

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BETONARME KİRİŞSİZ DÖŞEMELERİN
ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İsmail ELMALI

Balıkesir, Mayıs – 2006

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

BETONARME KİRİŞSİZ DÖŞEMELERİN
ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İsmail ELMALI

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet TERZİ

Sınav Tarihi : 11.05.2006

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Şerif SAYLAN (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet İREN (BAÜ)

Yrd. Doç. Dr. Mehmet TERZİ (BAÜ)



Balıkesir, Mayıs – 2006

ÖZET

BETONARME KİRİŞSİZ DÖŞEMELERİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

İsmail ELMALI

**Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

(Yüksek Lisans Tezi / Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Mehmet TERZİ)

Balıkesir, 2006

Çalışma kapsamında iki doğrultuda çalışan kirişsiz döşemelerin statik hesabında kullanılan TS 500 ve ACI 318-02 kapsamındaki yaklaşık yöntemler ile sonlu elemanlar hesap yöntemi incelenmiştir. Belirtilen hesap yöntemleri ile sayısal uygulamalar yapıp, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kirişsiz döşemelerde zımbalama dayanımı ele alınmıştır. Verilen örneklerde betonarme hesap da yapılmıştır.

Kirişsiz döşemeler için TS 500`de önerilen yaklaşık yöntemlerden Moment Katsayılar Yöntemi ve Eşdeğer Çerçeve Yöntemi ile ilgili Vusial Basic kullanarak bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Verilen tüm çözümler Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar tablolar ve grafiklerle ortaya konulmuştur. Yöntemlerin doğru sonuçlarının hangi sınırlar çerçevesinde olduğu araştırılmıştır. Yöntemler arasındaki farkların yüzdesel olarak nasıl bir değişim gösterdikleri ortaya koyulmuştur

ANAHTAR SÖZCÜKLER : Kirişsiz Döşemeler / Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi / Eşdeğer Çerçeve Yöntemi /Moment Katsayılar Yöntemi

ABSTRACT

DESIGN METHODS FOR SLAB SYSTEMS WITHOUT BEAMS

İsmail ELMALI

**University of Balıkesir, Institute of Science,
Department of Civil Engineering**

(M. Sc. Thesis / Supervisor: Asst. Prof. Mehmet TERZİ)

Balıkesir – Turkey, 2006

In this thesis, Distributing Method and Equivalent Frame Method in the contents of TS 500 and ACI 318-02 which are used for analysing slab systems without beams are researched. Numerical applications and design methods are compared.

Resistance to punching of slab systems without beams are taken up. Reinforcement was designed with examples.

A computer program was evolved with Visual Basic about Distributing Method and Equivalent Frame Method from proposal methods for slab systems without beams in TS500.

All given solutions were compared with Finite Element Method. Solutions were shown on tables and graphics. So true solutions of methods were searched thoroughly to find which limitations it's in. The differences between the variations of methods are shown in percentages.

KEY WORDS : Slab Systems Without Beams / Finite Element / Equivalent Frame Method / Distributing Method

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOLLER LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1.GİRİŞ	1
1.1 Konu İle İlgili Çalışmaların İncelenmesi	4
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
2. İKİ DOĞRULTUDA ÇALIŞAN DÖŞEMELERİN HESABI	8
2.1 Kirişsiz Döşemeler İçin Konsrikatif Kurallar	8
2.2 İki Doğrultuda Çalışan Kirişsiz Döşeme Çözümlerinde Kullanılan Yaklaşık Yöntemler	12
2.2.1 Moment Katsayıları Yöntemi	12
2.2.1.1 Sistem, Kolon ve Orta Şeritlere Ayrılır	13
2.2.1.2 Toplam Statik Moment Hesaplanır	13
2.2.1.3 Açıklık ve Mesnet Momentleri Belirlenir	14
2.2.1.4 Momentlerin Şeritlere Dağıtılması	16
2.2.2 Eşdeğer Çerçeve Yöntemi	17
2.3 Kirişsiz Döşemelerde Zımbalama Tahkiki	24
2.3.1 Zımbalama Çevresinin Belirlenmesi	25
2.3.2 Zımbalama Çevresi İçinde Kalan döşeme Yükünün Hesaplanması	28
2.3.3 Tasarım Eksen Yükünün Belirlenmesi	28
2.3.4 Zımbalama Tasarım Kuvvetinin Belirlenmesi	29
2.3.5 g Katsayısının Belirlenmesi	29
2.3.6 Zımbalama Dayanımının Belirlenmesi ve Tahkik	32
2.4 ACI 318'de Kirişsiz Döşemeler	33
2.4.1 Doğrudan Dizayn Metodu	36
2.4.1.1 Bir Açıklığa Etkiyen Toplam Statik Momentler	37
2.4.1.2 Negatif ve Pozitif Momentlerin Bulunması	38
2.4.1.3 Kolon Şeritlerine Etkiyen Momentler	40
2.4.1.4 Kirişlere Etkiyen Momentler	41
2.4.1.5 Orta Şeride Etkiyen Momentler	42

	<u>Sayfa</u>
2.4.1.6 Etkiyen Momentlerin Modifikasyonu	42
2.4.1.7 Kolon ve Perdeye Etkiyen Momentler	42
2.4.2 Eşdeğer Çerçeve Yöntemi	43
2.4.2.1 Döşeme Kiriş Elemanı	43
2.4.2.2 Kolonlar	44
2.4.2.3 Burulma Elemanları	44
2.4.2.3 Hareketli Yük Düzenlenmesi	44
2.4.2.5 Düzeltilmiş Momentler	45
3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ	46
3.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulandığı Yerler	48
3.2 Hesapta İzlenecek Yol	48
3.3 Sistemin Sonlu Elemanlara Bölünmesi ve Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar	54
3.4 SAP2000 Yapı Analiz Statik Programı İle Sonlu Elemanlar Yöntemi	56
3.4.1 Kullanılacak Eleman Türleri	57
4. SAYISAL UYGULAMALAR	61
4.1 Moment Katsayıları Yöntemi	61
4.1.1 TS 500'deki Koşulların Tahkiki	62
4.1.2 Zımbalama Tahkiki	63
4.1.2.1 Orta Kolon İçin Hesap	63
4.1.2.2 Kenar Kolon İçin Hesap	65
4.1.3 Toplam Statik Momentin Hesaplanması	66
4.1.4 Momentlerin Şeritlere Dağıtılması	67
4.1.5 Donatı Hesabı Sonuçları	68
4.2 Eşdeğer Çerçeve Yöntemi	68
4.2.1 Eşdeğer Çerçeve Doğrultusundaki Döşemenin Atalet Momenti	69
4.2.2 Döşeme Kiriş Elemanı Parametreleri	70
4.2.3 Kolon Parametreleri	71
4.2.4 Burulma Elemanı Parametreleri	73
4.2.5 Kolonların Burulma Rijitlikleri	74
4.2.6 Eşdeğer Kolon Rijitlikleri	74
4.2.7 Cross Yöntemi ile Hesap	74
4.2.8 Donatı Hesabı	77
4.3 Hesap Yöntemlerin Karşılaştırılması	77
4.3.1 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulamalar	78
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR	119

SEMBOLLER LİSTESİ

Simge	Adı	Birimi
I_1	Hesap yapılan doğrultudaki açıklık	cm
I_2	Hesaba dik doğrultudaki açıklık	cm
t_o	Tabla kalınlığı	cm
I_n	Serbest açıklık	cm
hf	Döşeme kalınlığı	cm
h	Döşeme kalınlığı	cm
ρ_l	Uzun doğrultudaki donatı oranı	
ρ_s	Kısa doğrultudaki donatı oranı	
M_o	Toplam statik moment	tm
I	Eylemsizlik momenti	dm ⁴
c_2	Hesaba dik yönde kolan boyutu	cm
c_1	Hesap yapılan yöndeki kolon boyutu	cm
C	Burulma katsayısı	dm ⁴
K_{ec}	Eşdeğer kolon rijitliği	tdm
K_c	Kolon eğilme rijitliği	tdm
K_t	Burulma elemanı rijitliği	tdm
U_p	Zımbalama alanı	dm ²
d	Faydalı yükseklik	cm
b_1, b_2	Zımbalama çevresi boyutları	cm
d_o	Dairesel kolon boyutu	cm
F_{en}	Zımbalama tasarım yükü	t
F_d	Hesap katında tasarım yükü	t
V_{pd}	Zımbalama tasarım kuvveti	t
γ	Eğilme etkisini yansıtan katsayı	
e_x, e_y	Dış merkezlilikler	cm
M_{d2}, M_{d1}	Kolon yüzü döşeme momenti	tm
x_1, x_2	Burulma eksenleri mesafeleri	cm
J_e	Zımbalama yüzeyi ağırlık merkezinden geçen ağırlık eksenine göre atalet momenti	dm ⁴
τ_{max}	Zımbalamada maksimum kesme kuvveti	t
τ_{min}	Zımbalamada minimum kesme kuvveti	t
W_m	Dayanım momenti	tm
f_{ctd}	Betonun çekme dayanımı	
V_{pr}	Zımbalama dayanımı	t
w_u	Hesap yükü (ACI 318)	t
$[k]$	Sonlu elemanlar rijitlik matrisi	
A	Alan	dm ²
$[K]$	Sistem rijitlik matrisi	
$\{F\}$	Sistem toplam yük vektörü	
$\{u\}$	Sistem yer değiştirme vektörü	

