \text{ KN/m}^2$$

$$g_{\varphi\delta} = 390 \text{ KN}$$

$$P_{\varphi\delta} = 1,986116 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\varphi} = 0,95 \text{ KN/m}^2$$

$$G = 4,30872 \text{ KN/m}^2$$

$$G_d = 1,025 \text{ KN/m}^2$$

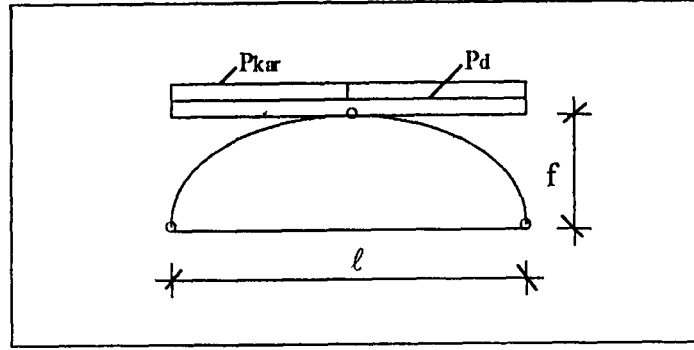
$$P_{kar1} = 1,12 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{\varphi} = 1,1951 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{kar} = 6,72 \text{ KN/m}^2$$

$$P_{d1} = 1,1275 \text{ KN/m}^2$$

$$P_d = 25,85232 \text{ KN/m}^2$$



Şekil 5.64 36 m açıklıklı tam kar yüklü kemer giriş

Kemerin tam kar yüklü mesnet reaksiyonlarının hesabı

$$R_A = 586,30176 \text{ KN} \quad H = 1172,60352 \text{ KN}$$

$$R_B = 586,30176 \text{ KN}$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{11} = 0 \text{ m} \quad \phi_1 = 26,565051$$

$$x_{21} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_1 = 0,447214$$

$$y_{m1} = 0 \text{ m} \quad \cos\phi_1 = 0,894427$$

$$\tan\phi_1 = 0,5$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m1} = 586,30176 \text{ KN} \quad T_{mx1} = -0,000586 \text{ KN}$$

$$M_{m1} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mx1} = -1311,010604 \text{ KN}$$

$$M_{mx1} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{12} = 9$ noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{12} = 9 \text{ m} \quad \phi_2 = 14,036243$$

$$x_{22} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_2 = 0,242536$$

$$y_{m2} = 3,375 \text{ m} \quad \cos\phi_2 = 0,970143$$

$$\tan\phi_2 = 0,25$$

$x_{12} = 9$ noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m2} = 293,15088 \text{ KN} \quad T_{mx2} = -0,000293 \text{ KN}$$

$$M_{m2} = 3957,53688 \text{ KN.m} \quad N_{mx2} = -1208,692739 \text{ KN}$$

$$M_{mx2} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{13} = 18 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{13} = 18 \text{ m} \quad \phi_3 = 0,$$

$$x_{23} = 0 \text{ m} \quad \sin\phi_3 = 0,$$

$$y_{m3} = 4,5 \text{ m} \quad \cos\phi_3 = 1,$$

$$\tan\phi_3 = 0,$$

x_{13} = 18 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m3} = 0, \text{ KN} \quad T_{mx3} = 0, \text{ KN}$$

$$M_{m3} = 5276,71584 \text{ KN.m} \quad N_{mx3} = -1172,60352 \text{ KN}$$

$$M_{mx3} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{14} = 27 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{14} = 27 \text{ m} \quad \phi_4 = -14,036243$$

$$x_{24} = 9 \text{ m} \quad \sin\phi_4 = -0,242536$$

$$y_{m4} = 3,375 \text{ m} \quad \cos\phi_4 = 0,970143$$

$$\tan\phi_4 = -0,25$$

x_{14} = 27 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m4} = -293,15088 \text{ KN} \quad T_{mx4} = 0,000293 \text{ KN}$$

$$M_{m4} = 3957,53688 \text{ KN.m} \quad N_{mx4} = -1208,692739 \text{ KN}$$

$$M_{mx4} = 0, \text{ KN.m}$$

x_{15} = 36 noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

$$x_{15} = 36 \text{ m} \quad \phi_5 = -26,565051$$

$$x_{25} = 18 \text{ m} \quad \sin\phi_5 = -0,447214$$

$$y_{m5} = 0 \text{ m} \quad \cos\phi_5 = 0,894427$$

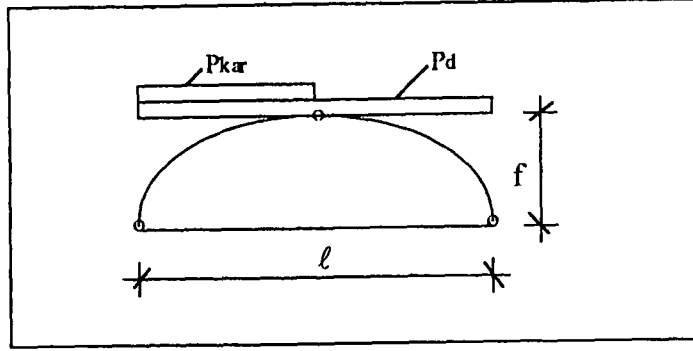
$$\tan\phi_5 = -0,5$$

x_{15} = 36 noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{m5} = -586,30176 \text{ KN} \quad T_{mx5} = 0,000586 \text{ KN}$$

$$M_{m5} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mx5} = -1311,010604 \text{ KN}$$

$$M_{mx5} = 0, \text{ KN.m}$$



Şekil 5.65. 36 m açıklıklı yarım kar yüklü kemer kiriş

Kemerin yarım kar yüklü mesnet reaksiyonlarının hesabı

$$R_{Ay} + R_{By} = 1051,64352 \text{ KN} \quad R_{By} = 495,58176 \text{ KN}$$

$$R_{Ay} = 556,06176 \text{ KN} \quad H_{II} = 1051,64352 \text{ KN}$$

$x_{11} = 0$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my1} = 556,06176 \text{ KN} \quad T_{mxy1} = 27,046947 \text{ KN}$$

$$M_{my1} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mxy1} = -1189,296963 \text{ KN}$$

$$M_{mxy1} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{12} = 9$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my2} = 262,91088 \text{ KN} \quad T_{mxy2} = -0,000263 \text{ KN}$$

$$M_{my2} = 3685,37688 \text{ KN.m} \quad N_{mxy2} = -1084,009953 \text{ KN}$$

$$M_{mxy2} = 136,08 \text{ KN.m}$$

$x_{13} = 18$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my3} = -30,24 \text{ KN} \quad T_{mxy3} = -30,24 \text{ KN}$$

$$M_{my3} = 4732,39584 \text{ KN.m} \quad N_{mxy3} = -1051,64352 \text{ KN}$$

$$M_{mxy3} = 0, \text{ KN.m}$$

$x_{14} = 27$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my4} = -262,91088 \text{ KN} \quad T_{mxy4} = 0,000263 \text{ KN}$$

$$M_{my4} = 3413,21688 \text{ KN.m} \quad N_{mxy4} = -1084,009953 \text{ KN}$$

$$M_{mxy4} = -136,08 \text{ KN.m}$$

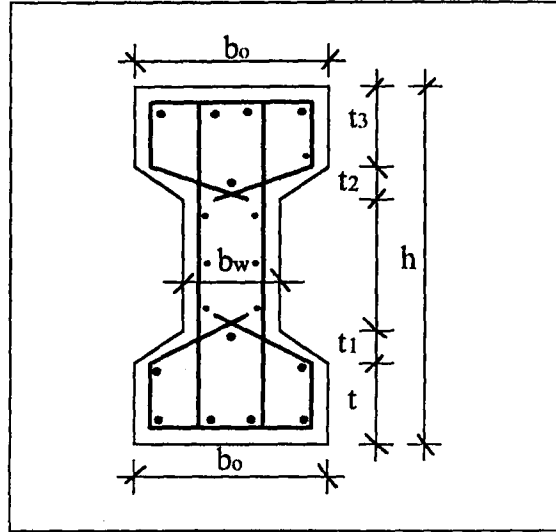
$x_{15} = 36$ noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

$$T_{my5} = -495,58176 \text{ KN} \quad T_{mxy5} = 27,047998 \text{ KN}$$

$$M_{my5} = 0, \text{ KN.m} \quad N_{mxy5} = -1162,24946 \text{ KN}$$

$$M_{mxy5} = 0, \text{ KN.m}$$

Kemerin boyutlandırılması



Şekil 5.66. 36 m açıklıklı kemer kiriş kesiti

$$M_{mxy} = 136,08 \text{ KN.m}$$

$$N_{mxy} = -1084,009953 \text{ KN}$$

$$h_1 = 70 \text{ cm}$$

$$b_o = 32 \text{ cm}$$

$$b_w = 10 \text{ cm}$$

$$t = 7 \text{ cm}$$

$$t_1 = 9 \text{ cm}$$

$$t_2 = 9 \text{ cm}$$

$$t_3 = 7 \text{ cm}$$

$$d_3 = 4 \text{ cm}$$

$$\xi_R = 0,521$$

$$h_a = 38, \text{ cm}$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s1} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s2} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s3} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s4} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s5} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Kesit Alanı } A_{s6} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tane } A_{s1} = 4$$

$$\text{Tane } A_{s2} = 2$$

$$\text{Tane } A_{s3} = 1$$

$$\text{Tane } A_{s4} = 1$$

$$\text{Tane } A_{s5} = 2$$

$$\text{Tane } A_{s6} = 4$$

$$A_{s1} = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{s2} = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$A_{s3} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$A_{s4} = 1,54 \text{ cm}^2$$

$$A_{s5} = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$A_{s6} = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$e_o = 18,55339 \text{ cm}$$

$$x = 17,546243 \text{ cm}$$

$$x_R = 34,386 \text{ cm}$$

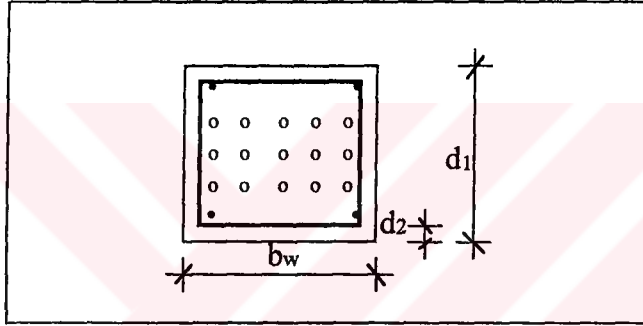
$$\xi = 0,265852$$

$$A_x = 428,46243 \text{ cm}^2$$

$$A_s = A'_s = -16,033118 \text{ cm}^2$$

$A_s = A'_s < 0$ ise	$\cos \alpha = 0,882353$
$y' = 5,285714$ cm	$\tan \alpha = 0,533333$
$A_b = 1206$, cm ²	$\alpha = 28,072472$
$y_G = 35$, cm	$S = 37,481716$ cm
$I = 717345$, cm ⁴	$\lambda = 107,578907$
$i = 24,388797$ cm	$A_s + A'_s = 16,884$ cm ²
$R = 38,25$ cm	$A_{st} = 21,56$ cm ²
$\sin \alpha = 0,470588$	$A_{st} > A_s + A'_s$ ise tamam

Öngerilmeli gergi hesabı

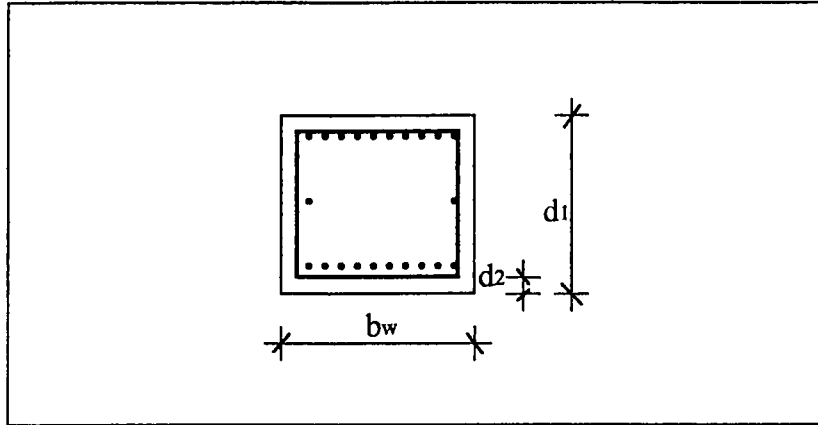


Şekil 5.67. 36 m açıklıklı öngerilmeli gergi kesiti

$H = 1172,60352$ KN	Kesit Alanı $A_{sp1} = 1,416$ cm ²
$b_w = 32$ cm	Kesit Alanı $A_{sp2} = 1,416$ cm ²
$d = 22$ cm	Kesit Alanı $A_{sp3} = 1,416$ cm ²
$\Delta_1 = 0,2$ cm	Kesit Alanı $A_s = 1,13$ cm ²
$\gamma_{s6} = 1,15$	Tane $A_{sp1} = 4$
$\Delta\gamma_{sp} = 1,15$	Tane $A_{sp2} = 4$
$\gamma_i = 0,1$	Tane $A_{sp3} = 4$
$\Delta_t = 65$ 'C	Tane $A_s = 4$
$\alpha_{91st} = 0,85$	$A_{sp1} = 5,664$ cm ²
$d_1 = 3600$ cm	$A_{sp2} = 5,664$ cm ²
$A_b = 704$ cm ²	$A_{sp3} = 5,664$ cm ²
$N_{kr} = 95,04$ KN	$A_{sp} = 16,992$ cm ²
$A_{st} = 9,441252$ cm ²	$A_s = 4,52$ cm ²

$A_{sp} > A_{st}$ ise tamam	$\sigma_{tp} = 2,052688\text{KN/cm}^2$
$\mu = 0,030557$	$\sigma_6 = 9,204133\text{KN/cm}^2$
$\alpha_1 = 5,421687$	$\sigma_7 = 0\text{KN/cm}^2$
$\alpha_2 = 6,024096$	$\sigma_8 = 4\text{KN/cm}^2$
$A_{ret} = 833,590353 \text{ cm}^2$	$\sigma_9 = 13,447578\text{KN/cm}^2$
$\sigma_{sp} = 123,333333\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{10} = 2,052688\text{KN/cm}^2$
$\sigma_1 = 13,507936\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{11} = 0\text{KN/cm}^2$
$\sigma_2 = 8,125\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{los1} = 31,837069\text{KN/cm}^2$
$\sigma_3 = 1\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{los2} = 17,447578\text{KN/cm}^2$
$\sigma_4 = 0\text{KN/cm}^2$	$\sigma_{los} = 49,284647\text{KN/cm}^2$
$\sigma_5 = 0\text{KN/cm}^2$	$\gamma_{sp} = 0,9$
$R_{tp} = 1,84 \text{ KN/cm}^2$	$P = 1023,992585 \text{ KN}$
$\alpha_6 = 0,71$	$N_{arc} = 1186,199619 \text{ KN}$
$\beta = 1,846$	$N_{arc} > H$ ise tamam
$P_1 = 1711,101146 \text{ KN}$	

Öngerilmemiş gergi hesabı



Şekil 5.68. 36 m açıklıklı öngerilmemiş gergi kesiti

$M_{mxy} = 136,08 \text{ KN.m}$	$I_o = 1679260,083333 \text{ cm}^4$
$N_{mxy} = -1084,009953 \text{ KN}$	$I_s = 3112,9875 \text{ cm}^4$
$M_{mx} = 0, \text{ KN.m}$	$M_{II} = 32114,373614 \text{ KN.m}$
$N_{mx} = -1208,692739 \text{ KN}$	$M_1 = 35656,4358 \text{ KN.m}$
$b_w = 67 \text{ cm}$	$\phi_1 = 1,900661$
$d_1 = 67 \text{ cm}$	$\delta_e = 0,089552$
$d_2 = 4 \text{ cm}$	$\delta_{emin} = -0,213582$
$\mu = 0,025$	$\delta_e = 0,089552$
$\beta = 1$	$\alpha = 6,024096$
$a = 3600 \text{ cm}$	$N_{arc} = 1254,56872 \text{ KN}$
$h_o = 63 \text{ cm}$	$N_{arc} > N_{mx}$ ise tamam
$A_o = 445,026782 \text{ cm}^2$	$A_{st} = 112,225 \text{ cm}^2$
$A_b = 4489 \text{ cm}^2$	Kesit Alanı $A_s = 5,35 \text{ cm}^2$
$e_a = 6 \text{ cm}$	Tane $A_s = 22$
$e_o = 6 \text{ cm}$	$A_s = 117,7 \text{ cm}^2$
$l_o = 3240 \text{ cm}$	$A_s > A_{st}$ ise tamam

BÖLÜM 6

BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. “I” Kesitli Çatı Makası İle Paralel Başlıklı Kafes Kirişin Karşılaştırılması

Karşılaştırmaların yapılması için Visual Basic’de yapılmış bilgisayar programlarından yararlanılmıştır. Bu programlar sayesinde elde edilen sonuçlar bölüm 4’te verilmiştir. Bölüm 4’teki sonuçlardan yararlanılarak önerilmeli betonarme “I” kesitli yamuk kiriş (çatı makası) ile, önerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin karşılaştırılmasının yapılması için, her iki taşıyıcı sistemin, açıklığı (ℓ) 18 m ve iki kiriş arası (B) 6 m alınmıştır. Her iki yapı elemanında da, beton (C 35) ve donatı çeliği için (S 420) mekanik karakterler, yüksek dayanımlı donatı halatı için karakteristik dayanımlar aynı alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca kaplama ve kar yükü her iki sistemde de eşit alınmıştır. Bölüm 5, 4.1 ve 5.2’deki hesaplamalardan yararlanılarak çizelge 6.1 ve çizelge 6.2’deki sonuçlar elde edilmiştir.

Bilindiği gibi, her hangi bir yapı sisteminin değerlendirilmesinde, en önemli faktör yapının ekonomik olmasıdır. Yapı maliyetinin hesaplanmasında, yapının toplam ağırlığının bilinmesi gerekir. Farklı yapıların maliyetlerinin karşılaştırılması sırasında, yapıda kullanılan malzemelerin, açıklıkların ve yapıya etki eden yüklerin eşit olması gereklidir. Yapının ekonomikliği ise, toplam ağırlıklarının karşılaştırılması ile yapılabilir. Söz konusu sistemlerin karşılaştırılmasında çizelge 5.1 ve çizelge 5.2’deki değerlerden yararlanılmıştır.