F_{11}, F_{22}	Membran çekme basınç kuvveti	t
F_{12}, F_{21}	Lokal eksene göre kayma kuvveti	t
M_{11}, M_{22}	Eğilme momenti	tm
V_{13}, V_{23}, V_{\max}	Kesme kuvveti	t
S_{12}, S_{21}	Gerilmeler	t/m ²

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1.1	Kirişsiz Döşeme Türleri	2
Şekil 2.1	Şerit Bilgisi	8
Şekil 2.2	Kirişsiz Döşemelerle İlgili Koşullar	9
Şekil 2.3	Moment Katsayıları Yöntemine Göre Mesnet ve Açıklık Momentleri	14
Şekil 2.4	Moment Katsayıları Yöntemine Göre Sistemde Perde Duvar Elemanların Bulunması Durumunda Mesnet ve Açıklık Momentleri	15
Şekil 2.5	Döşeme Kenarının Taşıyıcı Olmayan Elemana Oturması Durumunda Mesnet ve Açıklık Momentleri	15
Şekil 2.6	Kolon ve Orta Şeritlerin Momentlerinin Hesaplanması	17
Şekil 2.7	Kolon ve Orta Şeritlerinin Belirlenmesi	18
Şekil 2.8	Eşdeğer Çerçeve Elemanları	19
Şekil 2.9	Döşeme-Kiriş Elemanı	20
Şekil 2.10	Kolonların Eylemsizlik Momenti	22
Şekil 2.11	Kirişsiz Döşemede Burulma Elemanı	23
Şekil 2.12	Zımbalama	25
Şekil 2.13	Zımbalama Çevresinin Belirlenmesi	25
Şekil 2.14	Başlıklı Tablalı Döşemede Zımbalama Çevresi	26
Şekil 2.15	Planda Zımbalama Çevresi	26
Şekil 2.16	Etkili Başlık Boyutu	27
Şekil 2.17	Başlıklı Kolonlarda Zımbalama Boyutu	27
Şekil 2.18	Moment Yönlerine Göre Dışmerkezlik	30
Şekil 2.19	Kenar Kolonda Oluşan Kayma Gerilmeleri	31
Şekil 2.20	Kirişsiz Döşemelerde Minimum Donatı Koşulları	36
Şekil 2.21	Dairesel ve Düzgün Plaklar İçin kare Alınan Kesitler	37
Şekil 2.22	Sistemin Sadece Kolonlara Oturması Durumu	38
Şekil 2.23	Sol Açıklığın Taşıyıcı Olmayan Bir Elemana Oturması	39
Şekil 2.24	Açıklığın Perde İle Mesnetlenmesi Durumu	39
Şekil 2.25	Kenar Kirişi Kullanılması	39
Şekil 2.26	Kirişli Döşemelerde Doğrudan Dizayn Metodu	40
Şekil 3.1	Bir, İki ve Üç Boyutlu Sonlu Eleman Örnekleri	47
Şekil 3.2	Düzensiz Geometriyi Haiz Bir Levhanın Üçgen Sonlu Elemanlarla İdealleştirilmesi	48
Şekil 3.3	Bir Ucundan Yüklenmiş Elastik Yay	49
Şekil 3.4	Tipik Yay ve Sonlu Eleman	50
Şekil 3.5	Eleman Geometrisinde Müsaade Edilebilir Deformasyonlar	53
Şekil 3.6	Bir Silindirik Yüzey Etrafındaki Tipik Eleman Dağılımı	53
Şekil 3.7	Bir Delikli Geometride Delik Etrafındaki Tipik Eleman Dağılımı	53
Şekil 3.8	Çubuk Eleman Lokal Eksen	57
Şekil 3.9	Shell Eleman Lokal Eksen	58
Şekil 3.10	Membran Eleman Kuvvetleri	59
Şekil 3.11	Plak Eleman Momentleri	59

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 4.1	Sistem	62
Şekil 4.2	Orta Kolon Zımbalama Çevresi	64
Şekil 4.3	Kenar Kolon Zımbalama Çevresi	65
Şekil 4.4	Bir Kolon İki Yarım Orta Şeride Ait Momentler	67
Şekil 4.5	Sistem	69
Şekil 4.6	Döşeme Kesiti	69
Şekil 4.7	Döşeme Kiriş Elemanı	70
Şekil 4.8	Kolon Kesiti	72
Şekil 4.9	Burulma Elemanı	73
Şekil 4.10	Hesap Yapılacak Sitem	74
Şekil 4.11	Yüklemeler	76
Şekil 4.12	Eşdeğer Çerçeveye Ait Moment	77
Şekil 4.13	Modelin 3 Boyutlu Görünüşü	80
Şekil 4.14	Döşeme Hesap Şeridi	80
Şekil 4.15	Kolonun-Döşeme Birleşimdeki Sonlu Elemanlar Ağı ve Oluşturulan Mesnet Koşulları	81
Şekil 4.16	Sistemdeki Bir Şeride Ait Moment Diyagramı	81
Şekil 4.17	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1 Moment Grafiği	83
Şekil 4.18	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1 Kesme Kuvveti Grafiği	83
Şekil 4.19	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 2 Moment Grafiği	85
Şekil 4.20	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 2 Kesme Kuvveti Grafiği	85
Şekil 4.21	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3 Orta Şerit Moment Grafiği	87
Şekil 4.22	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3 Kolon Şerit Moment Grafiği	87
Şekil 4.23	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4 Moment Grafiği	89
Şekil 4.24	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4 Kesme Kuvveti Grafiği	89
Şekil 4.25	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 5 Moment Grafiği	91
Şekil 4.26	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 5 Kesme Kuvveti Grafiği	91
Şekil 4.27	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6 Moment Grafiği	93
Şekil 4.28	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6 Kesme Kuvveti Grafiği	93
Şekil 4.29	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 7 Moment Grafiği	95
Şekil 4.30	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 7 Kesme Kuvveti Grafiği	95
Şekil 4.31	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8 Orta Şerit Moment Grafiği	97
Şekil 4.32	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8 Kolon Şerit Moment Grafiği	97
Şekil 4.33	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9 Moment Grafiği	99
Şekil 4.34	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9 Kesme Kuvveti Grafiği	99
Şekil 4.35	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 10 Orta Şerit Moment Grafiği	101
Şekil 4.36	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 10 Kolon Şerit Moment Grafiği	101
Şekil 4.37	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 11 Moment Grafiği	103
Şekil 4.38	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 11 Kesme Kuvveti Grafiği	103
Şekil 4.39	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12 Moment Grafiği	105
Şekil 4.40	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12 Kesme Kuvveti Grafiği	105
Şekil 4.41	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 13 Moment Grafiği	107
Şekil 4.42	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 13 Kesme Kuvveti Grafiği	107
Şekil 4.43	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14 Kolon Şerit Moment Grafiği	109
Şekil 4.44	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14 Orta Şerit Moment Grafiği	109
Şekil 4.45	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 15 Kolon Şerit Moment Grafiği	111
Şekil 4.46	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 15 Orta Şerit Moment Grafiği	111

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge No	Çizelge Adı	Sayfa No
Çizelge 2.1	TS 500'deki Kirişsiz Döşemelerle İlgili Koşullar	11
Çizelge 2.2	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi İçin Dağıtma Katsayıları	24
Çizelge 2.3	Toplam Statik Momentinin Kenar Açıklıkta Dağıtılması	38
Çizelge 2.4	Kolon Şerit Mesnet Momenti (Ara Mesnet)	40
Çizelge 2.5	Kolon Şerit Mesnet Momenti (Kenar Mesnet)	41
Çizelge 2.6	Kolon Şeritlerine Giden Pozitif Moment	41
Çizelge 4.1	Momentlerin Şeritlere Dağıtılması	67
Çizelge 4.2	Donatı Hesap Sonuçları	68
Çizelge 4.3 1	Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü	75
Çizelge 4.4 2	Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü	75
Çizelge 4.5 3	Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü	75
Çizelge 4.6 4	Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü	75
Çizelge 4.7	Moment ve Kesme Kuvveti Sonuçları	76
Çizelge 4.8	Şerit Momentleri	76
Çizelge 4.9	Şeritlere Göre Donatılar	79
Çizelge 4.10	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulamalar	79
Çizelge 4.11	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1	82
Çizelge 4.12	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 2	84
Çizelge 4.13	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3	86
Çizelge 4.14	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4	88
Çizelge 4.15	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 5	90
Çizelge 4.16	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6	92
Çizelge 4.17	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 7	94
Çizelge 4.18	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8	96
Çizelge 4.19	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9	98
Çizelge 4.20	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 10	100
Çizelge 4.21	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 11	102
Çizelge 4.22	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12	104
Çizelge 4.23	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 13	106
Çizelge 4.24	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14	108
Çizelge 4.25	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 15	110

ÖNSÖZ

Çalışma kapsamında yardımlarını esirgemeyen Danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet TERZİ'ye, başta Prof. Dr. Şerif SAYLAN ve Yrd. Doç. Dr. Meral Begimgil olmak üzere eğitimim boyunca verdikleri katkılarından dolayı tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Daima yanımda olan değerli aileme de şükranlarımı sunarım.

Balıkesir, 2006

İsmail ELMALI

1. GİRİŞ

Kirişsiz betonarme döşemeler; yatay düzlemde yalnız döşemenin mevcut olduğu, arada kiriş olmadan kolonlara oturan ve kolonlarla birlikte eğilmeye çalışan çift doğrultuda donatılı betonarme plak sistemleridir.

Mekanı rahat ve etkin kullanma isteği, döşeme sistemini kirişsiz olarak seçmede önemli nedendir. Kirişler kat yüksekliğini azaltmaktadır. Havalandırma ve klima kanallarının kullanılmasıyla kat yüksekliği daha da azalmaktadır. Ayrıca düz bir tavan isteğinin karşılanması da kirişsiz döşeme sisteminin seçilmesiyle gerçekleştirilir.

Kalıp, döşeme, betonarme işçiliğinin daha basit olması, kalıp imalatının daha az olması ve inşaat süresinin kısalması, inşaat maliyetinde önemli avantajlar getirmektedir.

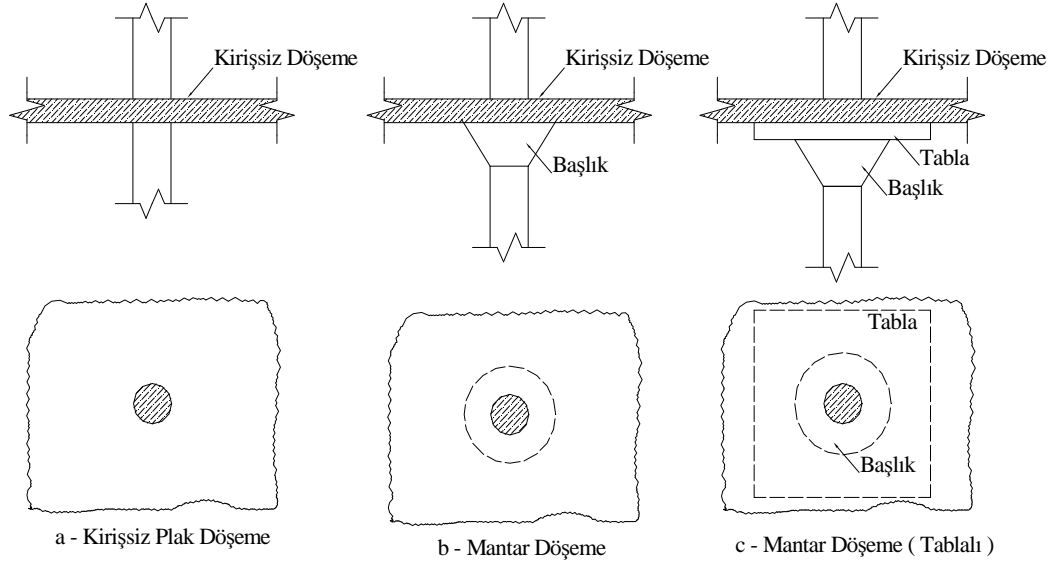
Kirişsiz döşeme sisteminin maliyeti; kullanım amacı, oluşacak yüklemeler, hesap açıklığı, yapı sistemindeki düzensizliklere bağlı olarak değişme gösterecektir.

Kirişsiz döşemelerde, kirişli döşemelere nispeten döşeme kalınlığının fazla olması sebebiyle ısı ve ses yalıtımı açısından avantajlıdır.

Kirişsiz döşemenin zayıf taraflarını ise, deprem davranışının kötü olması, zımbalama olasılığının yüksek olması, daha fazla beton ve donatı gerektirmesi, perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlara daha fazla ihtiyaç duyulması olarak sıralayabiliriz.

Kirişsiz döşemelerin; tablalı, başlıklı (mantar döşemeler), başlıklı – tablalı olarak uygulamaları da mevcuttur (Şekil 1.1). Başlık ve tabla kullanımında esas

neden, kolon döşeme birleşim noktasında yük taşıma etkinliğinin artırılmasıdır. Kolonun doğrudan döşemeyle birleştiği durumda kirişsiz döşemelerin zayıf karnı olarak bilinen zımbalama olayı önem kazanmaktadır. Kirişsiz döşeme türünün seçiminde, düşey yükün büyüklüğü önemlidir. Başlıksız-tablasız kirişler hafif yüklerin olduğu ve açıklıkların çok büyük olmadığı konut, otel, işyeri için uygundur. Başlık ve tabla açıklıkların nispeten büyük olduğu, ağır yüklerin ve büyük tekil yüklerin etkideği, şiddetli titreşimlerin meydana geldiği sistemlerde tercih edilir. Başlık ve tabla kullanımı, kirişsiz döşemenin mimari, estetik ve ekonomik avantajlarını kaybetmesine neden olmaktadır.



Şekil 1.1 Kirişsiz Döşeme Türleri

Deprem etkisi nedeniyle özellikle köşe kolonlarına etkiyen eğilme momentinin büyük olması ve bu bölgede zımbalama yüzeyinin küçük olması köşe kolonlarda zımbalama riskini artırmaktadır. Bu durumda çevre kirişi yapılarak zımbalama yüzeyi artırılmakta, dolayısıyla da zımbalama olasılığı azalmaktadır. Ayrıca kolon eksenlerinin bozulduğu merdiven ve asansör bölümlerinde yine aynı düşünceyle kiriş tasarlanabilir .

Kirişsiz döşeme, kirişli döşeme kadar rijit olmadığından, yanal yükler altında katlar arası görelî öteleme daha fazla olacaktır. Bu durumda taşıyıcı olmayan elemanlarda daha fazla hasar olacak, kolonlara gelen ikinci mertebe momentleri artacaktır. Bu tür döşeme sistemine sahip binalarda yapısal olmayan hasarları ve ikinci mertebe momentlerini sınırlamanın yolu, düşey elemanların rijitliğini arttırmaktır. Bu artış, kolon kesit boyutlarını büyüterek veya tüm yatay kuvveti karşılayabilecek kapasitede perde duvar oluşturularak sağlanabilir.

1997 Deprem Yönetmeliği'nde, süneklik düzeyi yüksek kolonlarla ilgili verilen koşullardan birinin sağlanmaması durumunda kirişsiz döşemeli betonarme sistemler süneklik düzeyi normal sistemler olarak göz önüne alınacaktır. Bu sistemler, binada perde kullanılmaması durumunda, sadece üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ve $H_N \leq 13$ m olmak koşulu ile yapılabilir. Birinci ve ikinci dereceden deprem bölgelerinde inşa edilecek kirişsiz döşemeli yapılarda betonarme perde kullanma zorunluluğu getirilmiştir [4].

Kirişsiz döşeme sistemlerinin tasarımında şu noktalara dikkat edilmelidir:

- a) Yatay yüklere karşı güvenli bir diyafram etkisi oluşturabilmek için döşeme kalınlığı, donatı yerleşimi ve dağılımı dikkate alınmalıdır.
- b) Kirişsiz döşeme ve döşemeye doğrudan saplanan kolonlar taşıyıcı sistemin yatay ötelenme rijitliğine önemli katkıda bulunurlar.
- c) Döşemenin eğilme ve zımbalama dayanımı dikkatle hesaplanmalı, olanaklar araştırılarak kapasite artırıcı önlemler alınmalıdır.
- d) Zımbalama için ancak çok gerekli olduğu durumlarda kayma donatısı kullanılabilir. Kayma donatısı genellikle etriyelerden ve özel profillerden imal edilen kayma başlıklarından oluşur.
- e) Kolon şeritleri üzerinde eğilme donatısı, genellikle, sıklaştırılmalıdır.
- f) Yatay öteleme rijitliği, yalnız kirişsiz döşeme ve kolonlardan oluşan, (sünek çerçeve, deprem perdeleri veya diğer yatay rijitlik veren elemanları olmayan) yatay yüke maruz taşıyıcı sistemlerin deprem riski yüksek 1. ve 2. deprem bölgelerinde kullanılması uygun değildir.