Burada toplam yapı ağırlığından başka, beton ve çelik malzemenin ayrı ayrı kesit alanı, hacmi ve ağırlıkları da tespit edilmiştir. Bu çizelgelerden yararlanılarak şekil 6.1 hazırlanmıştır. Şekil 6.1 de, 18 m açıklıklı önerilmeli betonarme, “I” kesitli yamuk kiriş ve paralel başlıklı kafes kirişin beton ağırlıkları, donatı ağırlıkları ve toplam yapı ağırlıkları grafikte görülmektedir.

Çizelge 6.1, çizelge 6.2 veya Şekil 6.1’de görüldüğü gibi $\ell = 18$ m ve B = 6 m’de beton ağırlıklarının kıyaslanması, önerilmeli betonarme “I” kesitli yamuk kirişin beton ağırlığı 8,8344 t olurken, önerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin beton ağırlığı 4,90272 t olmaktadır. “I” kesitli yamuk kirişin beton ağırlığı paralel başlıklı kafes kirişin beton ağırlığının nerede ise iki katıdır.

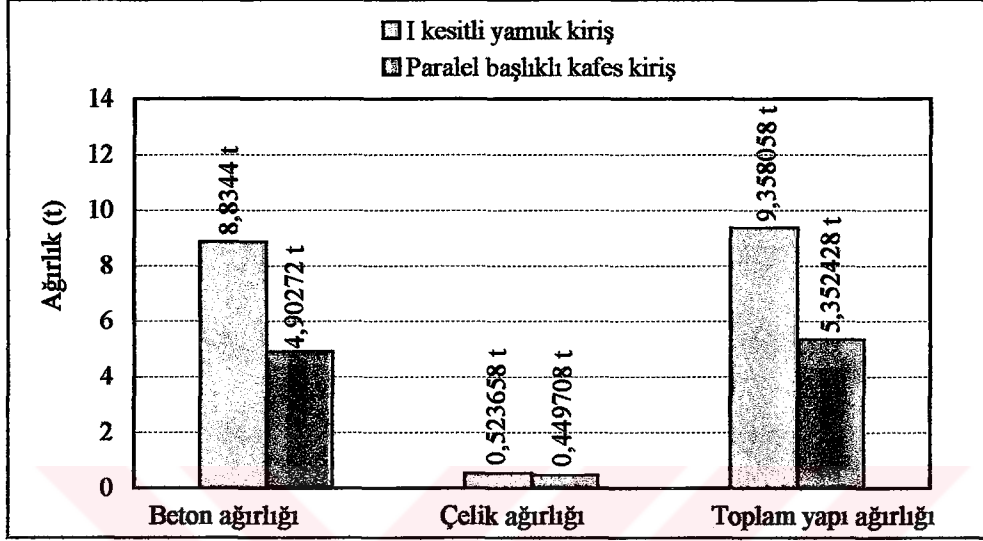
Çizelge 6.1. 18 ve 24 m açıklıkta öngerilmeli betonarme "I" kesitli yamuk kirişin toplam ağırlığının hesaplanması

"I" Profilli Öngerilmeli Betonarme Yamuk Kiriş	İki Kiriş Arası B (m)	Uzunluk ℓ (m)	Beton Kesit Alanı (m^2)	Beton Hacmi (m^3)	Beton Özgül Ağırlığı (t/m^3)	Beton Ağırlığı (t)	Donatı Alanı (m^2)	Donatı Hacmi (m^3)	Çeliğin Özgül Ağırlığı (t/m^3)	Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Kiriş Ağırlığı (t)
6	24	0,2520	6,0480		14,5152	0,004414	0,105936			0,831598	15,34680

Çizelge 6.2. 18 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığının hesaplanması

Öngerilmeli Paralel Başlıklı Kafes Kiriş Açıklık ℓ (m)	Çubuk	Çubuk Uzunluğu (m)	Çubuk Beton Kesit Alanı (m ²)	Çubuk Beton Hacmi (m ³)	Betonun Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Beton Çubuk Ağırlığı (t)	Çubuk Donatı Alanı (m ²)	Çubuk Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Çubuk Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Çubuk Ağırlığı (t)	
												Çubuk Kesit Alanı (m ²)
18	6	O ₁ =O ₁	0,0360	0,0810	2,4	0,19440	0,000924	0,002079	7,85	0,016320	0,210720	
		O ₂ =O ₂	0,0360	0,0810		0,19440	0,000924	0,002079		0,016320	0,210720	
		O ₃ =O ₃	0,0360	0,0810		0,19440	0,000924	0,002079		0,016320	0,210720	
		O ₄ =O ₄	0,0360	0,0810		0,19440	0,000924	0,002079		0,016320	0,210720	
	D ₁ =D ₁	0,0192	0,0578	2,4	0,13872	0,000616	0,001854	0,014554	0,153274			
	D ₂ =D ₂	0,0192	0,0578		0,13872	0,000616	0,001854	0,014554	0,153274			
	D ₃ =D ₃	0,0192	0,0578		0,13872	0,000616	0,001854	0,014554	0,153274			
	D ₄ =D ₄	0,0192	0,0578		0,13872	0,000616	0,001854	0,014554	0,153274			
	V ₁ =V ₁	0,0192	0,0384	2,4	0,09216	0,000616	0,001232	0,009671	0,101831			
	V ₂ =V ₂	0,0192	0,0384		0,09216	0,000616	0,001232	0,009671	0,101831			
	V ₃ =V ₃	0,0192	0,0384		0,09216	0,000616	0,001232	0,009671	0,101831			
	U ₁ =U ₁	0,0360	0,1620	2,4	0,38880	0,0008824	0,003971	0,031172	0,419972			
	U ₂ =U ₂	0,0420	0,189		0,45360	0,0011656	0,005245	0,041173	0,494773			
	TOPLAM x 2			0,7128	2,0428		4,90272	0,010056	0,057288		0,449708	5,352428

Şekilde görüldüğü gibi $\ell = 18$ m ve $B = 6$ m’de donatı ağırlıklarının kıyaslanması ise, öngerilmeli betonarme yamuk kirişin donatı ağırlığı 0,523658 t olurken, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin donatı ağırlığı 0,449708 t olmaktadır. Burada iki sistem arasında donatı ağırlığı bakımından önemli bir fark görülmemektedir.



Şekil 6.1. 18 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, “I” kesitli yamuk kiriş ile paralel başlıklı kafes kirişin karşılaştırılması

Son olarak, her iki taşıyıcı çatı kirişi kıyası, en hafif ve en ekonomik sonucu verecek olan yapının toplam ağırlığına göre yapılacaktır. Çizelge 6.1, çizelge 6.2 veya şekil 6.1’de görüldüğü gibi, $\ell = 18$ m ve $B = 6$ m için, öngerilmeli betonarme yamuk kirişin toplam ağırlığı 9,358058 t olurken, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığı 5,352428 t olmaktadır. Öngerilmeli betonarme yamuk kirişin toplam ağırlığı, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığından yaklaşık olarak 1,75 kat daha büyüktür.

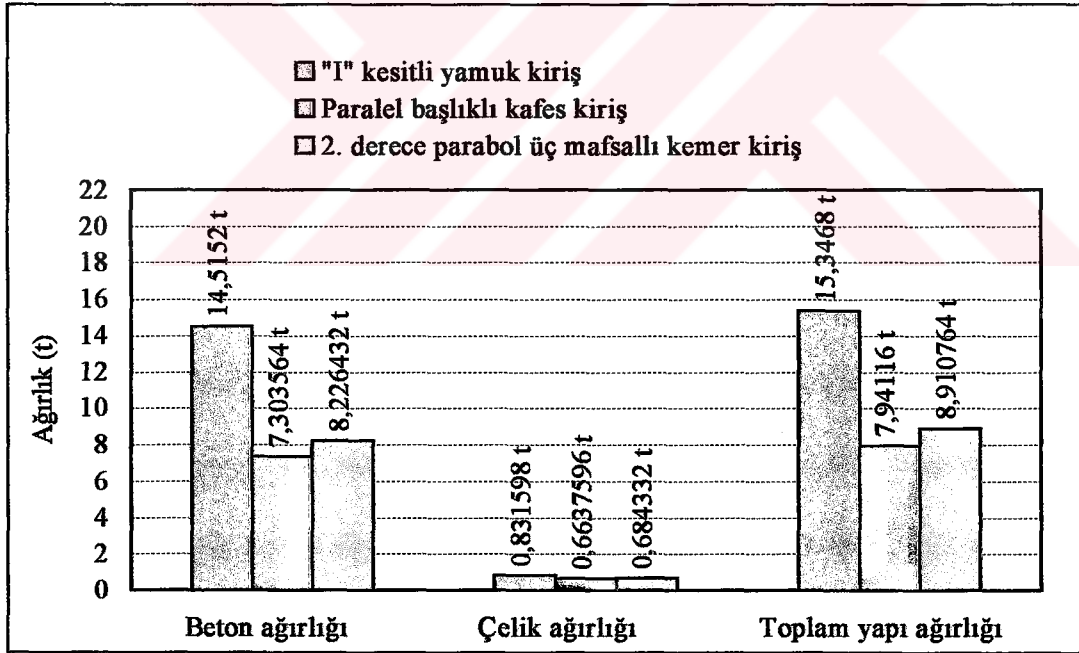
6.2. “I” Kesitli Yamuk Kiriş, Paralel Başlıklı Kafes Kiriş ve 2. Derece Parabol Üç Mafsallı Kemer Kirişin Karşılaştırılması

Bu karşılaştırmanın yapılabilmesi için, Visual Basic’te yapılmış bilgisayar programından elde edilen hesap sonuçları, bölüm 5’teki 5.1, 5.2 ve 5.3’te görüldüğü gibi her üç taşıyıcı sistemin açıklığı (ℓ) 24 m ve iki kiriş arası (B) 6 m alınmıştır. Üç yapı elemanında da beton (C 35) ve çelik için (S 420) mekanik karakterler, yüksek dayanımlı donatı çeliği için karakteristik dayanımlar aynı alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca yapılara etki eden kaplama ve kar yükü her üç sistem için de eşit alınmıştır. Burada bölüm 5, 5.1, 5.2 ve 5.3’teki hesaplamalardan yararlanılarak çizelge 6.1, çizelge 6.3 ve çizelge 6.4

hazırlanmıştır. Bu çizelgelere göre şekil 6.2'deki grafik elde edilmiştir. Bunlara göre öngerilmeli betonarme "I" kesitli yamuk kiriş, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ve öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş kıyaslanacaktır.

Çizelgeler ve şekil 6.2'de görüldüğü gibi $\ell = 24$ m ve $B = 6$ m'de beton ağırlıklarının kıyaslaması, öngerilmeli betonarme "I" kesitli yamuk kirişin beton ağırlığı 14,5152 t, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin beton ağırlığı 7,303564 t ve öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin beton ağırlığı 8,226432 t olmaktadır. Yamuk kirişin beton ağırlığı diğer kirişlere göre çok fazladır. Kafes kiriş ile kemer kiriş arasında ise az bir fark vardır. Kafes kirişe göre kemer kiriş daha ağırdır.

$\ell = 24$ m ve $B = 6$ m'de donatı ağırlıklarının kıyaslaması ise, öngerilmeli betonarme "I" kesitli yamuk kirişin donatı ağırlığı 0,831598 t, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin donatı ağırlığı 0,637596 t ve öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin donatı ağırlığı 0,684332 t olmaktadır. Burada da her üç sistemin donatı ağırlıkları arasında önemli bir fark yoktur.



Şekil 6.2. 24 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, "I" kesitli yamuk kiriş, paralel başlıklı kafes kiriş ve 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması

Önemli olan sistemlerin, ekonomik ve hafif olmasıdır. Bunun için de çatı sistemleri, toplam ağırlıklarına göre kıyaslanacaktır. Toplam ağırlıklara göre kıyaslama yapılacak olursa; çizelge 6.1, çizelge 6.3, çizelge 6.4 veya şekil 6.2'deki grafikte görüldüğü gibi $\ell = 24$ m ve $B = 6$ m için, öngerilmeli betonarme "I" kesitli yamuk kirişin toplam ağırlığı

Çizelge 6.3. 24 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes girişin toplam ağırlığının hesaplanması

Öngerilmeli Paralel Başlıklı Kafes Giriş Açıklık ℓ (m)	İki giriş Arası B (m)	Çubuk	Çubuk Uzunluğu (m)	Çubuk Beton Kesit Alanı (m ²)	Çubuk Beton Hacmi (m ³)	Betonun Özgütlü Ağırlığı (t/m ³)	Beton Çubuk Ağırlığı (t)	Çubuk Donatı Alanı (m ²)	Çubuk Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgütlü Ağırlığı (t/m ³)	Çubuk Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Çubuk Ağırlığı (t)	
													O ₁ =O ₁
24	6		3,00	0,0390	0,11700	2,4	0,280800	0,001078	0,003234	7,85	0,025387	0,306187	
			3,00	0,0390	0,11700		0,280800	0,001078	0,003234		0,025387	0,306187	
			3,00	0,0390	0,11700		0,280800	0,001078	0,003234		0,025387	0,306187	
			3,00	0,0420	0,12600		0,302400	0,001078	0,003234		0,025387	0,327787	
			4,04	0,0288	0,116352	0,279245	0,000770	0,003111	0,024421	0,303666			
			4,04	0,0192	0,077568	0,186163	0,000565	0,002283	0,017922	0,204085			
			4,04	0,0192	0,077568	0,186163	0,000565	0,002283	0,017922	0,204085			
			2,70	0,0192	0,05184	0,124416	0,000565	0,001526	0,011979	0,136395			
			2,70	0,0192	0,05184	0,124416	0,000565	0,001526	0,011979	0,136395			
			2,70	0,0192	0,05184	0,124416	0,000565	0,001526	0,011979	0,136395			
			6,00	0,0360	0,21600	0,518400	0,0008824	0,005294	0,041558	0,559958			
			6,00	0,0540	0,32400	0,777600	0,0013072	0,007843	0,061568	0,839168			
				0,786	3,043152	7,303564	0,021323	0,081222	0,637596	7,94116			

15,34680 t, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığı 7,94116 t ve öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin toplam ağırlığı 8,910764 t olmaktadır. Burada, öngerilmeli betonarme “I” kesitli yamuk kirişin toplam ağırlığı, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığından 1,93 kat, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin toplam ağırlığından 1,72 kat daha büyüktür. Toplam ağırlıklara göre $\ell = 24$ m ve $B = 6$ m’de öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş daha ekonomiktir.

6.3. Paralel Başlıklı Kafes Kiriş İle 2. Derece parabol Üç mafsallı Kemer Kirişin

Karşılaştırılması

$\ell = 30$ m ve $B = 6$ m de öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ile öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması için; bölüm 5, 5.2 ve 4.3’teki hesaplamalardan yararlanılarak çizelge 6.5 ve çizelge 6.6 hazırlanmıştır. Bu çizelgelerden yararlanılarak şekil 6.3’teki grafik elde edilmiştir. Bu kıyaslamanın yapılabilmesi için, çatı sistemlerinde kullanılan beton (C 35) ve çeliğin (S 420) mekanik karakterleri, yüksek dayanımlı donatı halatı karakteristik dayanımları, kaplamaları ve kar yükleri eşit alınmıştır.

Çizelge 6.5, çizelge 6.6 veya şekil 6.3’te görüldüğü gibi, $\ell = 30$ m ve $B = 6$ m’de beton ağırlıklarını kıyaslarsak, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin beton ağırlığı 11,735826 t olurken, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin beton ağırlığı 12,10550 t olmaktadır. Beton ağırlıkları her iki sistem için de hemen hemen aynıdır.

$\ell = 30$ m ve $B = 6$ m’de, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin donatı ağırlığı 0,897854 t olurken, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin donatı ağırlığı 0,922148 t olmaktadır. Her iki sistemin, donatı ağırlıkları birbirine çok yakındır.

Toplam ağırlıklara göre kıyaslama yapacak olursak, $\ell = 30$ m ve $B = 6$ m’de çizelge 6.5, çizelge 6.6 veya şekil 6.3’de görüldüğü gibi, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığı 12,63368 t olurken, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin toplam ağırlığı 13,11765 t olmaktadır.

Yukarıda da görüldüğü gibi 30 m açıklık ve iki kiriş arası 6 m olduğu zaman öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ile öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin toplam ağırlıkları arasında önemli bir fark görülmemektedir. Bu da

Çizelge 6.4. 24 m açıklıklı öngerilmeli betonarme 2. derece parabol kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı

2. Derece Parabol Öngerilmeli Kemer Kiriş	İki Kiriş Arası B (m)	Uzunluk ℓ (m)	Beton Kesit Alanı (m ²)	Beton Hacmi (m ³)	Beton Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Beton Ağırlığı (t)	Donatı Alanı (m ²)	Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Kiriş Ağırlığı (t)
Kemer	6	24,752	0,0900	2,22768	2,4	5,346432	0,001848	0,045742	7,85	0,359075	5,705507
Öngerilmeli Gergi		24	0,0500	1,20000		2,88000	0,0017264	0,041434		0,325257	3,205257
TOPLAM											
			0,1400	3,42768		8,226432	0,0035744	0,087176		0,684332	8,910764

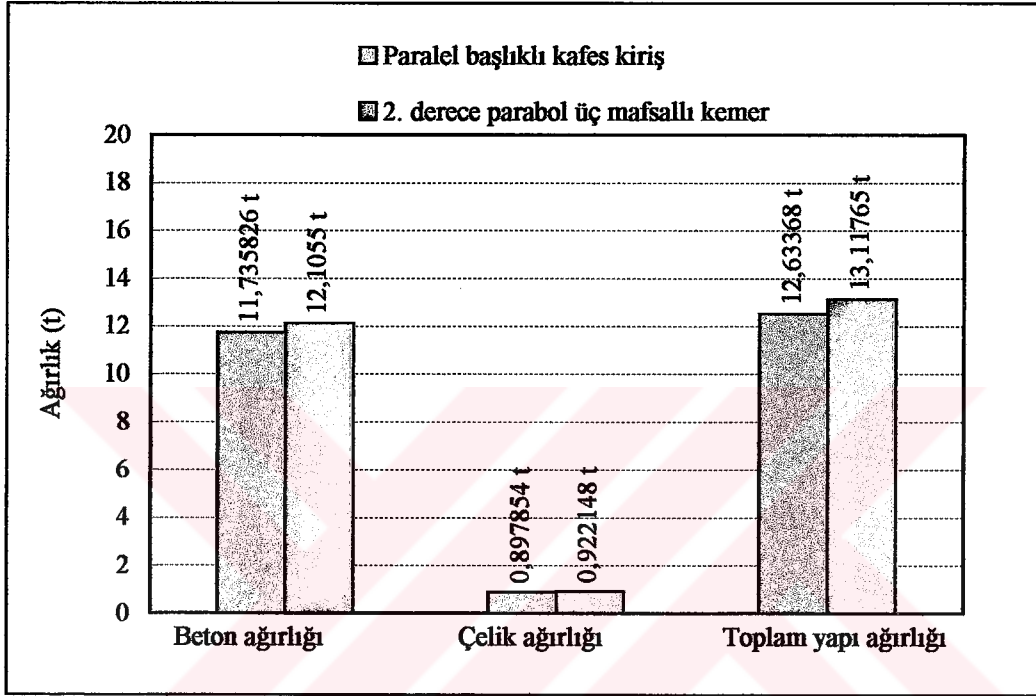
Çizelge 6.5. 30 m açıklıklı öngerilmeli betonarme 2. derece parabol kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı

2. Derece Parabol Öngerilmeli Kemer Kiriş	İki Kiriş Arası B (m)	Uzunluk ℓ (m)	Beton Kesit Alanı (m ²)	Beton Hacmi (m ³)	Beton Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Beton Ağırlığı (t)	Donatı Alanı (m ²)	Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Kiriş Ağırlığı (t)
Kemer	6	30,943	0,1060	3,279958	2,4	7,871899	0,001848	0,057183	7,85	0,448887	8,320786
Öngerilmeli Gergi		30	0,0588	1,764000		4,233600	0,002096	0,060288		0,473261	4,796861
TOPLAM											
			0,1648	5,043958		12,10550	0,003944	0,117471		0,922148	13,11765

Çizelge 6.6. 30 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığının hesaplanması

Öngerilmeli Paralel Başlıklı Kafes Kiriş Açıklığı ℓ (m)	İki Kiriş Arası B (m)	Çubuk	Çubuk Uzunluğu (m)	Çubuk Kesit Beton Alanı (m ²)	Çubuk Beton Hacmi (m ³)	Betonun Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Beton Çubuk Ağırlığı (t)	Çubuk Donatı Alanı (m ²)	Çubuk Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Çubuk Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Çubuk Ağırlığı (t)
30	6	O ₁ =O ₁	3,75	0,0480	0,18000	2,4	0,43200	0,001407	0,005276	7,85	0,041417	0,473417
		O ₂ =O ₂	3,75	0,0480	0,18000		0,43200	0,001407	0,005276		0,041417	0,473417
		O ₃ =O ₃	3,75	0,0480	0,18000		0,43200	0,001407	0,005276		0,041417	0,473417
		O ₄ =O ₄	3,75	0,0540	0,20250		0,48600	0,001407	0,005276		0,041417	0,527417
		D ₁ =D ₁	5,06	0,0308	0,155848		0,374035	0,000804	0,004068		0,031934	0,405969
		D ₂ =D ₂	5,06	0,0224	0,113344		0,272026	0,000603	0,003051		0,023950	0,295976
		D ₃ =D ₃	5,06	0,0196	0,099176		0,238022	0,000565	0,002859		0,022443	0,260465
		D ₄ =D ₄	5,06	0,0196	0,099176		0,238022	0,000565	0,002859		0,022443	0,260465
		V ₁ =V ₁	3,40	0,0196	0,066640		0,238022	0,000565	0,001921		0,015080	0,175016
		V ₂ =V ₂	3,40	0,0196	0,066640		0,159936	0,000565	0,001921		0,015080	0,175016
		V ₃ =V ₃	3,40	0,0196	0,066640		0,159936	0,000565	0,001921		0,015080	0,175016
		U ₁ =U ₁	7,50	0,0480	0,36000		0,159936	0,0008824	0,006618		0,051951	0,915951
		U ₂ =U ₂	7,50	0,0900	0,67500		0,864000	0,0014488	0,010866		0,085298	1,705298
		TOPLAM x 2		0,9744	4,889928		11,735826	0,0243824	0,114376		0,897854	12,63368

bize $\ell \leq 30$ m olduğu zaman, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişten daha hafif ve ekonomik olduğunu göstermektedir. $\ell > 30$ m de ise öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişten daha hafif ve ekonomik olduğu söylenilebilir.



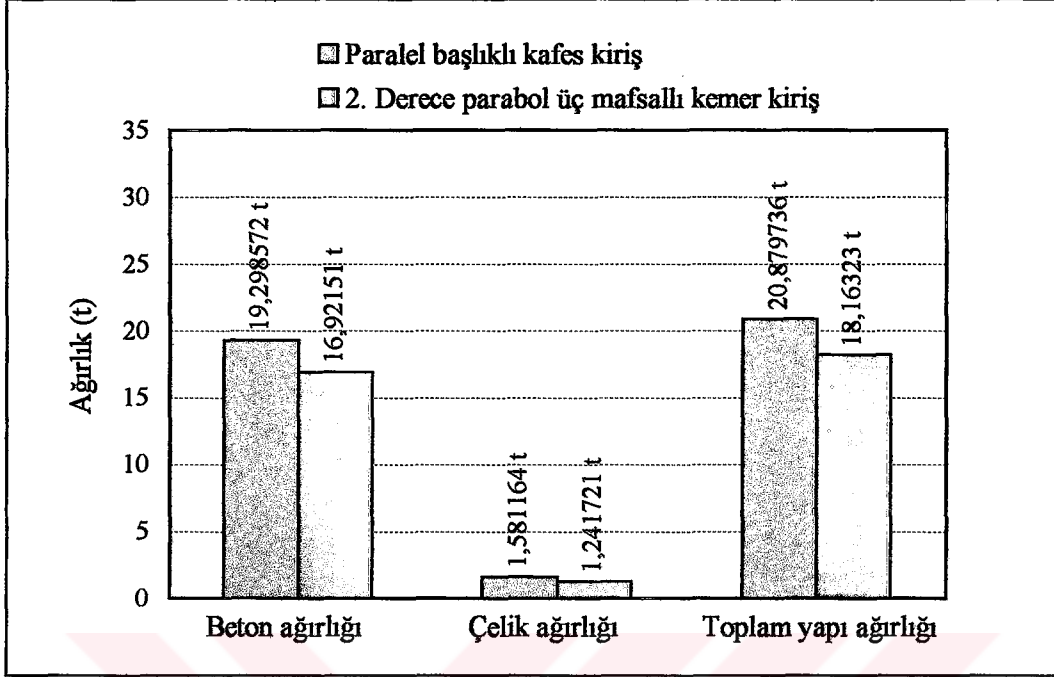
Şekil 6.3. 30 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, paralel başlıklı kafes kiriş ile 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması

Yukarıdaki gibi $\ell = 36$ m ve $B = 6$ m’de öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ile öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması için; bölüm 5, 5.2 ve 5.3’teki hesaplamalardan yararlanılarak çizelge 5.7 ve çizelge 5.8 hazırlanmıştır. Bu çizelgelerden yararlanılarak şekil 6.4’teki grafik elde edilmiştir.

Çizelge 6.7, çizelge 6.8 veya şekil 6.4’te görüldüğü gibi, $\ell = 36$ m ve $B = 6$ m’de beton ağırlıklarını kıyaslarsak, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin beton ağırlığı 19,298572 t olurken, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin beton ağırlığı 16,92151 t olmaktadır. Beton ağırlıkları arasında, 1,14 kat fark vardır. Paralel başlıklı kafes kiriş, 2. derece parabol kemer kirişten daha ağırdır.

$\ell = 36$ m ve $B = 6$ m’de, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin donatı ağırlığı 1,581164 t olurken, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin donatı ağırlığı 1,241721 t olmaktadır. Her iki sistemin, donatı ağırlıkları arasında

fazla bir fark yoktur.



Şekil 6.4. 36 m açıklıklı öngerilmeli betonarme, paralel başlıklı kafes kiriş ile 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin karşılaştırılması

Toplam ağırlıklara göre kıyaslama yapacak olursak, $\ell = 36$ m ve $B = 6$ m'de çizelge 6.7, çizelge 6.8 veya şekil 6.4'de görüldüğü gibi, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığı 20,879736 t olurken, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin toplam ağırlığı 18,163231 t olmaktadır. Toplam ağırlıklara göre $\ell = 36$ m ve $B = 6$ m'de öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişten 1.15 kat daha ağırdır.

6.4. 2. Derece Parabol Üç mafsallı, Öngerilmeli Betonarme Kemer Kiriş İle Öngerilmesiz Betonarme Kemer Kirişin Karşılaştırılması

Karşılaştırmanın yapılabilmesi için Visual Basic'te hazırlanmış bilgisayar programından elde edilen sonuçlar bölüm 5'teki 5.3'te verilmiştir. Her iki sistemde de kemer "I" kesitli öngerilmesiz olarak hesaplanmıştır. Sistemde gerginin öngerilmeli veya öngerilmesiz hesaplanmasına göre, bölüm 5'teki 5.3'ten yararlanılarak çizelge 6.8 ve çizelge 6.9 hazırlanmıştır. Çizelgelerden de yararlanılarak şekil 6.5'teki grafik elde edilmiştir. Bu kıyaslama yapılırken, her iki sistemin açıklıkları (ℓ) 36 m ve iki kiriş arası (B) 6 m alınmıştır. Malzeme olarak da, beton (C 35) ve çelik (S 420) için mekanik karakterler aynı alınmıştır.

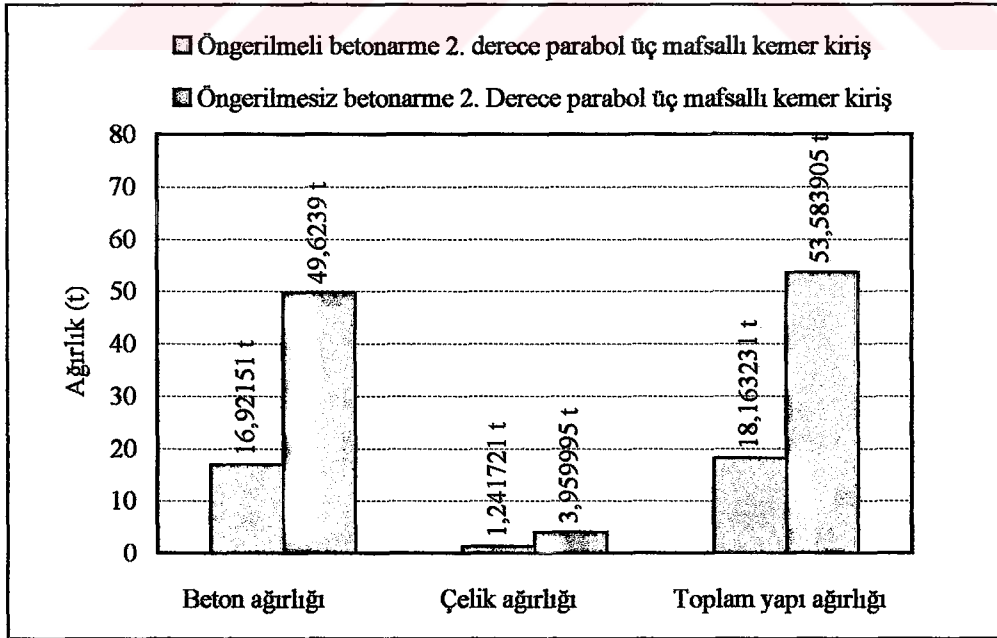
Çizelge 6.7. 36 m açıklıklı öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişin toplam ağırlığının hesaplanması

Öngerilmeli Paralel Başlıklı Kafes Kiriş Açıklık ℓ (m)	İki Kiriş Arası B (m)	Çubuk	Çubuk Uzunluğu (m)	Çubuk Beton Kesit Alanı (m ²)	Çubuk Beton Hacmi (m ³)	Betonun Özgü Ağırlığı (t/m ³)	Beton Çubuk Ağırlığı (t)	Çubuk Donatı Alanı (m ²)	Çubuk Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgü Ağırlığı (t/m ³)	Çubuk Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Çubuk Ağırlığı (t)
36	6	O ₁ =O ₁	4,50	0,06000	0,270000	2,4	0,648000	0,001608	0,007236	7,85	0,056803	0,704803
		O ₂ =O ₂	4,50	0,06000	0,270000		0,648000	0,001608	0,007236		0,056803	0,704803
		O ₃ =O ₃	4,50	0,06000	0,270000		0,648000	0,001608	0,007236		0,056803	0,704803
		O ₄ =O ₄	4,50	0,06600	0,2970000		0,712800	0,001809	0,008140		0,063899	0,776699
		D ₁ =D ₁	6,02	0,04680	0,281736		0,676166	0,001206	0,007260		0,056991	0,733157
		D ₂ =D ₂	6,02	0,04680	0,281736		0,676166	0,001206	0,007260		0,056991	0,733157
		D ₃ =D ₃	6,02	0,04160	0,250432		0,601037	0,001206	0,007260		0,056991	0,658028
		D ₄ =D ₄	6,02	0,04160	0,250432		0,601037	0,001206	0,007260		0,056991	0,658028
		V ₁ =V ₁	4,00	0,04160	0,166400		0,399360	0,001206	0,004824		0,037868	0,437228
		V ₂ =V ₂	4,00	0,04160	0,166400		0,399360	0,001206	0,004824		0,037868	0,437228
		V ₃ =V ₃	4,00	0,04160	0,166400		0,399360	0,001206	0,004824		0,037868	0,437228
		U ₁ =U ₁	9,00	0,06000	0,540000		1,296000	0,001024	0,009216		0,072346	1,368346
		U ₂ =U ₂	9,00	0,09000	0,810000		1,944000	0,002015	0,018135		0,142360	2,08636
		TOPLAM x 2		5,1393	8,041072		19,298572	0,036228	0,201422		1,581164	20,879736

Öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş ile, öngerilmemiş betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin kıyaslanmasında en önemli faktör, hafiflik ve ekonomiktir. Büyük açıklıklarda öngerilmeli betonarmenin, öngerilmemiş betonarmeye göre daha avantajlı olduğu bu kıyaslamada açıkça görülecektir.

Çizelge 6.8, çizelge 6.9 veya şekil 6.5'teki grafikte görüldüğü gibi $l = 36$ m ve $B = 6$ m'de beton ağırlıklarını kıyaslayacak olursak, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin beton ağırlığı 16,92151 t olurken, öngerilmemiş betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin beton ağırlığı 49,6239 t olmaktadır. Beton ağırlıklarına göre öngerilmemiş betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kiriş, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişten yaklaşık 2,93 kat daha ağırdır.

$l = 36$ m ve $B = 6$ m'de donatı ağırlıklarını kıyaslayacak olursak, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin donatı ağırlığı 1,241721 t olurken, öngerilmemiş betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin donatı ağırlığı 3,959995 t olmaktadır. Öngerilmemiş betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişte öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin donatı ağırlığından 3,19 kat daha fazla donatı kullanılmıştır. Donatı pahalı bir malzemedir. Yukarıda da görüldüğü gibi, öngerilme sayesinde daha az donatı kullanılır.



Şekil 6.5. 36 m açıklıklı 2. derece parabol üç mafsallı, öngerilmeli betonarme kemer kiriş ile öngerilmemiş betonarme kemer kirişin karşılaştırılması

En verimli kıyaslama toplam ağırlıklara göre elde edilir. Çizelge 6.7, çizelge 6.8 veya şekil

Çizelge 6.8. 36 m açıklıklı öngerilmeli betonarme 2.derece parabol kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı

2. Derece Parabol Öngerilmeli Kemer Kiriş	İki kiriş Arası B (m)	Uzunluk ℓ (m)	Beton Kesit Alanı (m ²)	Beton Hacmi (m ³)	Beton Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Beton Ağırlığı (t)	Donatı Alanı (m ²)	Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Kiriş Ağırlığı (t)
Kemer	6	37,448	0,1206	4,516229	2,4	10,83895	0,002156	0,080738	7,85	0,633793	11,472743
Öngerilmeli Gergi		36	0,0704	2,534400		6,08256	0,002151	0,077443		0,607928	6,690488
TOPLAM			0,1910	7,050629		16,92151	0,004307	0,158181		1,241721	18,163231

Çizelge 6.9. 36 m açıklıklı öngerilmemiş betonarme 2. derece denklemli kemer kirişin toplam ağırlığının hesabı

2. Derece Parabol öngerilmemiş Kemer Kiriş	İki kiriş Arası B (m)	Uzunluk ℓ (m)	Beton Kesit Alanı (m ²)	Beton Hacmi (m ³)	Beton Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Beton Ağırlığı (t)	Donatı Alanı (m ²)	Donatı Hacmi (m ³)	Çeliğin Özgül Ağırlığı (t/m ³)	Donatı Ağırlığı (t)	Toplam Kiriş Ağırlığı (t)
Kemer	6	37,448	0,1206	4,516229	2,4	10,83895	0,002156	0,080738	7,85	0,633793	11,472743
Öngerilmemiş Gergi		36	0,4489	16,160400		38,78496	0,011770	0,423720		3,326202	42,111162
TOPLAM			0,5695	20,676629		49,62390	0,013926	0,504458		3,959995	53,583905

6.4'teki grafikte görüldüğü gibi, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin toplam ağırlığı 18,163231 t olurken, öngerilmemiş betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişin toplam ağırlığı 53,583905 t olmaktadır. 2. derece parabol üç mafsallı; öngerilmemiş betonarme kemer kirişin toplam ağırlığı, öngerilmeli betonarme kemer kirişin toplam ağırlığından 2,95 kat daha ağırdır.