Yurdumuzda oluşan hasarların birçoğu, başlık bölgesinde yeterli kalınlığın sağlanamaması, donatının yoğun olması nedeniyle bu bölgede betonun yeteri kadar yerleşmemesi, betonda yeterli derecede mukavemet oluşmadan kalıbın alınmasından ortaya çıkmaktadır [1].

1.1 Konu İle İlgili Çalışmaların İncelenmesi

Kirişsiz döşemeler bu yüzyılın başından itibaren kullanılmaktadır. Ancak yüzyılın başında bu tür sistemlerin statığı ve davranışı tam bilinmediğinden yarı ampirik hesap yöntemleri kullanılmıştır. İlginç olan ise bu yöntemler için patent alınmış olmasıdır.

Kirişsiz döşeme kavramı 1902`de C.A.P. Turner tarafından ortaya atılmıştır. M.Sözen ve C.P. Siess kirişsiz döşeme tarihi ile ilgili yayınlarında ilk kirişsiz döşemenin 1906`da C.A.P. Turner tarafından Minneapolis`de inşa edildiğini öne sürmektedirler. O yıllarda kirişsiz döşeme davranışı bilinmediğinden, yapılan birçok bina kullanılmadan önce yükleme deneyi yapılmakta idi. Turner`in hesap yöntemi, Prof. Eddy tarafından yayınlanan ve tam tutarlı olmayan bir plak teorisine dayanıyordu. 1914 yılında J.R. Nichols kirişsiz döşemede toplam momenti hesaplamaya yönelik tutarlı bir yöntem geliştirdi. Zamanın bilim çevrelerince eleştirildi, hatta Nichols`ın saçmaladığı söylendi. Fakat bugün ACI dahil birçok yönetmelikte bu yöntem yer almaktadır [2]. 1921`de H.M. Westergaard ve W.A. Slaterin`in yayınladıkları çalışmalar vardır. 1960-63 yılları arasında M.Sözen ve C.P. Siess`in yaptıkları oldukça kapsamlı araştırmalardan sonra, kirişsiz döşemeli yapılarla ilgili çalışmalara rağbet artmış ve araştırmalar özellikle Amerika Birleşik Devletleri`nde yoğunlaşmıştır [2].

Eski TS 500`de (1960) kirişsiz döşemelerin kolonlar üzerine genişletilme yapılmadan inşasına müsaade edilmemiştir. Gelişen teknoloji ve mimari ihtiyaçlardan dolayı, TS 500`de (1978) konu yeniden ele alınarak bu şart kaldırılmıştır [3].

Döşeme hesapları için Eşdeğer Çerçeve Yöntemi ilk defa Peabody tarafından önerildi. Corley ve Jirsaa tarafından sadece düşey yük hesabı için yöntem geliştirilerek 1970 yılında yayınlandı ve 1971 yılında Amerikan Yönetmeliği'nde yer aldı. Yöntem, "Vanderbilt" tarafından yatay yükler için geliştirildi [6].

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz yöntemleridir. Argyis ve Kelsey (1960) virtuel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. "Sonlu Elemanlar" terimi ilk defa Clough (1960) tarafından kendi çalışmasında telâffuz edilmiştir. Metodun üç boyutlu problemlere uygulanması iki boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleştirilmiştir [8].

İlk gerçek kabuk elemanlar eksenel simetrik elemanlardır. 1963'te Grafton ve Strome tarafından yapılan çalışmayı 1969'da Gallagher'in silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir. Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında non-lineer problemlerle ilgilenmeye başladılar. 1960'larda Turner ve diğerleri geometrik olarak non-lineer problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk Martin (1965) tarafından tartışılmıştır. Zienkiewicz ve diğerleri (1966) ve Koenig ve Davids (1969) tarafından, statik problemlerin yanı sıra dinamik problemler de sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlandı. 1943 yılında Courant bölgesel sürekli lineer yaklaşım kullanarak bir burulma problemi için çözüm üretmiştir [6].

Genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları 1970'li yıllardan itibaren ortaya çıkmaya başlamıştır. 1980'li yılların sonlarına doğru ise artık paket programlar mikro bilgisayarlarda kullanılmaya başlandı. 1990 yılların ortaları itibariyle sonlu elemanlar metodu ve uygulamalarıyla ilgili yaklaşık olarak 40.000 makale ve kitap yayınlanmıştır [7].

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışma kapsamında iki doğrultuda çalışan kirişsiz döşemelerin hesabında kullanılan yaklaşık yöntemler ve sonlu elemanlar hesap yöntemi incelenmiştir. İncelenen hesap yöntemleri sayısal uygulamalarla karşılaştırılmıştır.

Konu ile ilgili yapılan daha önceki çalışmalar incelenmiştir.

TS 500 ve ACI 318 kapsamındaki yaklaşık yöntemlerle de hesap yapılmıştır. İki yönetmelikte anlatılan yaklaşık hesap yöntemlerinin farkları yine sayısal uygulamalar ile karşılaştırılmıştır.

Seçilen örneklerde yaklaşık hesap yöntemlerinin kullanabilmesi için verilen koşullar, farklı yüklemeler, farklı kombinasyonlar ele alınmıştır.

Sonlu elemanlar ile hesap yapan bir paket program kullanılırken bilinmesi gereken temel bilgiler verilmiştir. Sonlu elemanlarla ilgili çözüm SAP2000 statik analiz paket programı ile yapılmıştır. SAP2000`de tez kapsamında kullanılan eleman tipleri ve programın kabulleri, mesnet koşulları, düğüm noktası kısıtlamaları, kesit tesirlerini ve döşeme elemanındaki bir şeride ait toplam momenti bulmak için kullanılan program komutları anlatılmıştır.

Kullanılan yaklaşık hesap yöntemleri ile hızlı çözüm yapabilmek için Vusial Basic ile MKY Kirişsiz V.1.0 ve Kirişsiz Döşeme V.Beta programları yazılmıştır. Programlara statik, betonarme hesap, metraj, çizim yapabilme gibi özellikler kazandırılmıştır.

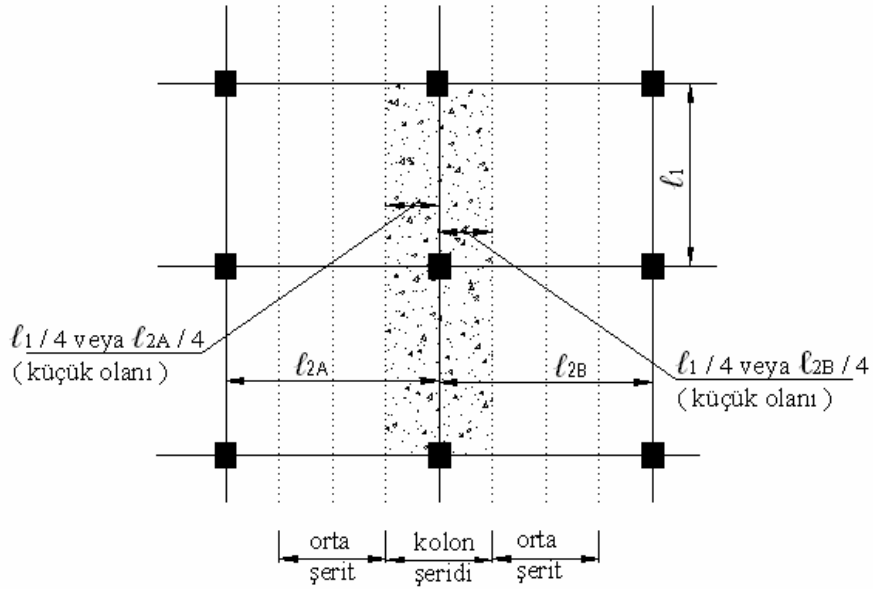
Kirişsiz döşemelerde zımbalama dayanımı da ele alınmıştır. Kirişsiz döşemelerin zayıf karnı olan zımbalama, anlatılmış ve sayısal uygulama da yapılmıştır. Yazılan programlar kirişsiz döşemelerde zımbalama tahkiki de yapmaktadır.

Tüm karşılaştırılmalı sonuçlar tablolar ve grafiklerle ortaya konulmuştur. Böylelikle yöntemlerin doğru sonuçlarının hangi sınırlar çerçevesinde olduğu araştırılmıştır. Yöntemler arasındaki farkların yüzdesel olarak nasıl bir değişim gösterdikleri ortaya koyulmuştur.