BÖLÜM 7

SONUÇLAR

1. Ekonomik karşılaştırmalara göre 18-24 m açıklıklarda öngerilmeli betonarme “I” kesitli çatı makası kullanılması; öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kiriş ve öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişe göre ağır ve maliyeti yüksek yapıların oluşmasına sebep olur.
2. Ülkemizde kullanım alanı çok az olan öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişlerin 24-30 m açıklıklarda kullanılması, öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişlerden daha hafif ve ekonomik yapıların oluşmasını sağlar.
3. Yine ülkemizde kullanım alanı çok az olan öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişlerin 30 m’den büyük açıklıklarda kullanılması, öngerilmeli betonarme paralel başlıklı kafes kirişlerden daha avantajlı ve ekonomik yapıların oluşmasını sağlamaktadır.
4. 36 m açıklıkta inceleme sonucuna göre; büyük açıklıklarda öngerilme sayesinde, 2. derece parabol üç mafsallı betonarme kemer kirişler, öngerilmemiş 2. derece parabol üç mafsallı betonarme kemer kirişlerden çok daha hafif ve ekonomiktir.
5. Depreme dayanıklı sanayi vb. binaların projelendirilmesinde II. sınır durumuna göre çatılama dayanımı daha yüksek olan, öngerilmeli taşıyıcı çatı sistemlerin kullanılması daha güvenilir ve hafif yapıların oluşmasını sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

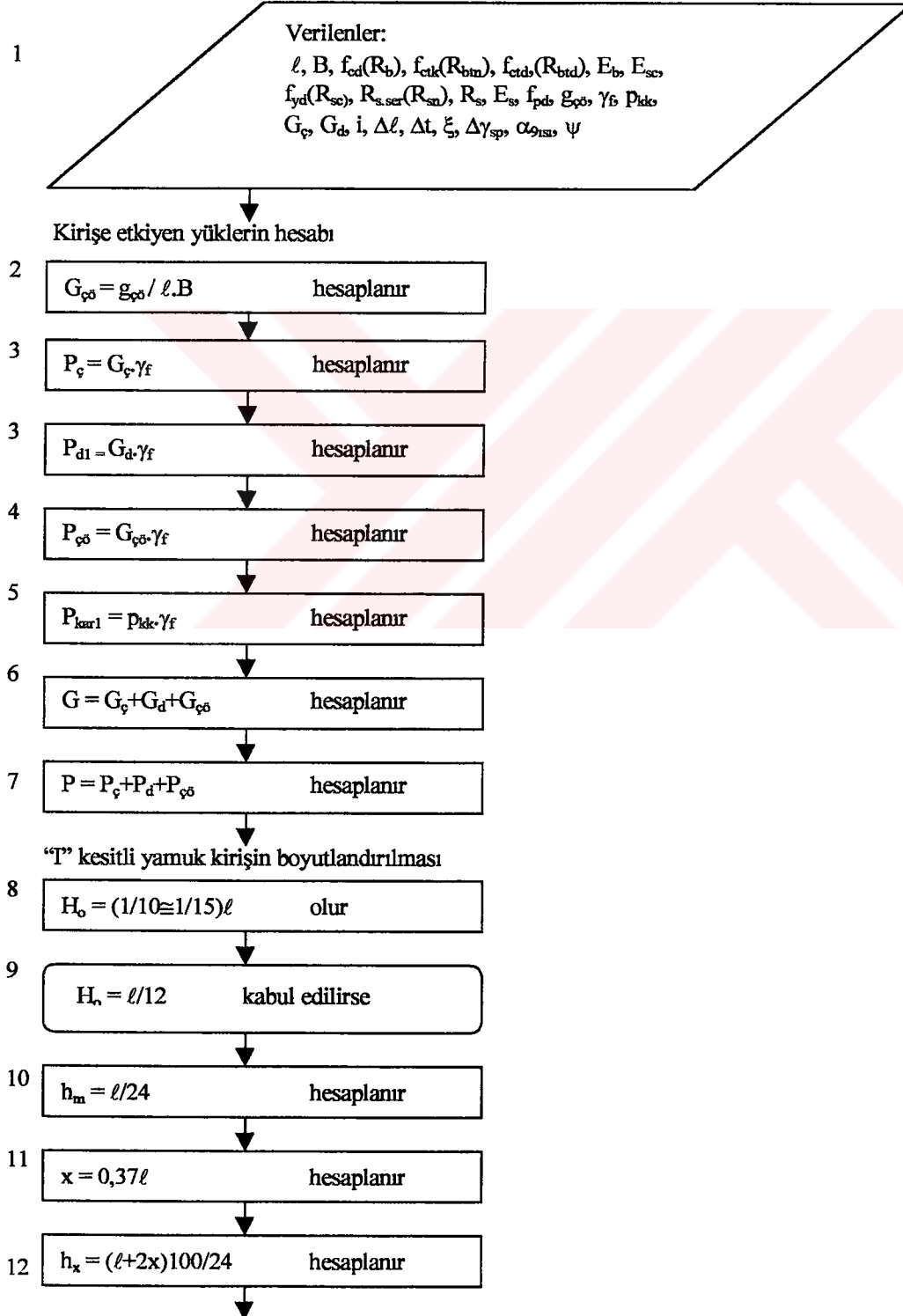
- Ayaydın Y., 1989. Büyük Açıklıklı Prefabrike Betonarme Yapılar. Kurtiş Matbaası, İstanbul.
- Baykov V., 1991. Jelezobetonnie Konstrukctii. Stroyizdat, Moskova.
- TS – 3233, Şubat 1979. Öngerilmeli Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.
- Çetmeli E., 1974. Yeni Alman Beton Şartnamesi, Betonarme Hesap Esasları, Kesitlerin Boyutlandırılması ve Donatının Yerleştirilmesi. Uluğ Kitapevi Yayınları, No.6.
- Ersoy U., 1995. Betonarme-I, Cilt-I. Evrim Yayınevi ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul.
- Hanmehmetova Z., Sarıdemir M., 2001. Öngerilmeli Betonarme Düzlem Taşıyıcı Sistemler Hazır Beton İnşaat, Makine ve Yan Sanayi. Sayı No:44. 70-79.
- Hanmehmetova Z., 1999. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım Esasları, Cilt-I. Teknik Yayınevi, Ankara.
- Hanmehmetova Z., 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarım Esasları, Cilt-II. Teknik Yayınevi, Ankara.
- Özden K., Eren İ., Öztürk T., 1991. Öngerilmeli Betonarme Kirişlerin Hesabı ve Kontrolü. İMO Teknik Dergisi, İstanbul.
- Özden K., Eren İ., Trupia Antonio L., Öztürk T., 1998. Öngerilmeli Beton. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Özden K., 1986. Öngerilmeli Beton ve Hesaplarına Kısa Bir Bakış. I. Öngerilmeli Beton ve Uygulamaları Semineri. Ü.T.İ. İnşaat Fakültesi ve Rabak A.Ş., İstanbul.
- TS – 9967, Mart 1992. Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar - Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan Hesap Esasları İle İmalat ve Montaj Kuralları. T.S.E.
- Popov N., 1991. Proektirovanie Rasçet Jelezobetonnich Konstrukciy. Stroyizdat, Moskova.
- TS – 498, Kasım 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Ankara.
- TS – 500, Nisan 1984. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Ankara.
- TS – 3233, Şubat 1979. Öngerilmeli Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Ankara.
- TS – 9967, Mart 1992. Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar - Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan Hesap Esasları İle İmalat ve Montaj Kuralları. T.S.E. Ankara.
- Xecavins, 1973. Öngerilmeli Kirişli ve Plak Köprüler. (Çeviri Celasun H.), Çağlayan Basımevi, İstanbul.
1987. Öngerilmeli Beton Uygulamaları İçin Faydalı Bilgiler. Rabak Elektrolit Bakır ve Mamulleri A.Ş. Yayını.

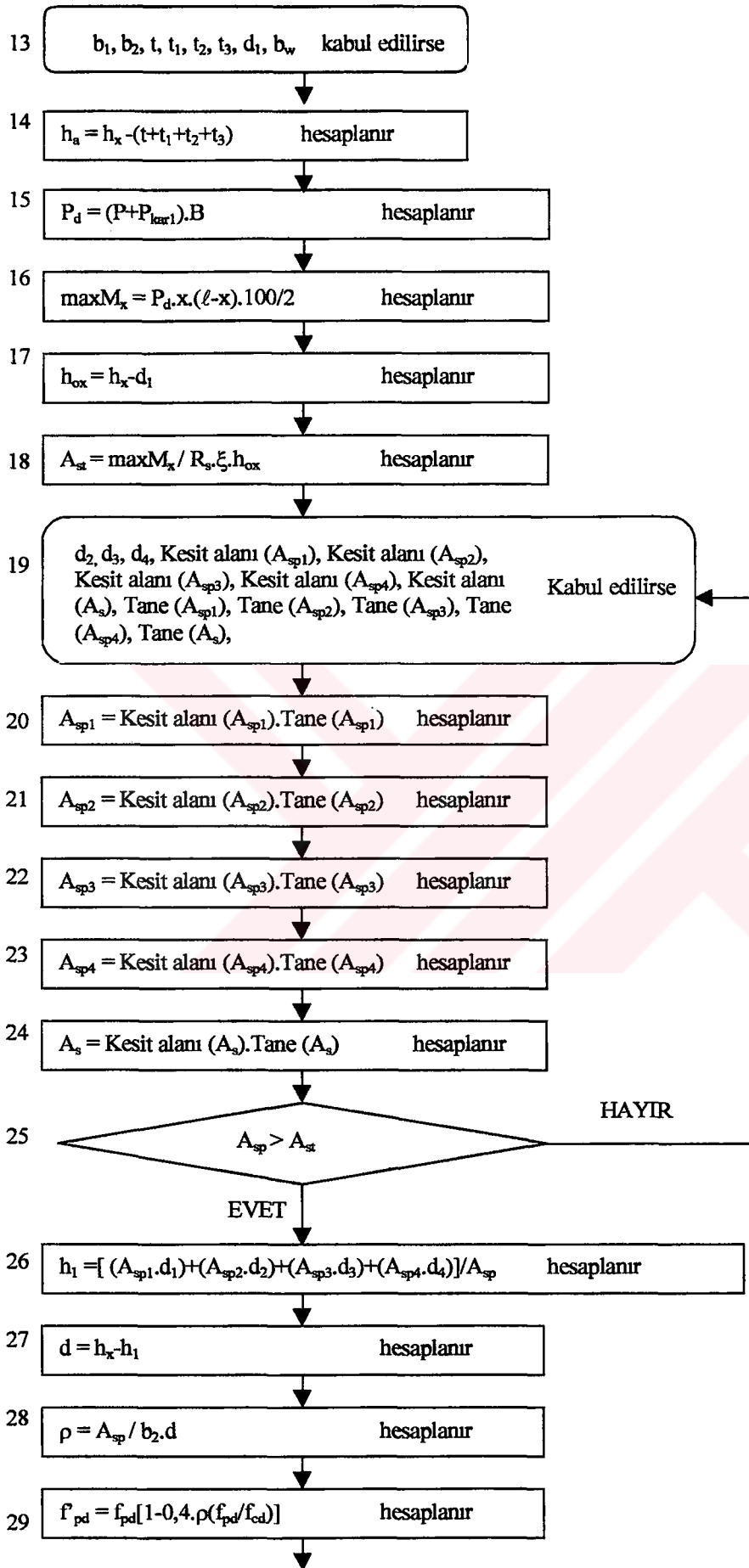
1999. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Türkiye Hazır Beton Birliği. Ankara.



EK A

Betonarme "I" kesitli yamuk kirişlerin bilgisayar programında hesaplanması için akış diyagramı





30 $a = [A_{sp} \cdot f_{pd} - 0,85 \cdot f_{cd}((b_2 - b_w)t_2 + ((b_2 - b_w)t_3/2))] / (0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w)$ hesaplanır

31 $A_b = b_2 \cdot t_2 + ((b_2 + b_w)/2)t_3 + b_w \cdot h_a + ((b + b_w)/2)t_1 + b \cdot t$ hesaplanır

32 $y_1 = b_2 \cdot t_2(h_x - t_2/2) + ((b_2 + b_w)/2)t_3(h_x - t_2 - t_3/3) + b_w \cdot h_a((h_x/2) + t + t_2) + ((b + b_w)/2)t_1(t + t_2/3) + b \cdot t(t/2)$ hesaplanır

33 $y_2 = h_x - y_1$ hesaplanır

34 $r = y_2 - a/2$ hesaplanır

35 $e_{op} = y_1 - h_1$ hesaplanır

Öngerilme kayıplarının hesaplanması

36 $\sigma_{sp} = R_{s,ser} / 1,05$ hesaplanır

37 $\sigma_1 = [0,22(\sigma_{sp}/R_{s,ser}) - 0,1]\sigma_{sp}$ hesaplanır

38 $\sigma_2 = 1,25 \cdot \Delta t / 10$ hesaplanır

39 $\sigma_3 = E_s \cdot \Delta \ell / (100 \cdot \ell)$ hesaplanır

40 $\sigma_4 = 0, \sigma_5 = 0$ kabul edilir

41 $R_{bp} = 0,80 \cdot f_{cd}$ hesaplanır

42 $\alpha_6 = 0,25 + 0,025 \cdot R_{bp} \cdot 10$ hesaplanır

43 $\beta = 5,25 - 0,185 \cdot R_{bp} \cdot 10$ hesaplanır

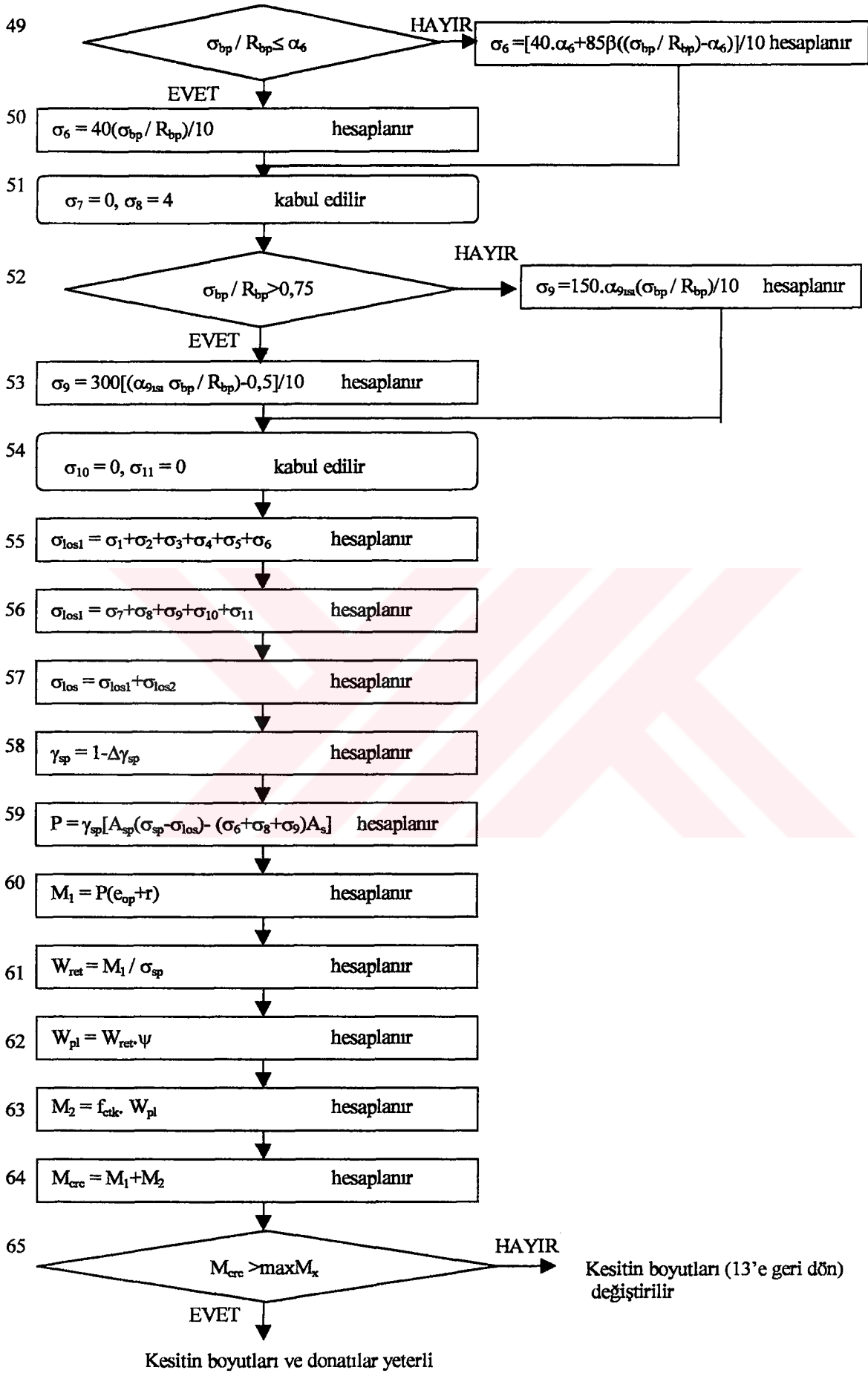
44 $P_1 = A_{sp}(\sigma_{sp} - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3)$ hesaplanır

45 $\alpha_1 = E_s / E_b$ hesaplanır

46 $\alpha_2 = E_{sc} / E_b$ hesaplanır

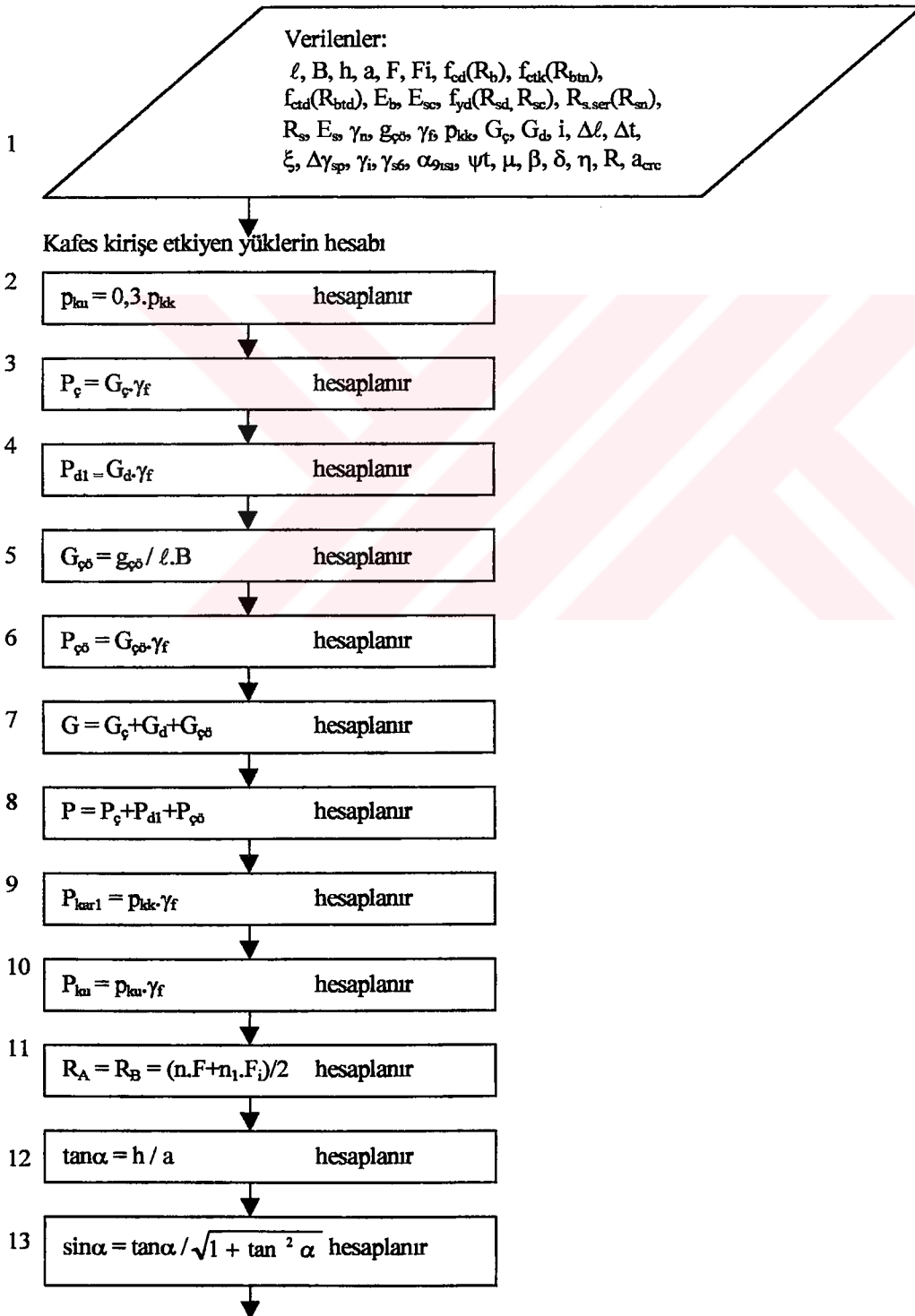
47 $A_{ret} = A_b + \alpha_1 \cdot A_{sp} + \alpha_2 \cdot A_s$ hesaplanır

48 $\sigma_{sp} = P_1 / A_{ret}$ hesaplanır



EK B

Betonarme paralel başlıklı kafes kirişlerin bilgisayar programında hesaplanması için akış diyagramı



14 $\cos\alpha = 1 / \sqrt{1 + \tan^2 \alpha}$ hesaplanır

Düğüm yükleri hesabı

15 $F_{b1} = P.a.B.\gamma_n$ hesaplanır

16 $F_{b2} = P_{kar1}.a.B.\gamma_n$ hesaplanır

17 $F_{b3} = P_{kar}.a.B.\gamma_n$ hesaplanır

18 $F_{n1} = G.a.B.\gamma_n$ hesaplanır

19 $F_{n2} = p_{dik}.a.B.\gamma_n$ hesaplanır

20 $F_{n1} = p_{kar}.a.B.\gamma_n$ hesaplanır

Birim yüklemenden dolayı kafes çatı makas çubuklarında oluşan kuvvetler

21 $O_1 = 0$ hesaplanır

22 $V_1 = -F_1$ hesaplanır

23 $D_1 = (-V_1 - R_A) / \sin\alpha$ hesaplanır

24 $U_1 = -D_1.\cos\alpha$ hesaplanır

25 $D_2 = (-F - D_1.\sin\alpha) / \sin\alpha$ hesaplanır

26 $O_2 = D_1.\cos\alpha - D_2.\cos\alpha$ hesaplanır

27 $V_2 = -F$ hesaplanır

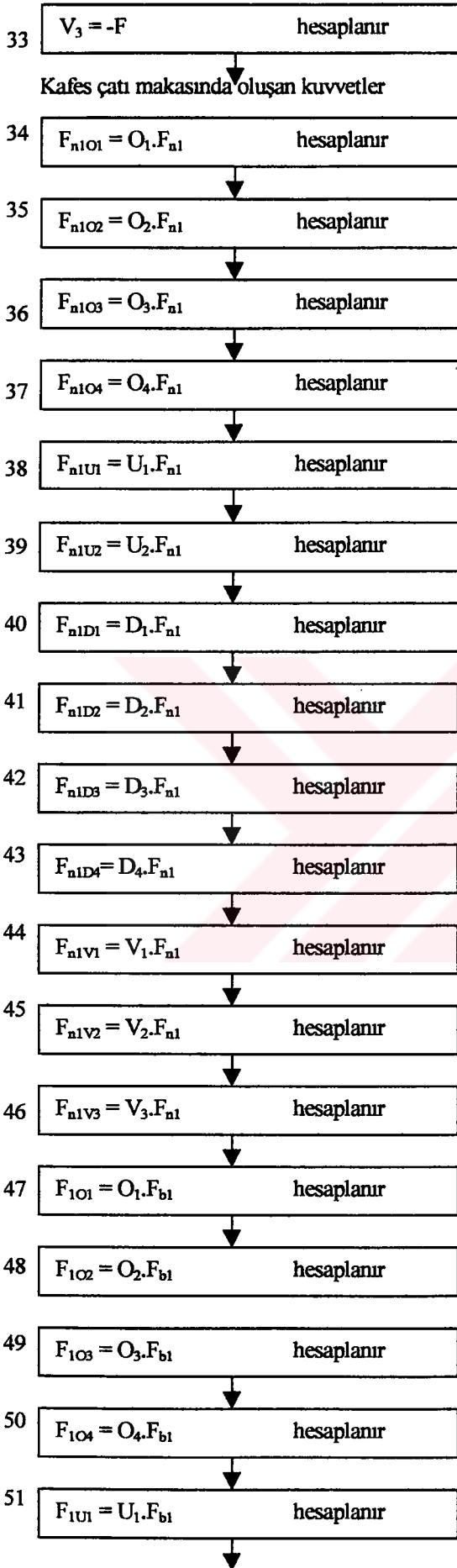
28 $O_3 = O_2$ hesaplanır

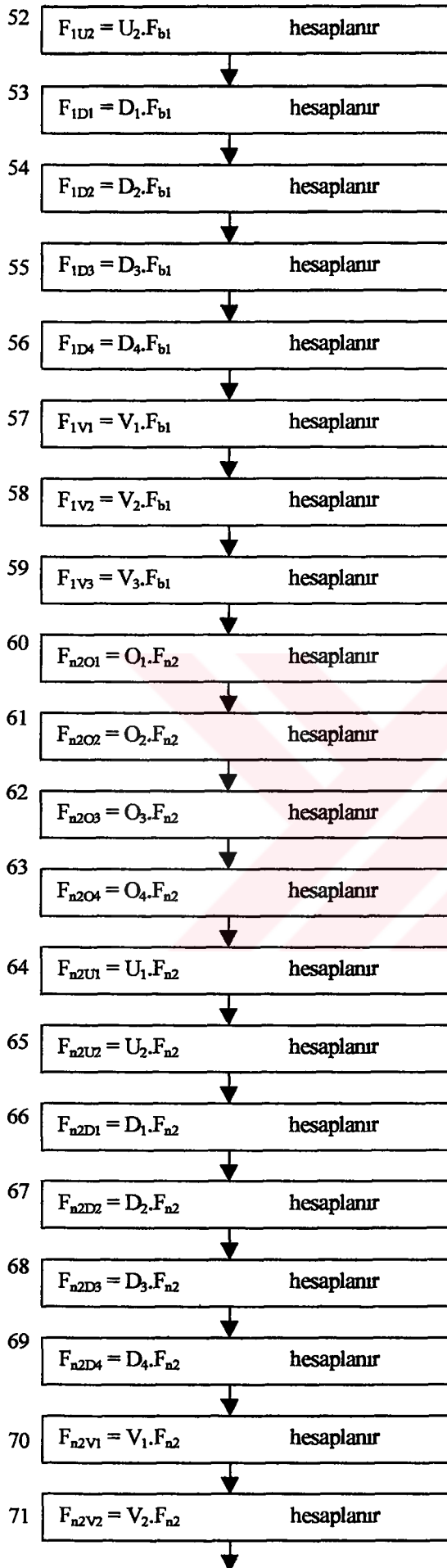
29 $D_3 = (-V_2 - D_2.\sin\alpha) / \sin\alpha$ hesaplanır

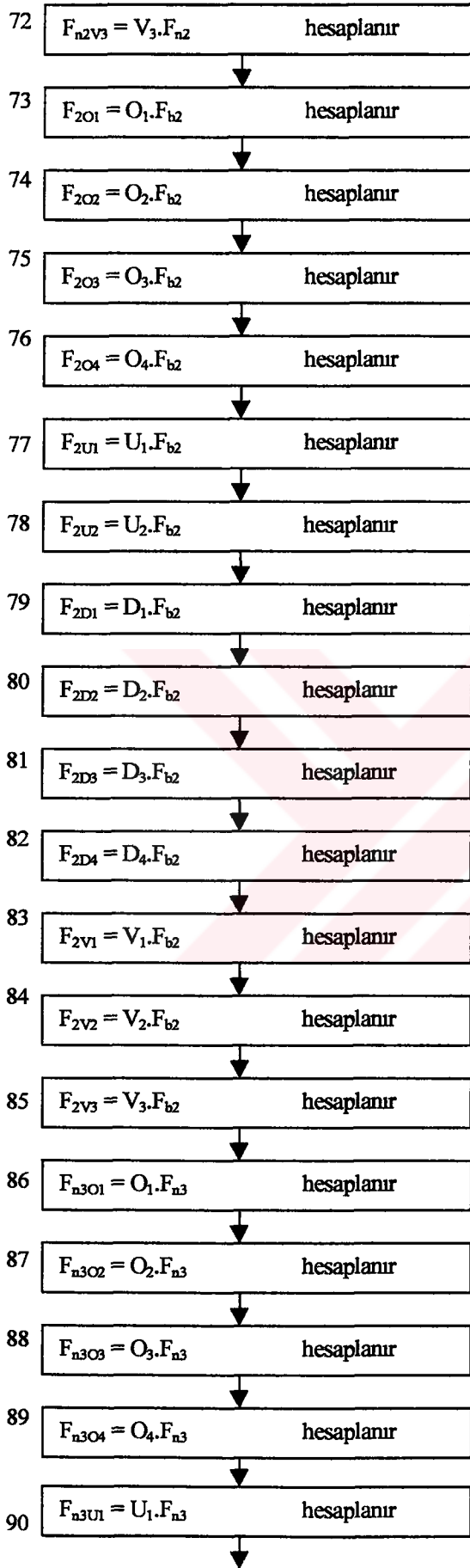
30 $U_2 = D_2.\cos\alpha + U_1 - D_3.\cos\alpha$ hesaplanır

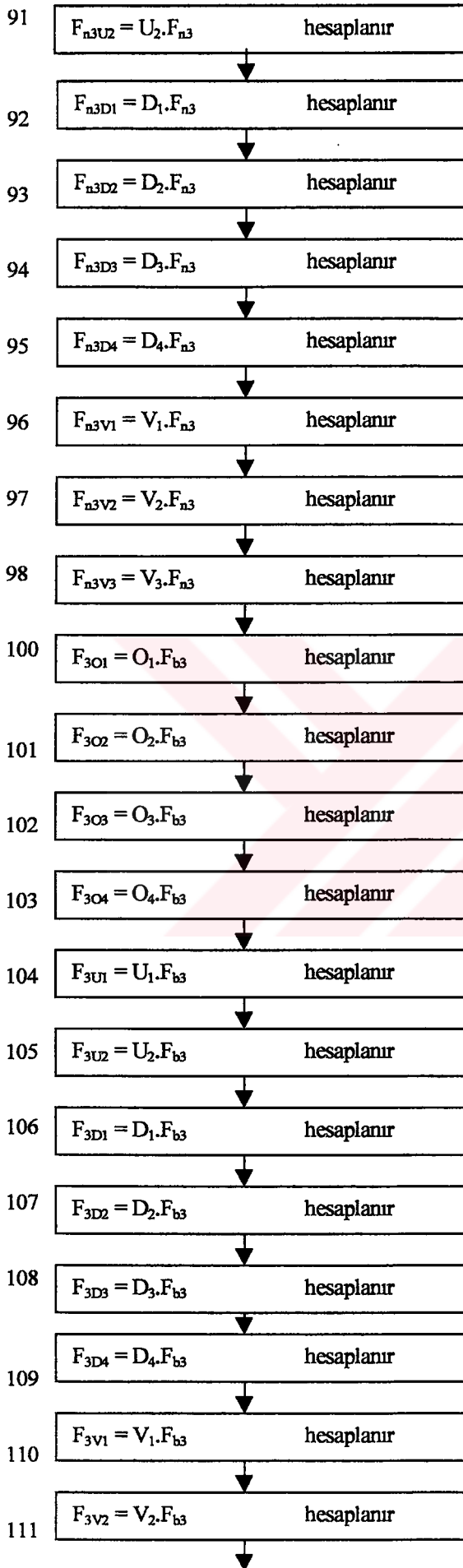
31 $D_4 = (-F - D_3.\sin\alpha) / \sin\alpha$ hesaplanır

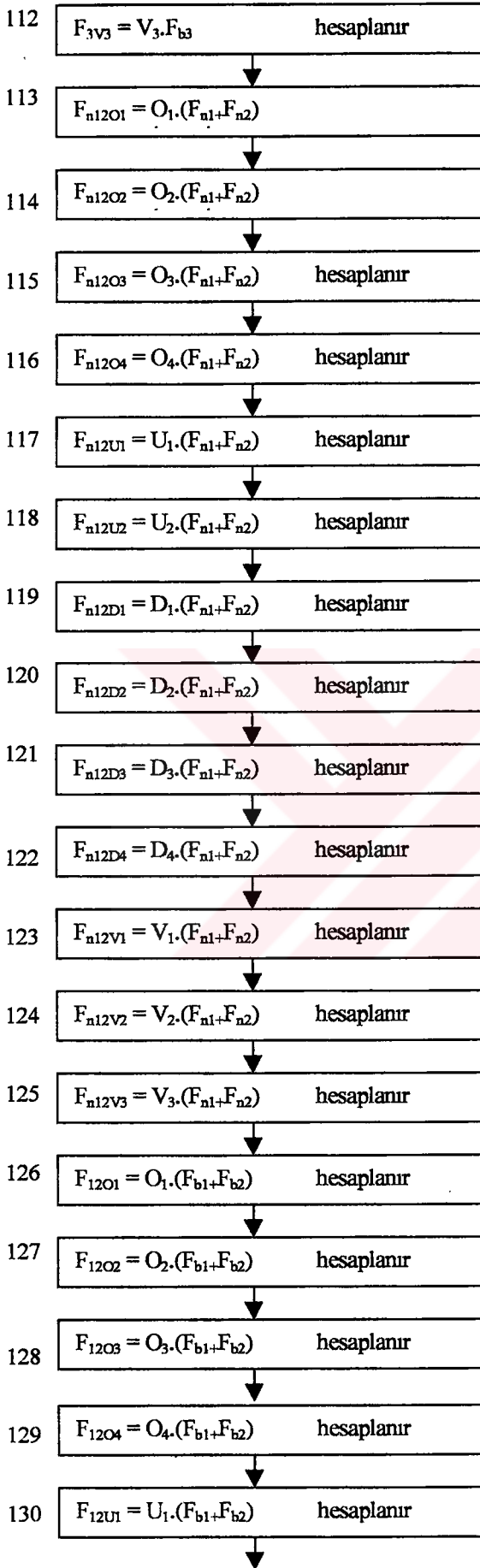
32 $O_4 = O_3 + D_3.\cos\alpha - D_4.\cos\alpha$ hesaplanır