2. İKİ DOĞRULTUDA ÇALIŞAN DÖŞEMELERİN HESABI

2.1 Kirişsiz Döşemeler İçin Konsraktif Kurallar

Kirişsiz döşemeler donatı hesabı ve düzenlenmesi bakımından kolon şeridi ve orta şerit olarak iki bölgeye ayrılır. Kolon şeridi, kolon veya perde ekseninin her bir yanında ayrı ayrı $l_1/4$ veya $l_2/4$ genişlikleriyle tanımlanan şeritlerden dar olanlarının birleştirilmesi ile elde edilir. Kolon şeritleri arasında kalan döşeme parçası orta şerit olarak tanımlanır [4], (Şekil 2.1).

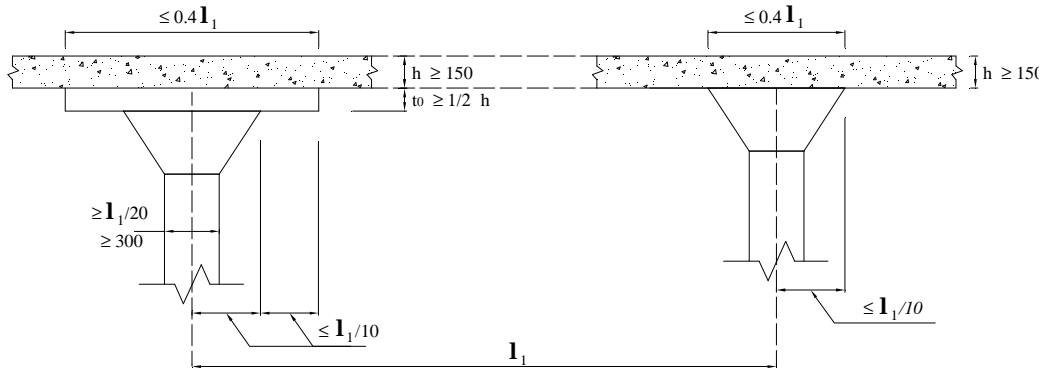


Şekil 2.1 Şerit Bilgisi

İki doğrultuda çalışan kirişsiz döşemelerin kalınlığı, aşağıda belirtilen değerden az olamaz.

$$h \geq \frac{l_1}{30} \text{ ve } h \geq 200\text{mm} \quad (2.1)$$

Kirişsiz döşeme kalınlığı, olabildiğince zımbalama donatısı gerektirmeyecek biçimde seçilmelidir. Kirişsiz döşemelerde plak ve kolonların moment aktaracak bağlantısını sağlamak için kolon kesitinin açıklık doğrultusundaki genişliği, aynı doğrultudaki eksen açıklığının $1/20$ 'sinden ve 300 mm'den az olamaz (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Kirişsiz Döşemelerle İlgili Koşullar

TS 500'deki konstrüktif kurallar çizelge 2.1'de özetlenmiştir [5].

Kirişsiz döşemede, dayanım ve kullanılabilirliğin sağlandığının kanıtlanması koşulu ile boşluk bırakılabilir. Döşemedeki boşluklar dikkate alınarak hesaplanan zımbalama dayanımı, öngörülen güvenliği sağlıyorsa aşağıdaki durumlarda eğilme için ayrıca kontrole gerek yoktur.

1. İki dik doğrultuda orta şeritlerin kesiştiği bölgede, gereken donatının yerleştirilebildiği durumda,

2. İki dik doğrultuda kolon şeritlerinin keşiştiği bđlgede, boşluğun en bđyđk boyutunun, kolon şerit genişliğinin $1/8$ `inden fazla olmadığı ve boşluklar nedeniyle yerleşmeyen donatının boşluk kenarına yerleştirilebileceği durumda.

Çizelge 2.1 TS 500`deki Kirişsiz Döşemelerle İlgili Koşullar

Büyüklik	Sembol	≥	≤	Sınır Değerler ve Açıklamalar
Döşeme Kalınlığı	h_f (h)	≥	180 mm	Tablasız ve başlıksız kirişsiz döşemeler
			$l_n/30$	
			140 mm	Tablalı Kirişsiz Döşemelerde
				$l_n/35$
			200 mm	Yapısal Çözümlemenin TS500`de verilen yaklaşık yöntemlerle yapılması
			$l_1/30$	
Kolonun Şerit Uzunluğu Doğrultusundaki Boyutu	A	≥	300 mm	
			Aynı doğrultudaki eksen açıklığının 1/20`si	
Tabla Kalınlığı	t_o	≥	0.5 h_f	
Her Bir Doğrultudaki Donatı Oranı	r_1 veya r_s	≥	0.0015	Her iki doğrultudaki donatı oranı bu koşulu sağlamalıdır
Her İki Doğrultudaki Donatı Oranları Toplamı	r_t	≥	0.0040	S220 için
			0.0035	S420 , S500 için
Kısa Doğrultuda Yerleş. Donatı Aralığı	S_s	≤	1.5 h_f ve 200 mm	
Uzun Doğrultuda Yerleş. Donatı Aralığı	S_1	≤	1.5 h_f ve 250 mm	
Tablanın Kolonun Her İki Taraf. Uzunluğu		≥	$4t_o$ ve $l_1/6$	
Toplam Tabla Genişliği ve Başlık Genişliği		≤	$0.4 l_1$	
Başlığın Kolonun Her İki Taraf. Uzunluğu		≤	$l_1/10$	

2.2 İki Doğrultuda Çalışan Kirişsiz Döşeme Çözümlerinde Kullanılan

Yaklaşık Yöntemler

Açıklıkların birbirinden fazla farklı olmadığı veya daha kesin hesaba gerek duyulmadığı durumlarda, yaklaşık yöntemler kullanılabilir. Kirişsiz döşemeler için kullanılan yaklaşık yöntemlerde öncelikle yöntemin kullanılma koşullarının tahkik edilmesi gerekmektedir. TS 500`de aktarılan yöntemler:

- a) Moment Katsayılar Yöntemi
- b) Eşdeğer Çerçeve Yöntemi`dir.

2.2.1 Moment Katsayıları Yöntemi

Moment katsayılar yöntemi ile, aşağıda sıralanan koşulların hepsini birden sağlayan kirişsiz döşemelerin hesabı bu yaklaşık yöntemle yapılabilir. Yöntem, yalnızca düşey yük çözümlemesi için geçerlidir.

- a) Her yönde en az üçer açıklık olmalıdır.
- b) Uzun kenarın kısa kenara oranı 2.0`den fazla olmamalıdır.
- c) Herhangi bir doğrultudaki komşu plakların açıklıkları arasındaki fark uzun açıklığın 1/3 ünden fazla olmamalıdır.
- d) Herhangi bir kolonunun çerçeve ekseninden dışmerkezliği, moment hesaplanan doğrultudaki açıklığın 1/10`undan fazla olmamalıdır.
- e) Hareketli yükün kalıcı yüke oranı 2.0`den fazla olmamalıdır.

2.2.1.1 Sistem, Kolon ve Orta Şeritlere Ayrılır

Kirişsiz döşemeler, donatı hesabı ve düzenlenmesi bakımından kolon şeridi ve orta şerit olarak iki bölgeye ayrılır (Şekil 2.1).

2.2.1.2 Toplam Statik Moment Hesaplanır

Kolon şeridi ve iki yarım orta şeridi kapsayan şerit için toplam statik moment (M_0) hesaplanır. Herhangi bir döşeme açıklığında pozitif açıklık ve ortalama negatif mesnet momentlerinin toplamı olan ve toplam statik moment olarak adlandırılan M_0 momenti bağıntı (2.3)'e göre hesaplanır.

$$M_0 = \frac{P_d l_2 l_n^2}{8} \quad (2.3)$$

Bağıntıda;

P_d = Yayılı hesap yükünü,

l_2 = Moment hesaplanan doğrultuya dik iki komşu açıklığın ortalamasını,

l_n = Hesap yapılan doğrultudaki kolon yüzünden kolon yüzüne olan serbest açıklığı göstermektedir. l_n hiçbir zaman “0.65 l_1 ” değerinden az olamaz.

Serbest açıklığın belirlenmesinde, döşemenin çokgen ya da daire kesitli kolonlara oturması durumunda bu kolonlar aynı alanlı kare kolon gibi kabul edilerek çözüme gidilebilir. Bu durumda serbest açıklık, dairesel kolonun yüzünden itibaren değil, kabul edilen kare kolonun yüzünden itibaren alınmak suretiyle belirlenmektedir.

2.2.1.3 Açıklık ve Mesnet Momentleri Belirlenir

Hesaplanan M_o momentinin açıklık ve mesnetlere paylaşılması verilen moment katsayıları ile yapılır. Bu momentin, katsayıların kullanarak dağıtılmasında, kenar açıklık ya da iç açıklık olması, kenar açıklığın dış mesnedin davranışı da önem kazanmaktadır.

M_o momentinin açıklık ve mesnetlere paylaşılması aşağıdaki ilkelere göre yapılır.

Döşemenin tamamının kolonlara oturması durumunda:

İç Açıklıklarda;

$$\text{Açıklık Momenti} = 0.35 M_o$$

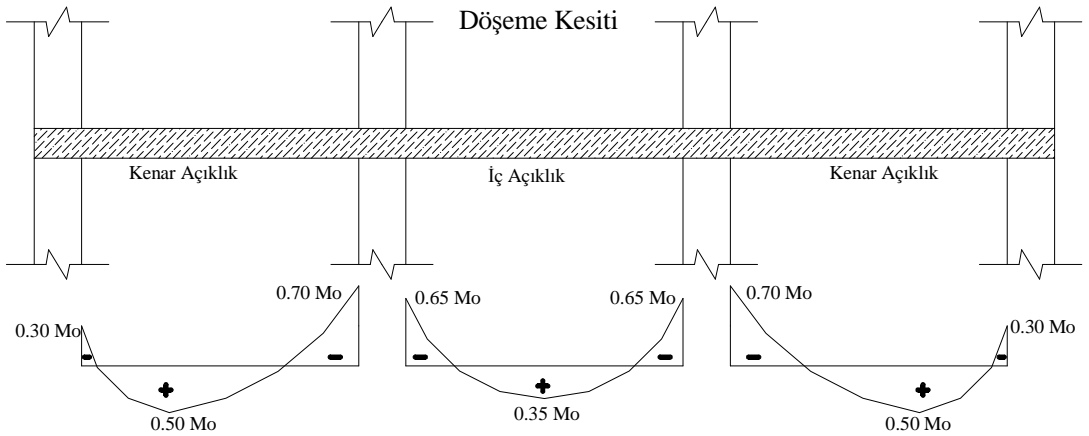
$$\text{Mesnet Momenti} = 0.65 M_o$$

Kenar Açıklıklarda;

$$\text{Dış Mesnet Momenti} = 0.30 M_o$$

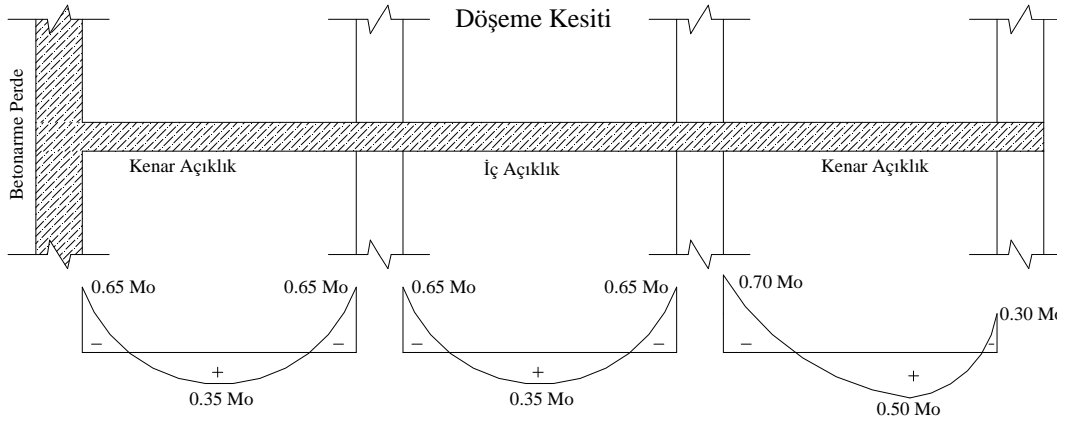
$$\text{İç Mesnet Momenti} = 0.70 M_o$$

$$\text{Açıklık Momenti} = 0.50 M_o$$



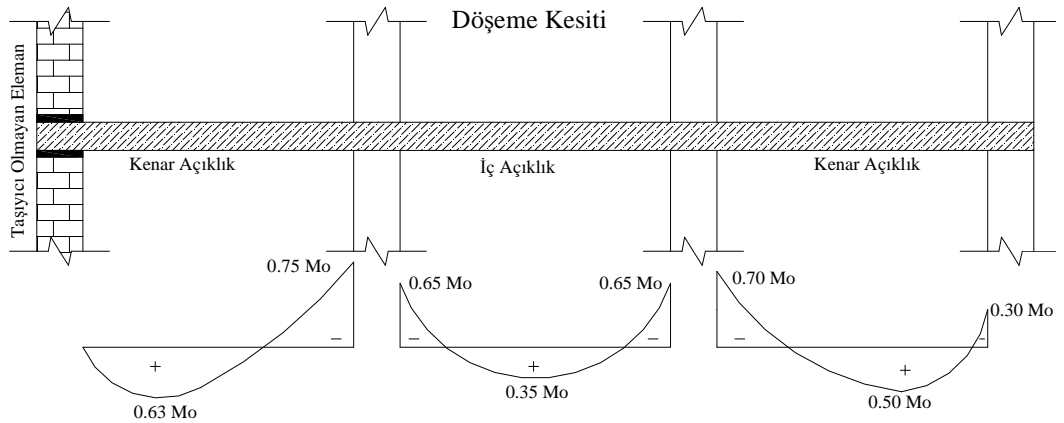
Şekil 2.3 Moment Katsayılar Yöntemine Göre Mesnet ve Açıklık Momentleri

Çözümleme yapılırken doğrultuya dik doğrultuda, perde duvar gibi elemanlar kullanılarak döşemenin dış mesnede ankastrelik sağlanıyorsa, o açıklığa ait mesnet momentleri $0.65M_o$, açıklık momentleri de $0.35M_o$ alınmalıdır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Moment Katsayılar Yöntemine Göre Sistemde Perde Duvar Elemanların Bulunması Durumunda Mesnet ve Açıklık Momentleri

Döşeme kenarının duvara oturması durumunda, döşemenin serbestçe dönebileceği kabul edildiğinden, moment katsayısı sıfır olacaktır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Döşeme Kenarının Taşıyıcı Olmayan Elemana Oturması Durumunda Mesnet ve Açıklık Momentleri

2.2.1.4 Momentlerin Şeritlere Dağıtılması

Hesaplanan momentlerin kolon ve orta şeride dağıtılması aşağıdaki gibi yapılmalıdır.

a) İç mesnetlerde, yukarıda hesaplanan toplam mesnet momentinin % 75'i kolon şeridine, % 25'i orta şeride aktarılmalıdır.

b) Açıklıkta, yukarıda hesaplanan toplam açıklık momentinin % 60'ı kolon şeridine, % 40'ı orta şeride aktarılmalıdır.

c) Kenar mesnetlerde, çözüm yapılan doğrultuya dik kenar kirişi yoksa, yukarıda hesaplanan toplam kenar mesnet momentinin tümü kolon şeridine aktarılmalıdır.

d) Kenar giriş varsa, kolon şeridine toplam mesnet momentinin % 75'i, orta şeride % 25'i aktarılmalıdır.

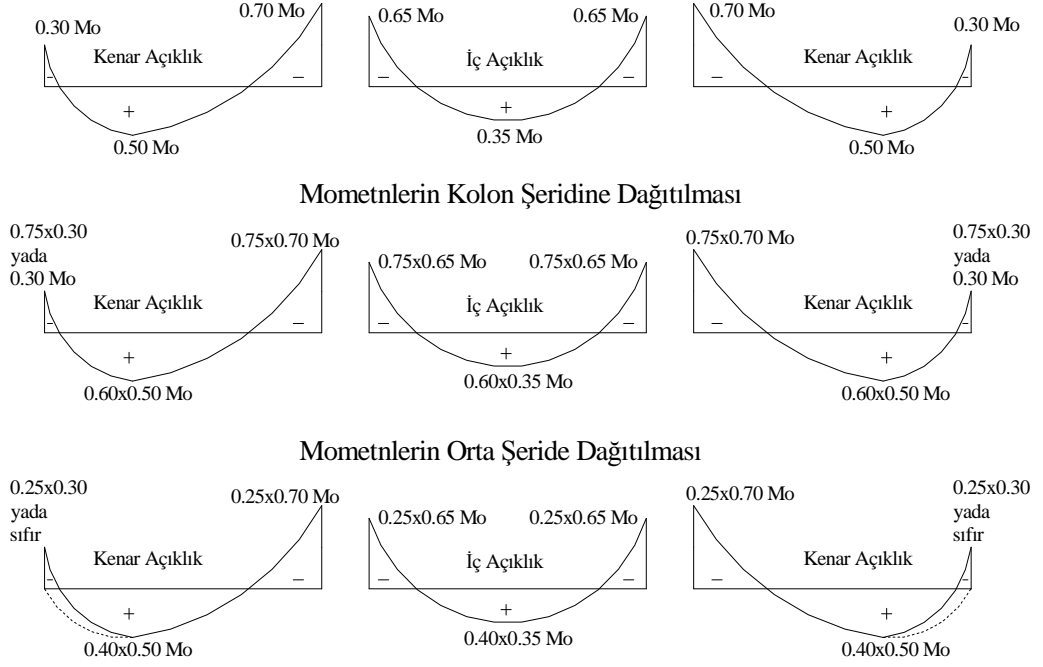
e) Yukarıdaki yöntem kullanılarak bulunan kolon ve orta şeride ait mesnet ve açıklık momentlerinde en çok % ±10 oranında değişiklik yapılabilir. Ancak yapılan bu değişiklikler sonucunda döşeme plağının toplam statik momentinde hiçbir değişikliğe neden olunmamalıdır.