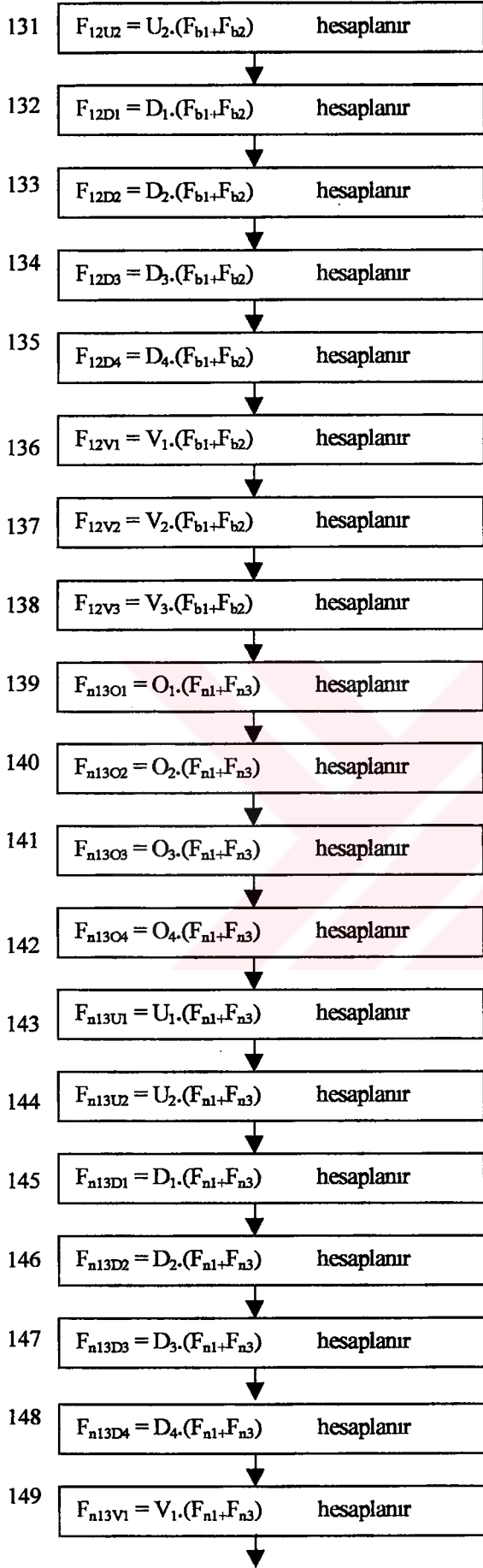


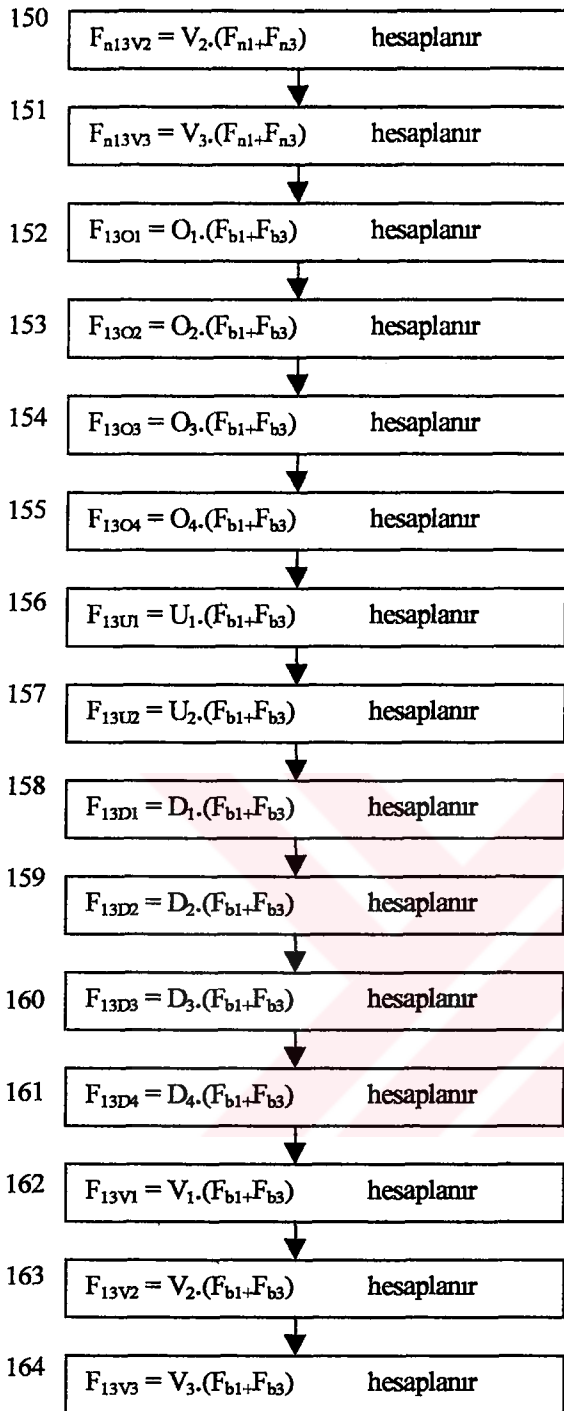




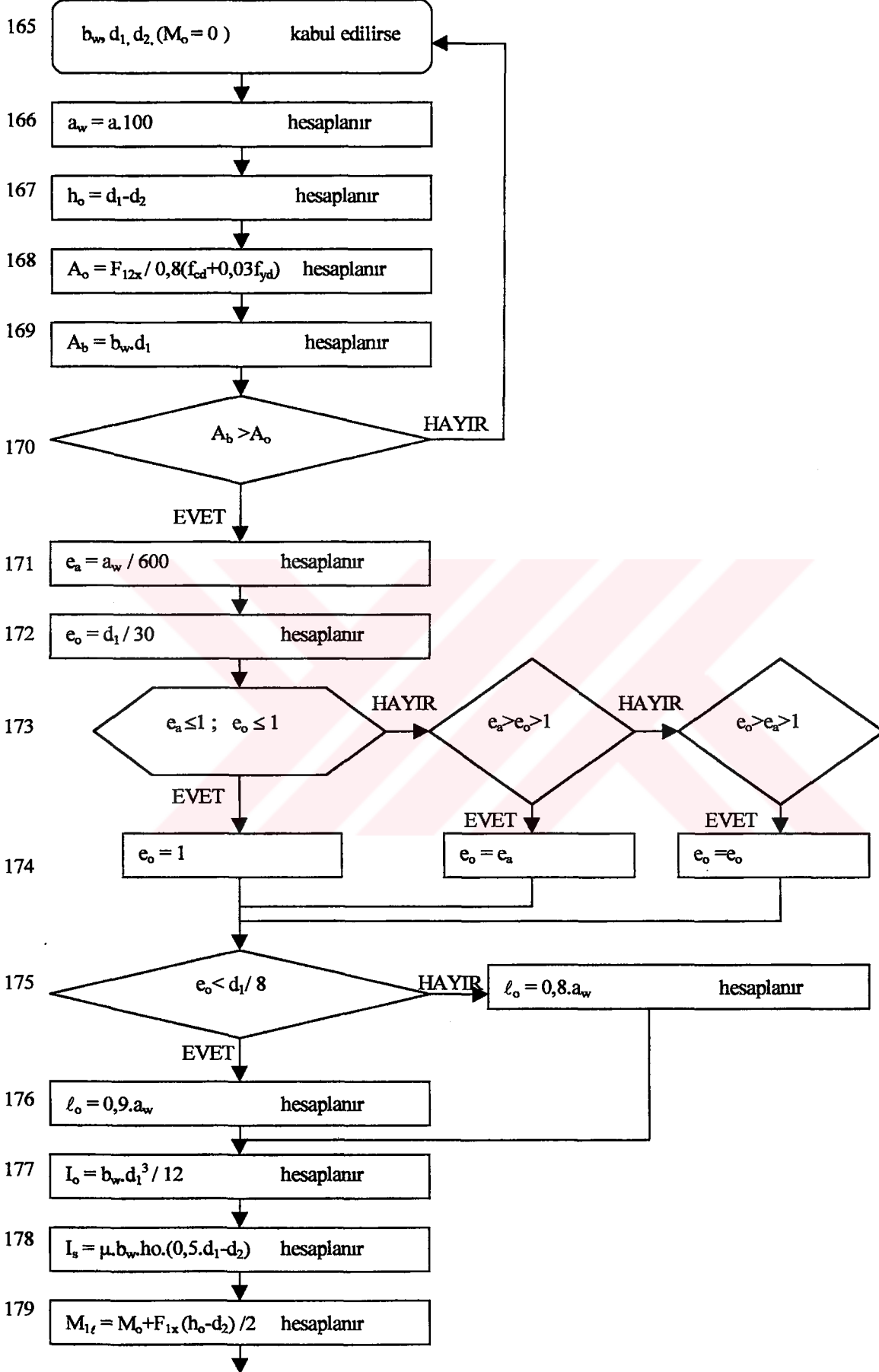


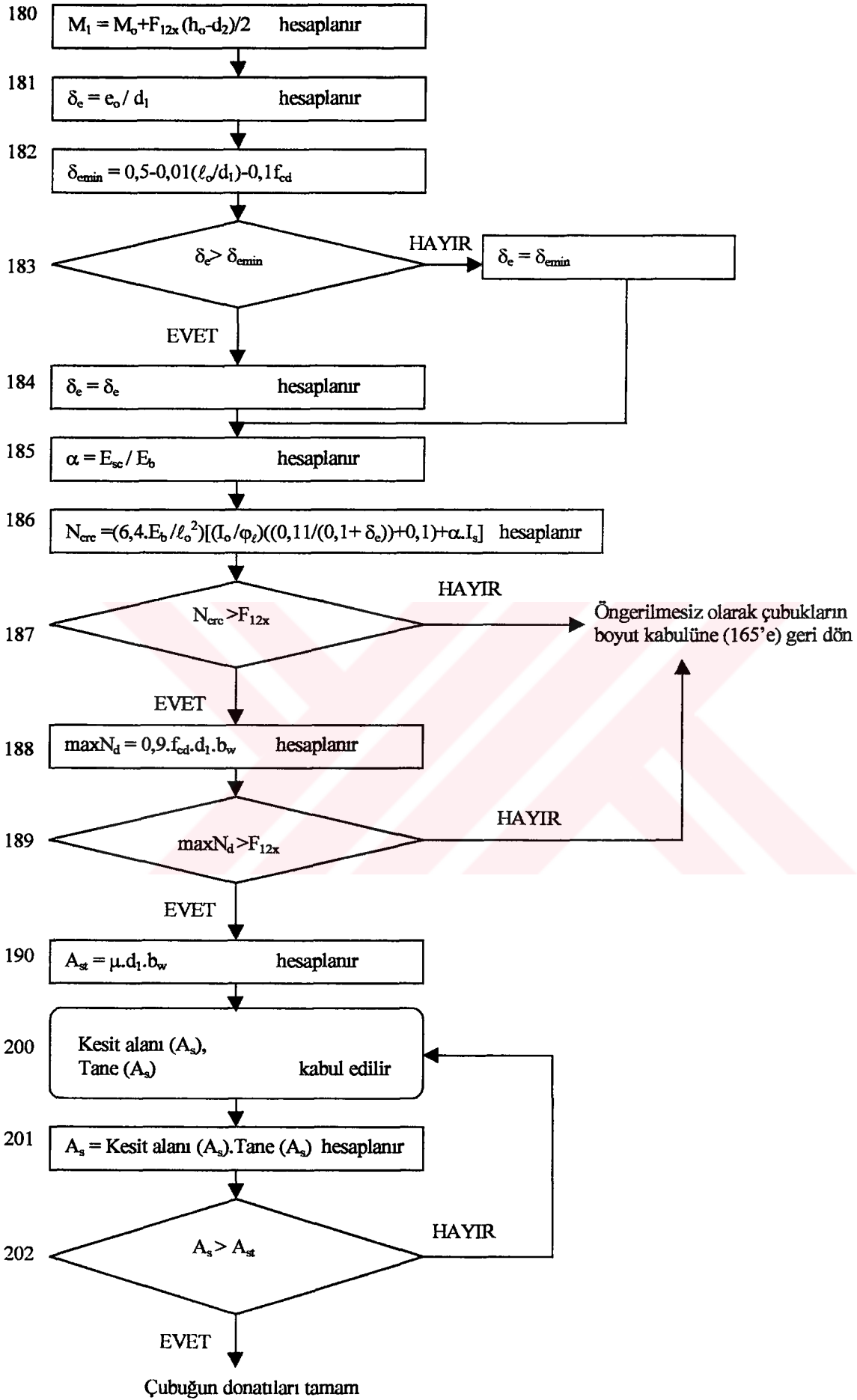




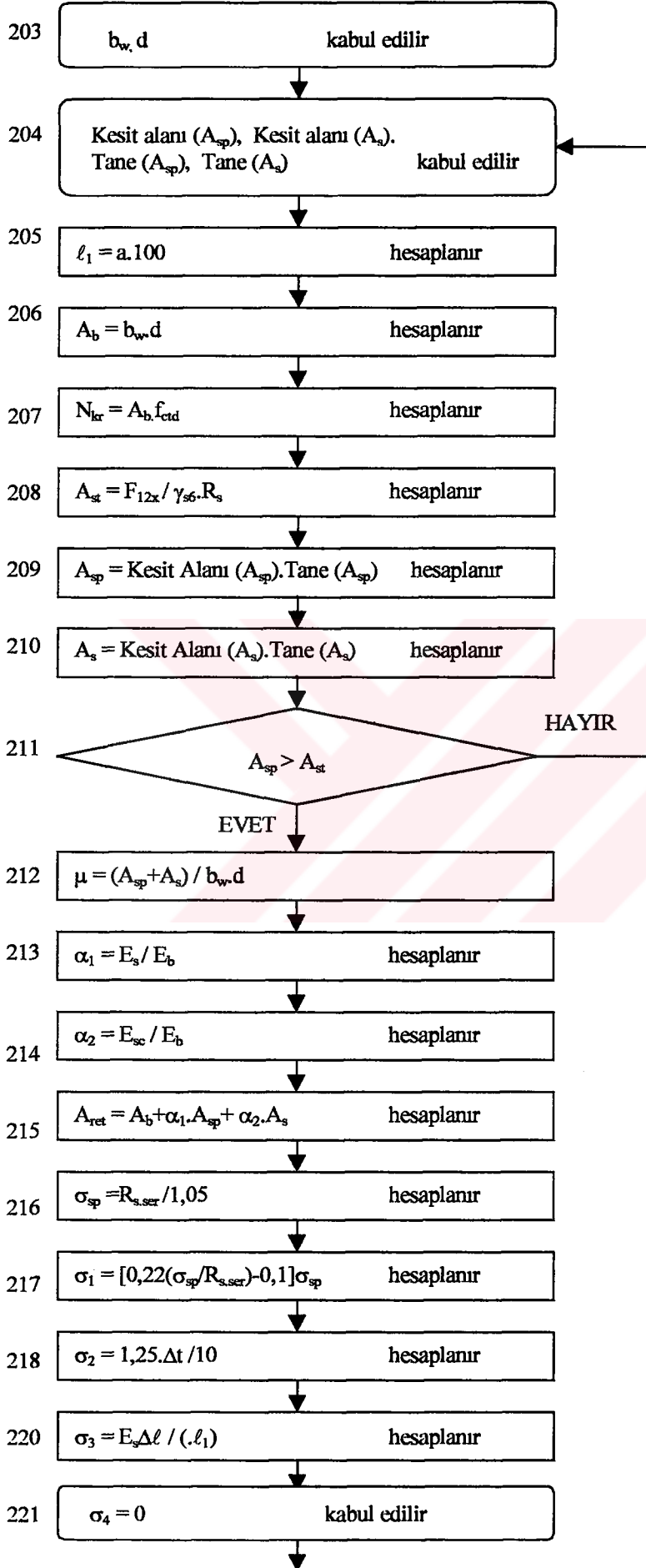


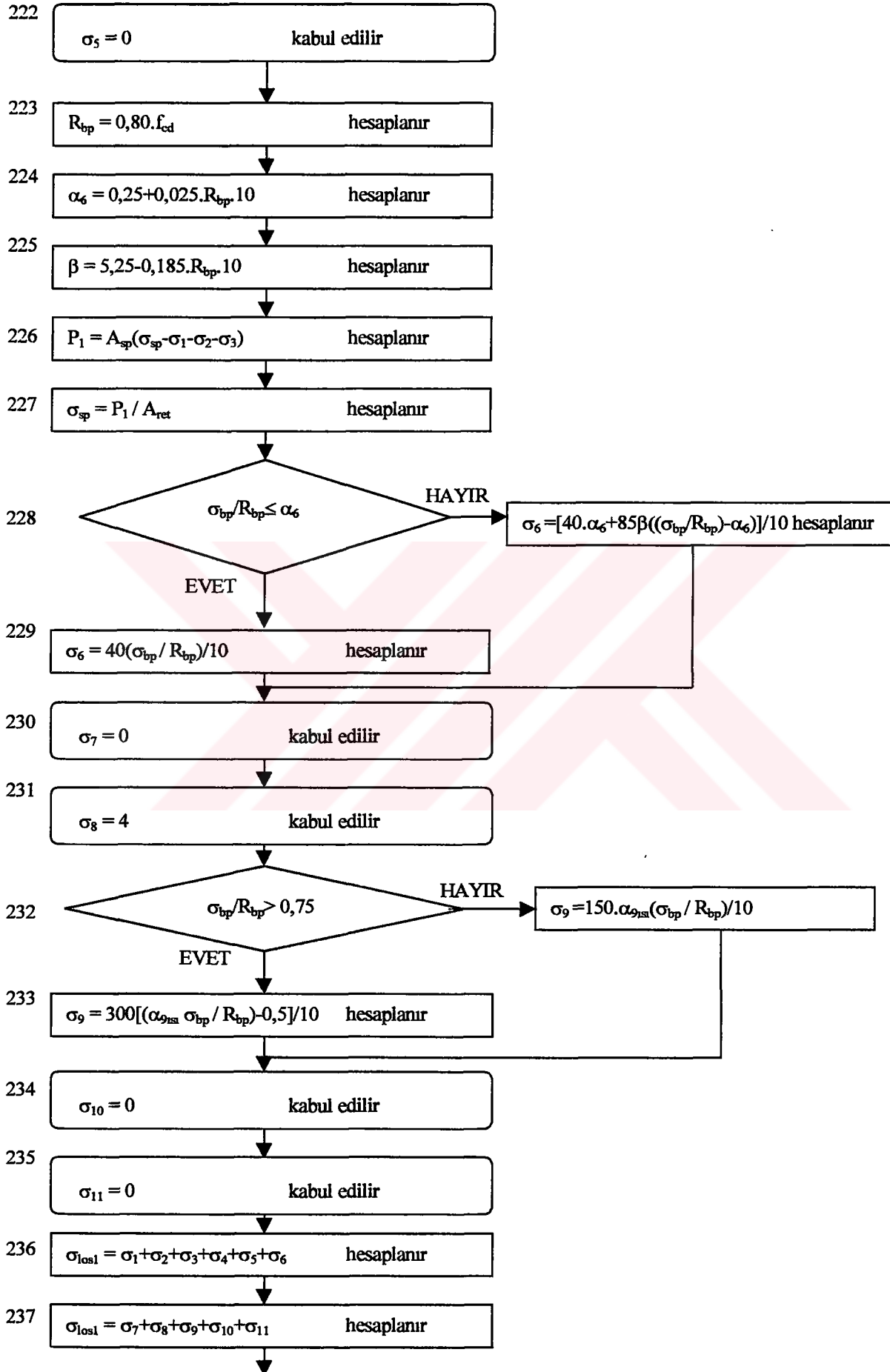
Öngerilmisiz olarak çubukların hesabı

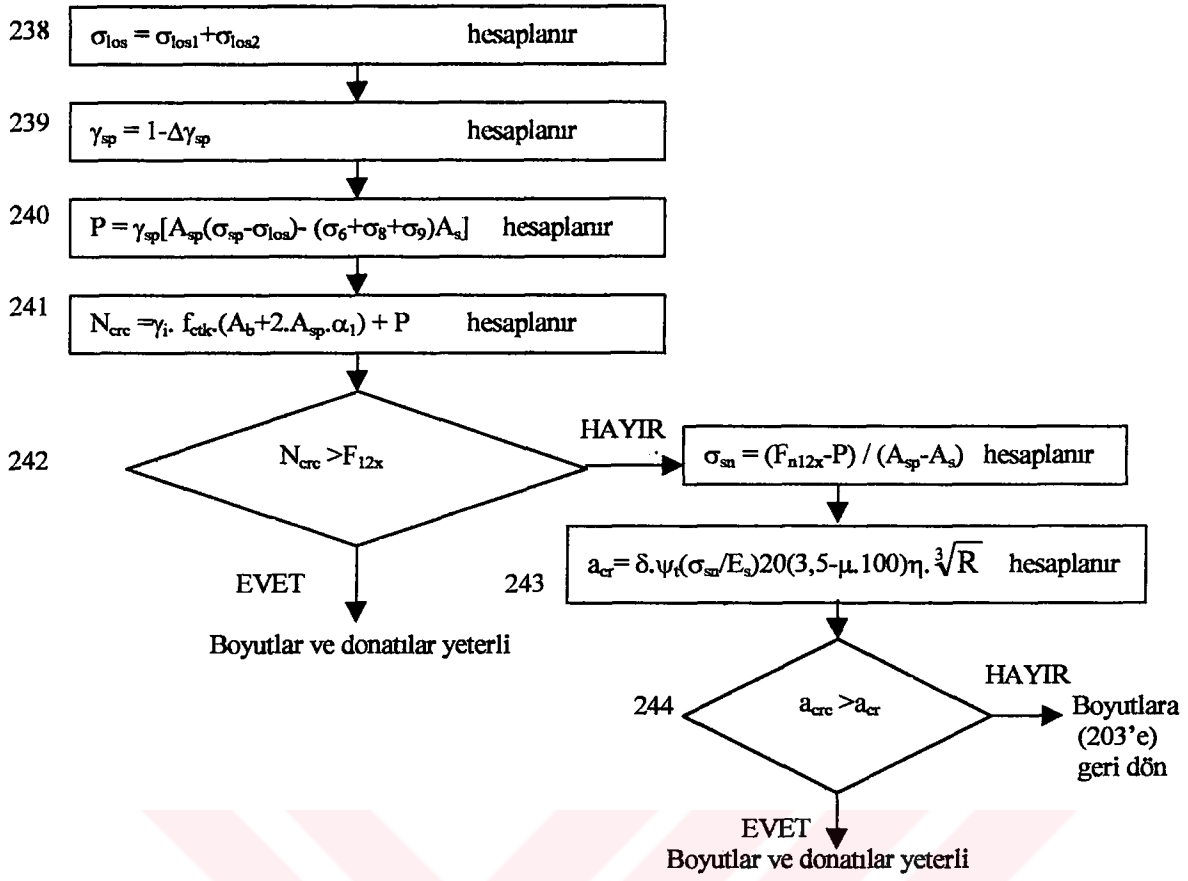




Öngörilmeli olarak çubukların hesabı

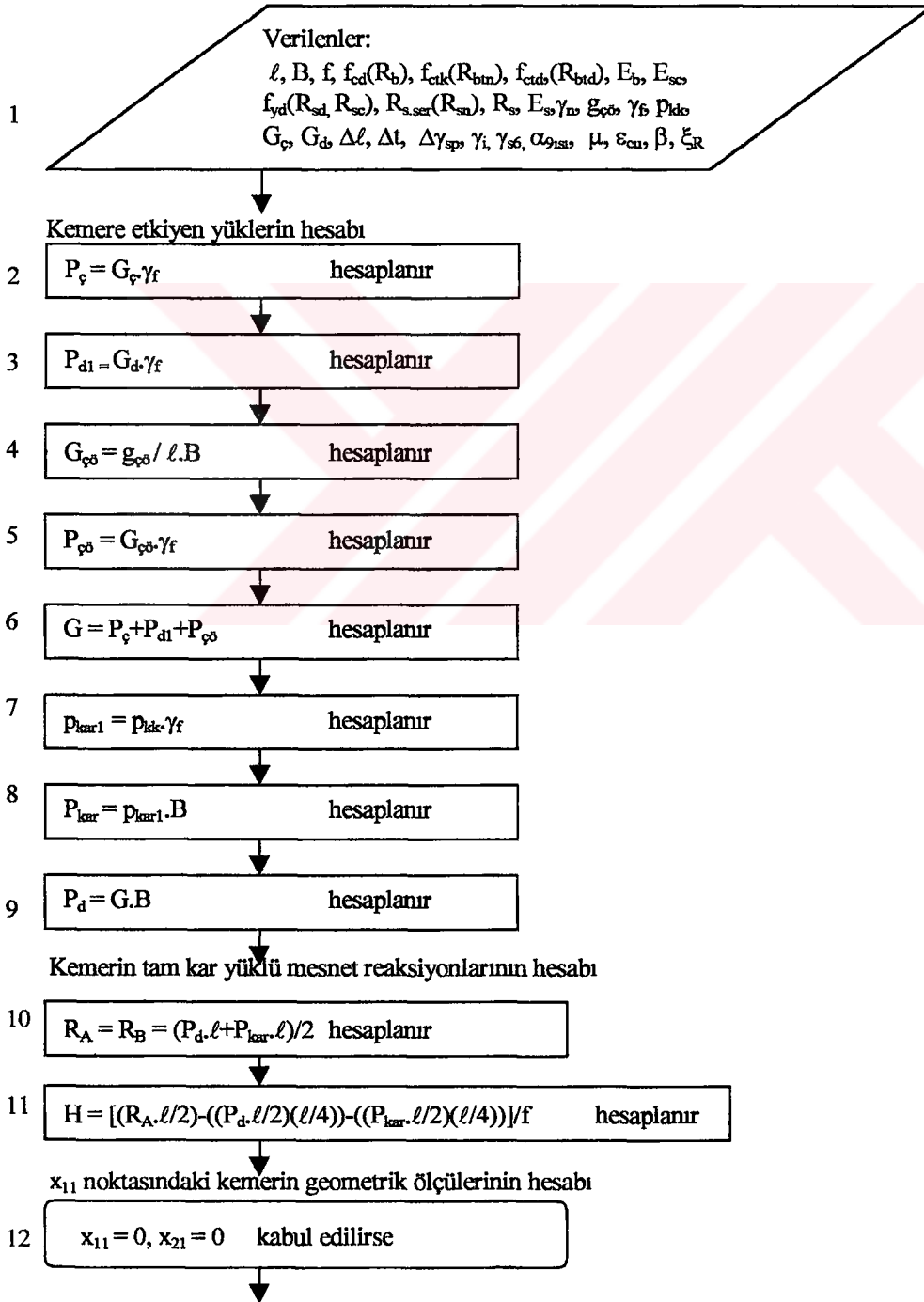






EK-C

Betonarme kemer kirişlerin bilgisayar programında hesaplanması için akış diyagramı
 Öngerilmeli betonarme 2. derece parabol üç mafsallı kemer kirişlerin hesabı için akış
 diyagramı denklem; $y = (4.f.x / \ell^2)(\ell-x)$ 'dir



13 $y_{m1} = (4.f.x_{11}/\ell^2)(\ell - x_{11})$ hesaplanır

14 $\tan\phi_1 = (4.f.x_{11}/\ell^2)(\ell^2 - x_{11})$ hesaplanır

15 ϕ_1 hesaplanır

16 $\sin\phi_1 = \tan\phi_1 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_1}$ hesaplanır

17 $\cos\phi_1 = 1 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_1}$ hesaplanır

x_{11} noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

18 $T_{m1} = R_A - P_d \cdot x_{11} - P_{kar} \cdot x_{11}$ hesaplanır

19 $M_{m1} = R_A \cdot x_{11} - (P_d \cdot x_{11} \cdot x_{11}/2) - (P_{kar} \cdot x_{11} \cdot x_{11}/2)$ hesaplanır

20 $M_{mx1} = M_{m1} - H \cdot y_{m1}$ hesaplanır

21 $T_{mx1} = T_{m1} \cdot \cos\phi_1 - H \cdot \sin\phi_1$ hesaplanır

22 $N_{mx1} = -T_{m1} \cdot \sin\phi_1 - H \cdot \cos\phi_1$ hesaplanır

x_{12} noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

23 $x_{12} = \ell/4, x_{22} = 0$ kabul edilirse

24 $y_{m2} = (4.f.x_{12}/\ell^2)(\ell - x_{12})$ hesaplanır

25 $\tan\phi_2 = (4.f.x_{12}/\ell^2)(\ell^2 - x_{12})$ hesaplanır

26 ϕ_2 hesaplanır

27 $\sin\phi_2 = \tan\phi_2 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_2}$ hesaplanır

28 $\cos\phi_2 = 1 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_2}$ hesaplanır

x_{12} noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

29 $T_{m2} = R_A - P_d \cdot x_{12} - P_{kar} \cdot x_{12}$ hesaplanır

30 $M_{m2} = R_A \cdot x_{12} - (P_d \cdot x_{12} \cdot x_{12}/2) - (P_{kr} \cdot x_{12} \cdot x_{12}/2)$ hesaplanır

31 $M_{mx2} = M_{m2} - H \cdot y_{m2}$ hesaplanır

32 $T_{mx2} = T_{m2} \cdot \cos \phi_2 - H \cdot \sin \phi_2$ hesaplanır

33 $N_{mx2} = -T_{m2} \cdot \sin \phi_2 - H \cdot \cos \phi_2$ hesaplanır

x_{13} noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

34 $x_{13} = \ell/2, x_{23} = 0$ kabul edilirse

35 $y_{m3} = (4 \cdot f \cdot x_{13} / \ell^2) (\ell - x_{13})$ hesaplanır

36 $\tan \phi_3 = (4 \cdot f \cdot x_{13} / \ell^2) (\ell - x_{13})$ hesaplanır

37 ϕ_3 hesaplanır

38 $\sin \phi_3 = \tan \phi_3 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_3}$ hesaplanır

39 $\cos \phi_3 = 1 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_3}$ hesaplanır

x_{13} noktasındaki kemerin tam kır yükü kesit kuvvetlerinin hesabı

40 $T_{m3} = R_A - P_d \cdot x_{13} - P_{kr} \cdot x_{13}$ hesaplanır

41 $M_{m3} = R_A \cdot x_{13} - (P_d \cdot x_{13} \cdot x_{13}/2) - (P_{kr} \cdot x_{13} \cdot x_{13}/2)$ hesaplanır

42 $M_{mx3} = M_{m3} - H \cdot y_{m3}$ hesaplanır

43 $T_{mx3} = T_{m3} \cdot \cos \phi_3 - H \cdot \sin \phi_3$ hesaplanır

44 $N_{mx3} = -T_{m3} \cdot \sin \phi_3 - H \cdot \cos \phi_3$ hesaplanır

x_{14} noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

45 $x_{14} = 3\ell/4, x_{24} = \ell/4$ kabul edilirse

46 $y_{m4} = (4 \cdot f \cdot x_{14} / \ell^2) (\ell - x_{14})$ hesaplanır

47 $\tan\phi_4 = (4.f.x_{14}/\ell^2)(\ell^2-x_{14})$ hesaplanır

48 ϕ_4 hesaplanır

49 $\sin\phi_4 = \tan\phi_4 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_4}$ hesaplanır

50 $\cos\phi_4 = 1 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_4}$ hesaplanır

x_{14} noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

51 $T_{m4} = R_A - P_d \cdot x_{14} - P_{kvr} \cdot x_{14}$ hesaplanır