f) Bir döküm sistemlerde döşeme mesnedini oluşturan kolon ve duvarlar, döşeme üzerine etkiyen tasarım yüklerinden oluşacak momentlere karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Bu momentler zımbalama hesabında göz önüne alınmalıdır. İç mesnetlerde daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, aşağıda belirlenen moment, o mesnetteki alt ve üst kolonlar arasında eğilme rijitliklerine göre paylaştırılmalıdır.

$$M = 0.07[(p_g + 0.5p_q)I_2I_n^2 - p_g^1I_2^1(I_n^1)^2] \quad (2.4)$$

Bu denklemde p_g^1 , I_2^1 , I_n^1 komşu açıklıklarda kısa olana ait değerleri göstermektedir [4].

Kolon ve Orta Şeride Dağıtılacak Mesnet ve Açıklık Momentleri



Şekil 2.6 Kolon ve Orta Şeritlerin Momentlerinin Hesaplanması

2.2.2 Eşdeğer Çerçeve Yöntemi

Yöntemle; döşeme, kolon, perde varsa kirişlerden oluşan sistemin eğilme ve burulma rijitliklerini dikkate alan üç boyutlu yapısal çözümleme, iki boyutlu çerçeve çözümlemesine indirgenir. Yapı; her iki yönünde kolonlar, perdeler ve döşeme elemanlarıyla oluşturulan eşdeğer çerçevelere ayrılır. Mesnetlerin planda iç ya da dış kısımda bulunmasına göre iç ve dış eşdeğer çerçeveler ortaya çıkmaktadır.

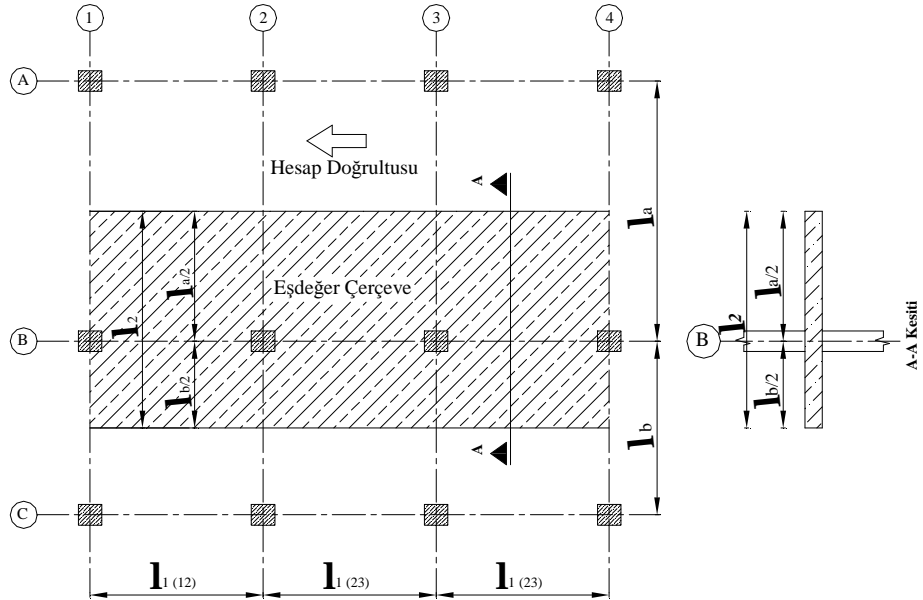
Bu yöntem birçok ülke yönetmeliğinde olduğu gibi TS 500`de de yer almaktadır. Kirişsiz döşemelerde Moment Katsayılar Yöntemi`nin koşullarının herhangi birinin sağlamaması ve daha kapsamlı bir bilgisayar çözümüne gidilmediği durumlarda kullanılması zorunlu olabilir.

Yatay eğilme elemanının genişliği olarak, çerçeveye dik yöndeki iki komşu döşemenin açıklık ortalarındaki uzaklık alınmalıdır (Şekil 2.7).

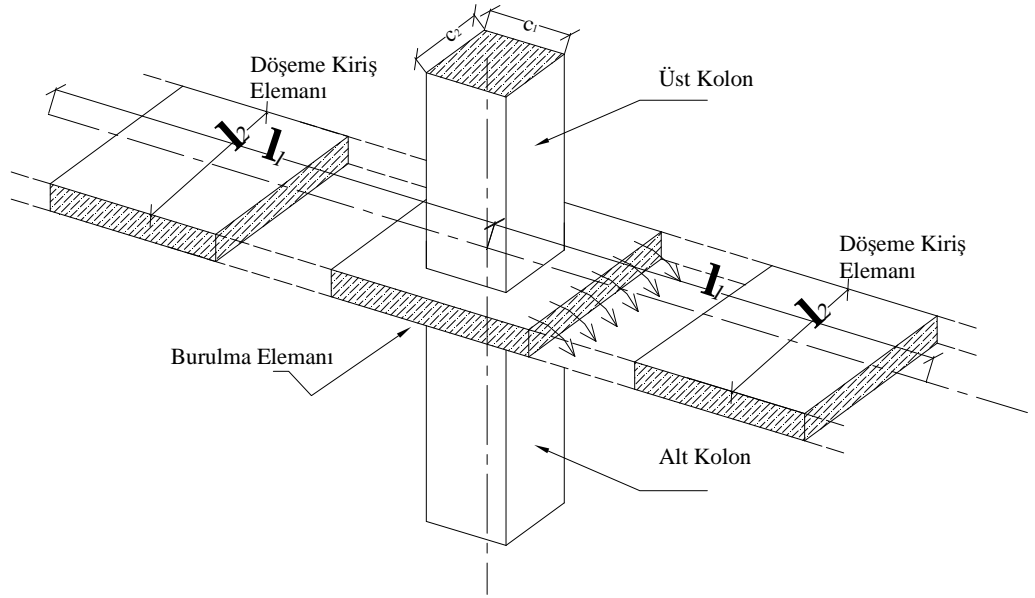
Tanımlanan eşdeğer çerçeve, öngörülen tüm yükleri o yönde taşıdığı varsayılarak hesap yapılacaktır. Kolon ve döşeme rijitliklerinin hesabında kolon başlığı, tabla gibi nedenlerle artı eylemsizlik momentleri hesaba katılmalıdır.

Düşey yük altında çözümlenmesi yapılan katta kolonların uzak uçları ankastre varsayılır. Ayrıca çerçeve analizi yapılırken tüm katlar dikkate alınarak da çözüm yapılabilir.

Eşdeğer çerçeve; kolonlar, döşeme-kiriş elemanı ve burulma elemanı olmak üzere üç farklı elemandan oluşmaktadır (Şekil 2.8). Burulma elemanı olarak adlandırılan eşdeğer çerçeveye dik yönde kolona saplanan elemanın burulma rijitliği de dikkate alınmaktadır. Bu özellik, eşdeğer çerçeve yöntemini birçok yönetime göre üstün kılmaktadır. Moment, kritik kesitlere elastik hesaplarla dağıtılmaktadır. Döşeme boyutları ve yüklerin büyüklükleriyle ilgili herhangi bir sınırlama yoktur.