52 $M_{m4} = R_A \cdot x_{14} - (P_d \cdot x_{14} \cdot x_{14}/2) - (P_{kvr} \cdot x_{14} \cdot x_{14}/2)$ hesaplanır

53 $M_{mx4} = M_{m4} - H \cdot y_{m4}$ hesaplanır

54 $T_{mx4} = T_{m4} \cdot \cos\phi_4 - H \cdot \sin\phi_4$ hesaplanır

55 $N_{mx4} = -T_{m4} \cdot \sin\phi_4 - H \cdot \cos\phi_4$ hesaplanır

x_{15} noktasındaki kemerin geometrik ölçülerinin hesabı

56 $x_{15} = \ell, x_{24} = \ell/2$ kabul edilirse

57 $y_{m5} = (4.f.x_{15}/\ell^2)(\ell - x_{15})$ hesaplanır

58 $\tan\phi_5 = (4.f.x_{15}/\ell^2)(\ell - x_{15})$ hesaplanır

59 ϕ_5 hesaplanır

60 $\sin\phi_5 = \tan\phi_5 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_5}$ hesaplanır

61 $\cos\phi_5 = 1 / \sqrt{1 + \tan^2 \phi_5}$ hesaplanır

x_{15} noktasındaki kemerin tam kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

62 $T_{m5} = R_A - P_d \cdot x_{15} - P_{kvr} \cdot x_{15}$ hesaplanır

63 $M_{m5} = R_A \cdot x_{15} - (P_d \cdot x_{15} \cdot x_{15}/2) - (P_{kvr} \cdot x_{15} \cdot x_{15}/2)$ hesaplanır

64 $M_{mx5} = M_{m5} \cdot H \cdot y_{m5}$ hesaplanır

65 $T_{mx5} = T_{m5} \cdot \cos \phi_5 - H \cdot \sin \phi_5$ hesaplanır

66 $N_{mx5} = -T_{m5} \cdot \sin \phi_5 - H \cdot \cos \phi_5$ hesaplanır

Kemerin yarım kar yüklü mesnet reaksiyonlarının hesabı

67 $R_{Ay} + R_{By} = (P_{kar} \cdot \ell / 2) + P_d \cdot \ell$ hesaplanır

68 $R_{Ay} = [(P_{kar} \cdot \ell / 2)(3\ell / 4) + (P_d \cdot \ell) \cdot (\ell / 2)] / \ell$ hesaplanır

69 $R_{By} = R_{Ay} + R_{By} - R_{Ay}$ hesaplanır

70 $H_{II} = [(R_{Ay} \cdot \ell / 2) - (P_d \cdot \ell / 2)(\ell / 4) - (P_{kar} \cdot \ell / 2)(\ell / 4)] / f$ hesaplanır

x_{11} noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

71 $T_{my1} = R_{Ay} \cdot P_d \cdot x_{11} - P_{kar} \cdot (x_{11} - x_{21})$ hesaplanır

72 $M_{my1} = R_{Ay} \cdot x_{11} - (P_d \cdot x_{11} \cdot x_{11} / 2) - (P_{kar} \cdot x_{11} - x_{21}) \cdot (x_{11} + x_{21}) / 2$ hesaplanır

73 $M_{mxy1} = M_{my1} - H_{II} \cdot y_{m1}$ hesaplanır

74 $T_{mxy1} = T_{my1} \cdot \cos \phi_1 - H_{II} \cdot \sin \phi_1$ hesaplanır

75 $N_{mxy1} = -T_{my1} \cdot \sin \phi_1 - H_{II} \cdot \cos \phi_1$ hesaplanır

x_{12} noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

76 $T_{my2} = R_{Ay} \cdot P_d \cdot x_{12} - P_{kar} \cdot (x_{12} - x_{22})$ hesaplanır

77 $M_{my2} = R_{Ay} \cdot x_{12} - (P_d \cdot x_{12} \cdot x_{12} / 2) - (P_{kar} \cdot x_{12} - x_{22}) \cdot (x_{12} + x_{22}) / 2$ hesaplanır

78 $M_{mxy2} = M_{my2} - H_{II} \cdot y_{m2}$ hesaplanır

79 $T_{mxy2} = T_{my2} \cdot \cos \phi_2 - H_{II} \cdot \sin \phi_2$ hesaplanır

80 $N_{mxy2} = -T_{my2} \cdot \sin \phi_2 - H_{II} \cdot \cos \phi_2$ hesaplanır

x_{13} noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

81 $T_{my3} = R_{Ay} \cdot P_d \cdot x_{13} - P_{kar} \cdot (x_{13} - x_{23})$ hesaplanır

82 $M_{my3} = R_{Ay} \cdot x_{13} - (P_d \cdot x_{13} \cdot x_{13} / 2) - (P_{kar} \cdot x_{13} - x_{23}) \cdot (x_{13} + x_{23}) / 2$ hesaplanır

83 $M_{mxy3} = M_{my3} - H_{II} \cdot y_{m3}$ hesaplanır

84 $T_{mxy3} = T_{my3} \cdot \cos \phi_3 - H_{II} \cdot \sin \phi_3$ hesaplanır

85 $N_{mxy3} = -T_{my3} \cdot \sin \phi_3 - H_{II} \cdot \cos \phi_3$ hesaplanır

x_{14} noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

86 $T_{my4} = R_{Ay} \cdot P_d \cdot x_{14} - P_{kar} \cdot (x_{14} - x_{24})$ hesaplanır

87 $M_{my4} = R_{Ay} \cdot x_{14} - (P_d \cdot x_{14} \cdot x_{14} / 2) - (P_{kar} \cdot x_{14} - x_{24}) \cdot (x_{14} + x_{24}) / 2$ hesaplanır

88 $M_{mxy4} = M_{my4} - H_{II} \cdot y_{m4}$ hesaplanır

89 $T_{mxy4} = T_{my4} \cdot \cos \phi_4 - H_{II} \cdot \sin \phi_4$ hesaplanır

90 $N_{mxy4} = -T_{my4} \cdot \sin \phi_4 - H_{II} \cdot \cos \phi_4$ hesaplanır

x_{15} noktasındaki kemerin yarım kar yüklü kesit kuvvetlerinin hesabı

91 $T_{my5} = R_{Ay} \cdot P_d \cdot x_{15} - P_{kar} \cdot (x_{15} - x_{25})$ hesaplanır

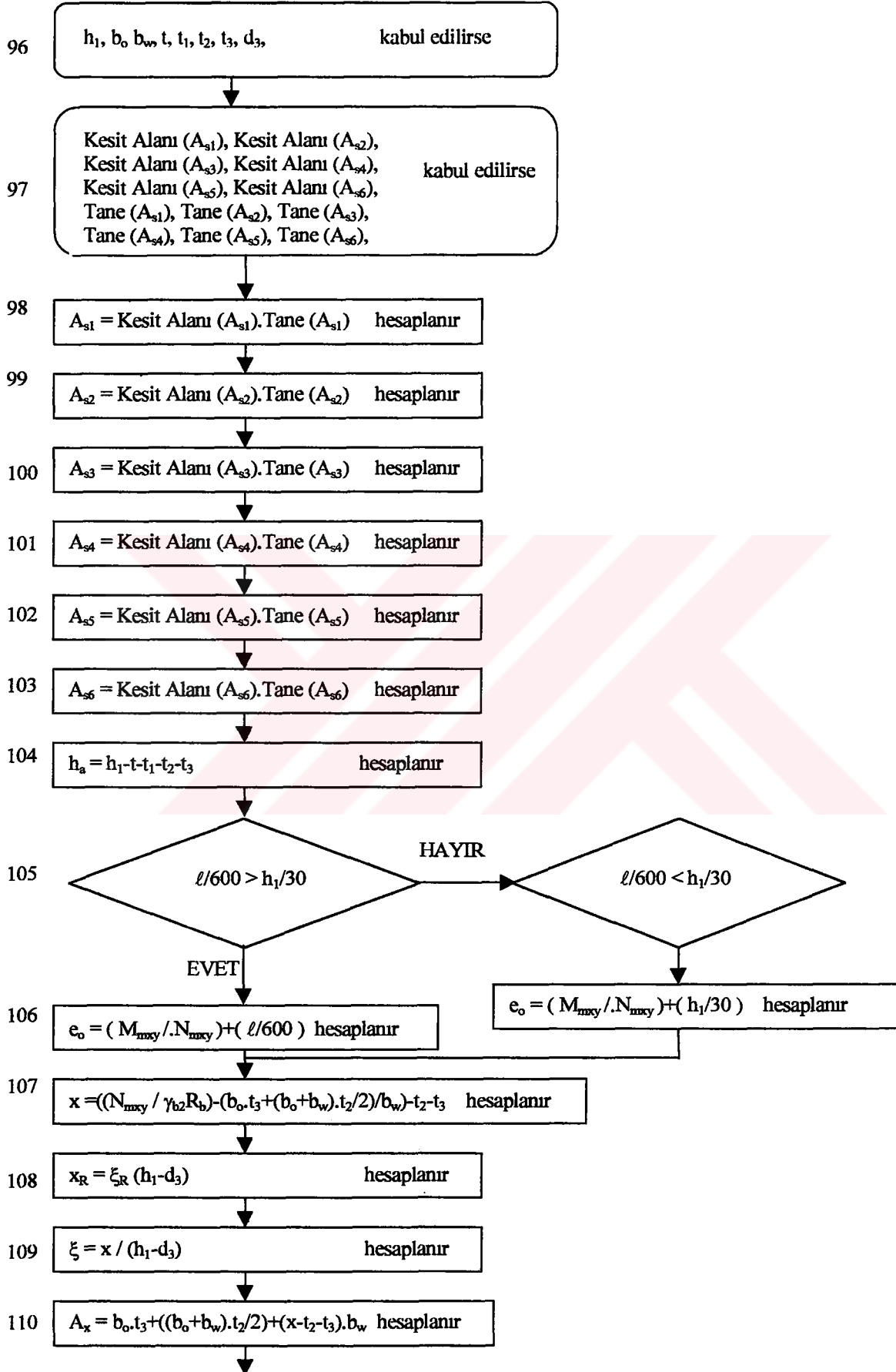
92 $M_{my5} = R_{Ay} \cdot x_{15} - (P_d \cdot x_{15} \cdot x_{15} / 2) - (P_{kar} \cdot x_{15} - x_{25}) \cdot (x_{15} + x_{25}) / 2$ hesaplanır

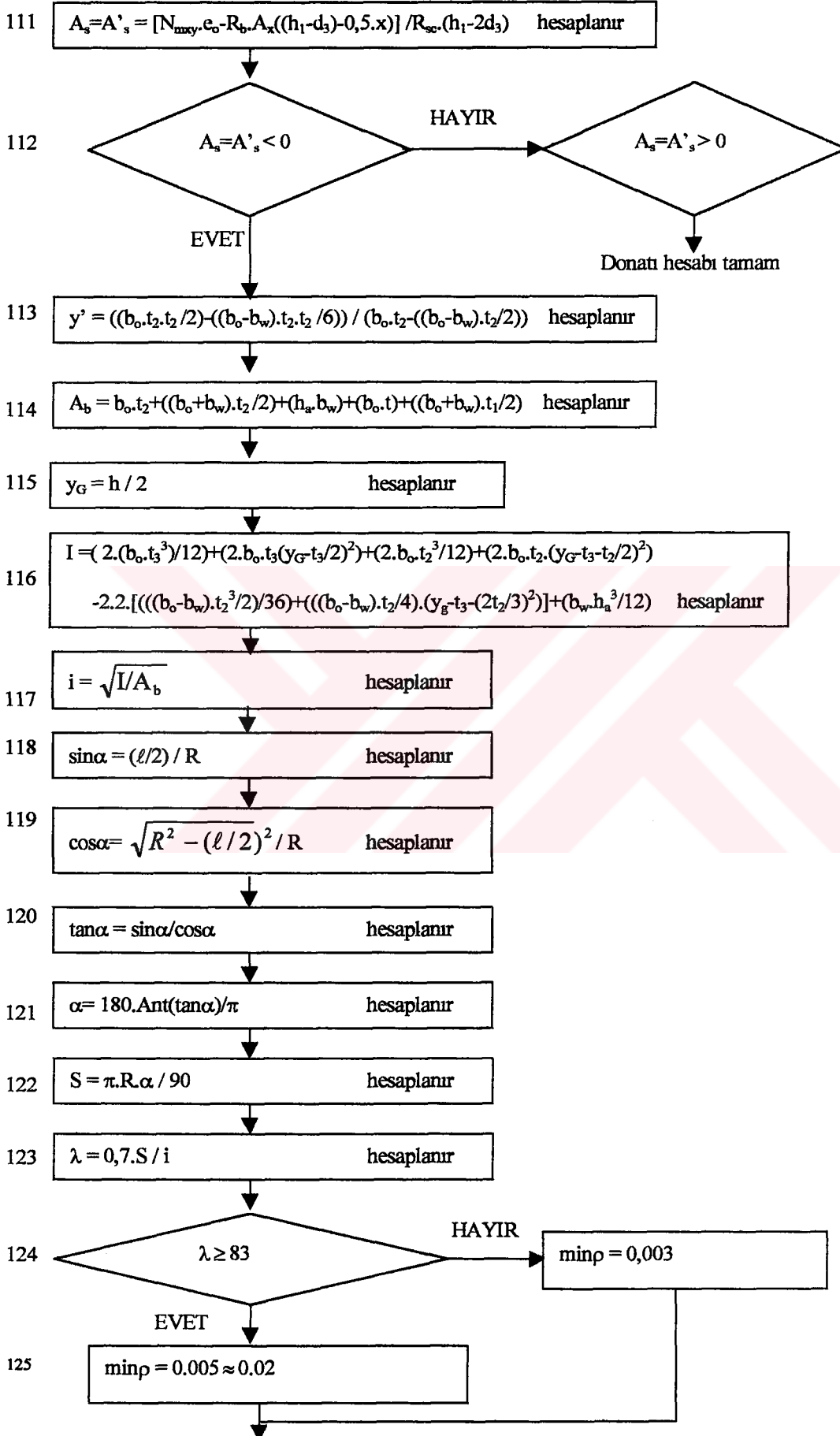
93 $M_{mxy5} = M_{my5} - H_{II} \cdot y_{m5}$ hesaplanır

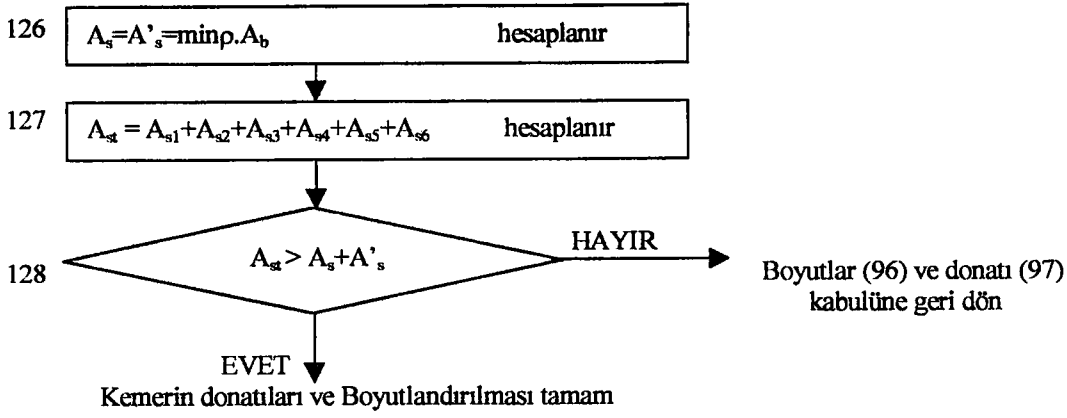
94 $T_{mxy5} = T_{my5} \cdot \cos \phi_5 - H_{II} \cdot \sin \phi_5$ hesaplanır

95 $N_{mxy5} = -T_{my5} \cdot \sin \phi_5 - H_{II} \cdot \cos \phi_5$ hesaplanır

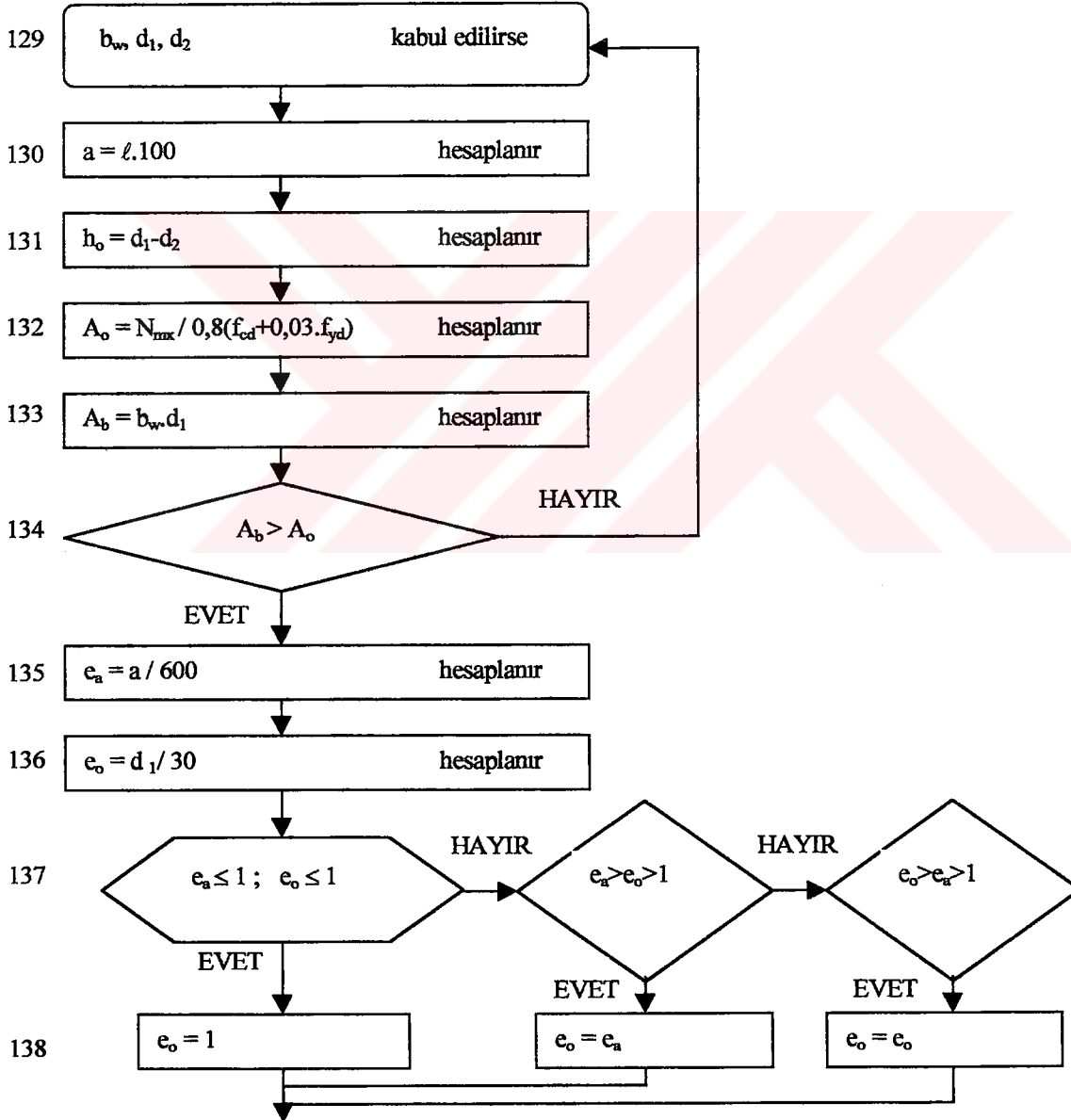
Öngerilmemiş olarak kemerin ("I" kesitli) hesabı

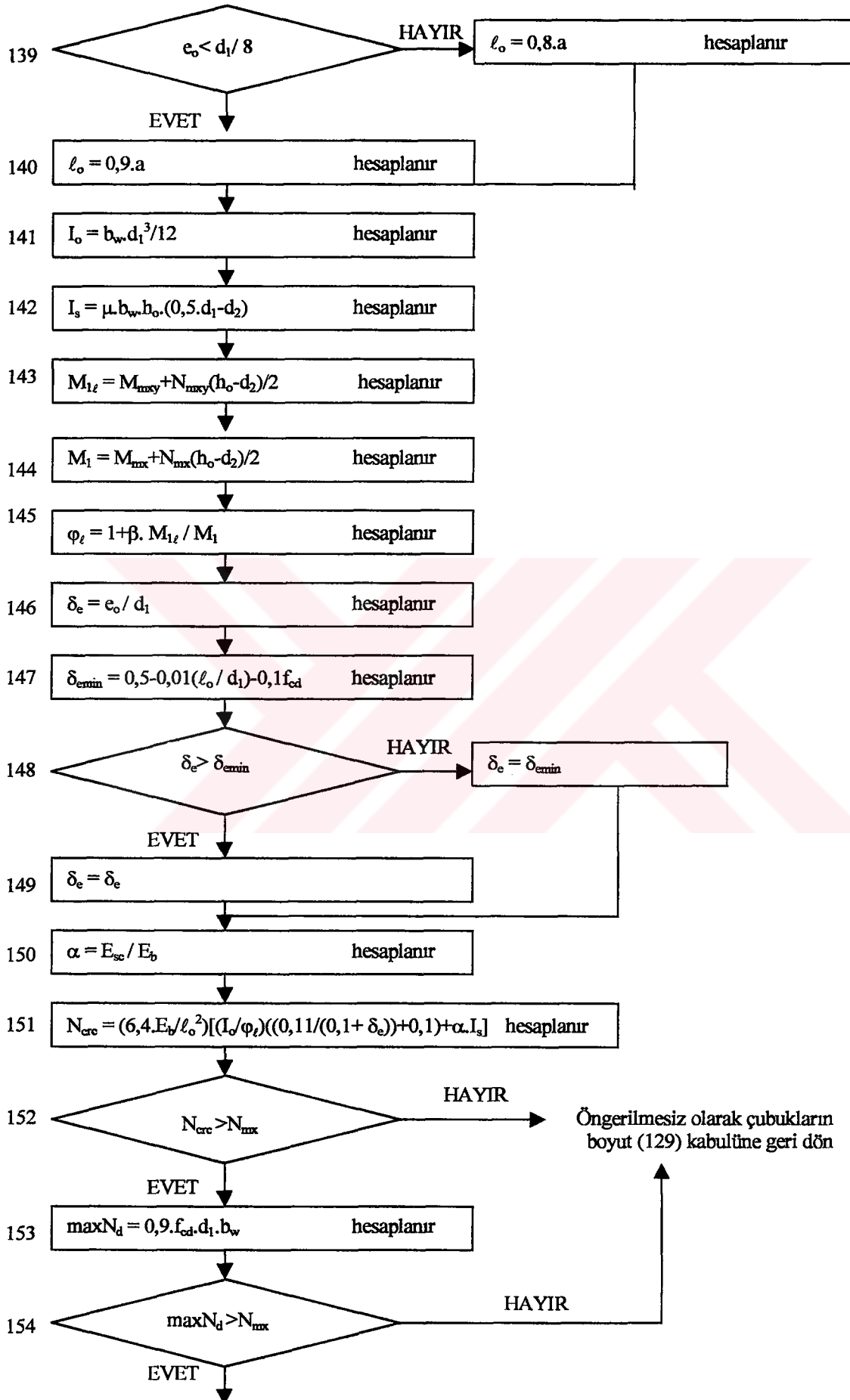


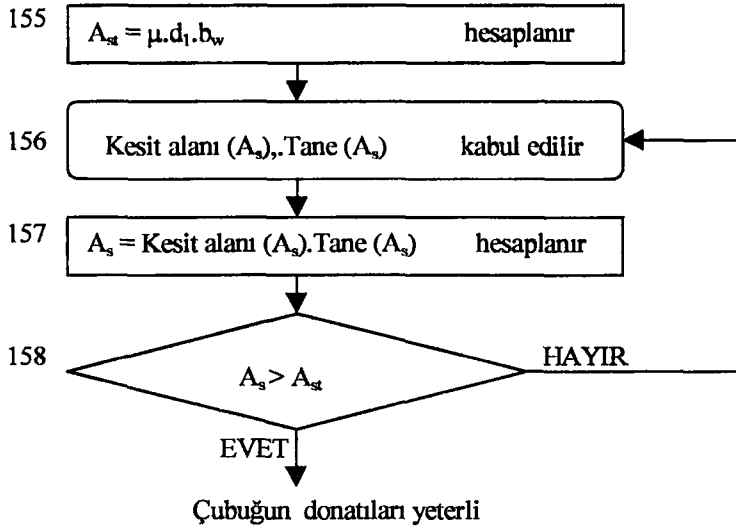




Öngerilmemiş gergi hesabı







Öngörilmeli olarak gergi hesabı