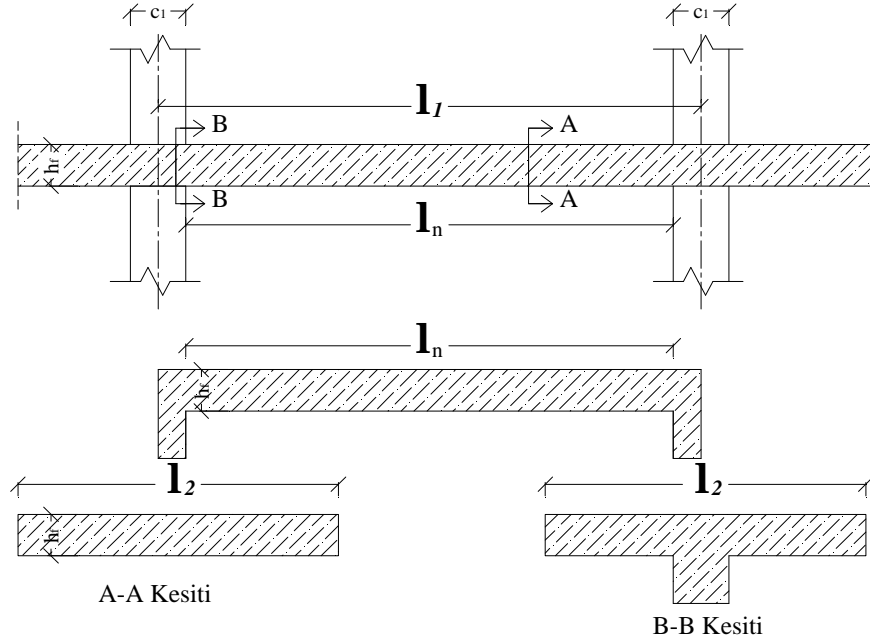
Şekil 2.7 Kolon ve Orta Şeritlerinin Belirlenmesi



Şekil 2.8 Eşdeğer Çerçeve Elemanları

Burada I_2 ; “Moment Katsayılar Yöntemindeki” gibi belirlenmekte ve bu genişlik, kolon şeridi ile iki yarım orta şeridi kapsamaktadır. Kolon şeridi belirlenmesinde iki doğrultudaki açıklıklardan küçük olanı etkili olur ve şerit genişliği buna göre belirlenir. Kolon şeridi döşeme parçalarını varsa kirişleri kapsamaktadır. Orta şerit ise, kolon şeritleri arasında kalan döşeme kısımlarını kapsamaktadır.

Döşeme elemanın eylemsizlik momenti hesaplanırken donatı dikkate alınmadan brüt beton kesitine göre hesap yapılacaktır.



Şekil 2.9 Döşeme-Kiriş Elemanı

Şekil 2.9`daki A-A Kesiti dikdörtgen bir kesit olup eylemsizlik momenti;

$$I = \frac{l_2 \cdot h_f^3}{12} \quad (2.5)$$

B-B Kesiti`nde ise mesnet yüzünden mesnet ortasına kadar olan bölümde bağıntı (2.6)`ya bölünerek artırılmaktadır

$$\left(1 - \frac{c_2}{l_2}\right)^2 \quad (2.6)$$

Burada h_f ; döşeme kiriş elemanın yüksekliği, c_2 ; hesap doğrultusuna dik yönde kolon boyutu, l_2 ; döşeme-kiriş elemanının genişliği olarak adlandırılır. Bunun amacı, kolon yüzünden kolon ortasına kadar olan kısımda döşeme kiriş elemanın rijitliğindeki artışı dikkate almaktır.

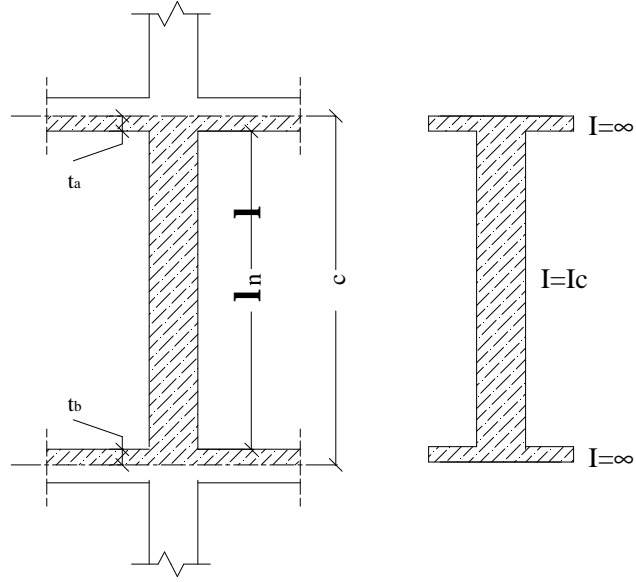
Eşdeğer Çerçeve Yönteminde; kolon, kolon başlığı ve perde mesnet olarak kabul edilir, kirişler mesnet olarak kabul edilmez. Döşeme-kiriş elemanı boyunca atalet momenti sabit olmayacağından düzgün prizmatik kirişler için verilen dağıtma katsayıları ve ankastrelik momentleri kullanılmaz.

Kolon parçası yukarıda döşeme veya varsa başlık alt yüzeyine kadar olan kolon parçasının I_c atalet momenti kolon brüt beton kesitine göre hesaplanmalıdır. Eşdeğer çerçeve yönteminde eylemsizlik momentinin döşeme kalınlığının ortasından döşeme yüzüne kadar çok büyük olduğu, diğer bir deyişle sonsuz olduğu kabul edilir. Atalet momentinin, kolon eksenine boyunca değişimi hesaba katılır. Başlıklı kolonlarda atalet momenti hesabında, kolonun iki uç değeri alınır ve ara değerlerin doğrusal değiştiği kabul edilir. Kolon eylemsizlik momenti I_c ; bağıntı (2.7) ile hesaplanır.

$$I_c = \frac{c_2 \cdot c_1^3}{12} \quad (2.7)$$

Bağıntıda c_2 ; hesap yapılan doğrultuya dik kolon boyutu, c_1 ; hesap yapılan doğrultudaki kolon boyutudur.

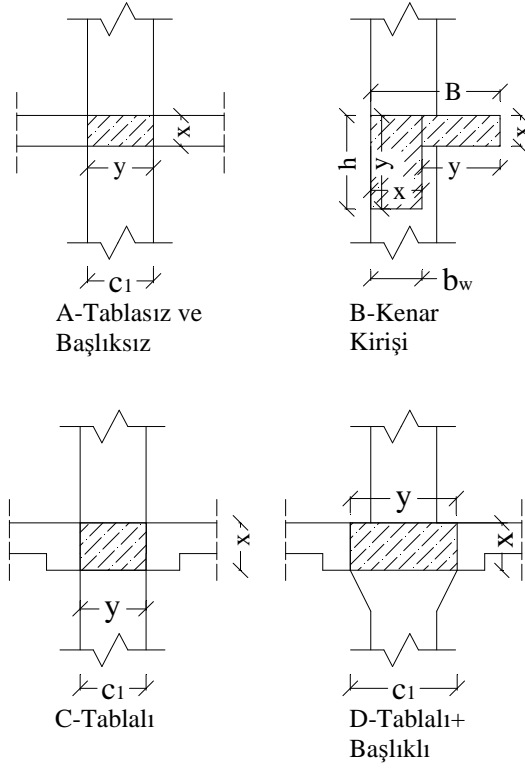
Eşdeğer kolon rijitliğine etkileyen bir diğer faktör burulma elemanıdır. Çerçeveye dik yönde saplanan elemanın rijitliği de yöntemle dikkate alınmaktadır. Kirişsiz döşemelerde bu eleman kolon ya da varsa başlık genişliğinde bir döşeme parçası olarak alınırken kenar kirişi olması durumunda tablalı kesit olarak alınmaktadır.



Şekil 2.10 Kolonların Eylemsizlik Momenti

Kenar kirişinin kullanılması durumunda tablalı kesit olarak alınan burulma elemanında; gövdesi dışına taşan her bir yöndeki tabla genişliği $(4h_f)$ 'den ve $(h-h_f)$ 'den küçük olmalıdır.

“C burulma katsayısı” bağıntı (2.8) ile ve Şekil 2.11'e göre hesaplanmaktadır. Burulma katsayısına bağlı olarak da bir kol için burulma rijitliği bağıntı (2.9) ile hesaplanabilir. Bağıntıda “ E_c ” betonun elastisite modülüdür.



Şekil 2.11 Kirişsiz Döşemede Burulma Elemanı

$$C = \sum \left(1 - 0.6 \frac{x}{y}\right) \left(\frac{x^3 y}{3}\right) \quad (2.8)$$

$$K_t / E_c = 9C / \left[\mathbf{I} (1 - c_2 / \mathbf{I}_2)^2 \right] \quad (2.9)$$

Eşdeğer kolon, sistem içindeki kolonlarla, çerçeve genişliğindeki kolonlara saptanan burulma elemanlarından oluşur. Doğal olarak bu elemanın rijitliği kolon ve kolona saptanan burulma elemanın rijitliği dikkate alınarak bulunur. Eşdeğer kolon rijitliği K_{ec} ; bağıntı (2.10) ile hesaplanmaktadır. K_c ; kolon eğilme rijitliği, K_t ; çerçeveye dik doğrultuda saptanan burulma elemanlarının rijitlikleri olarak adlandırılır.

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{\sum K_t} \quad (2.10)$$

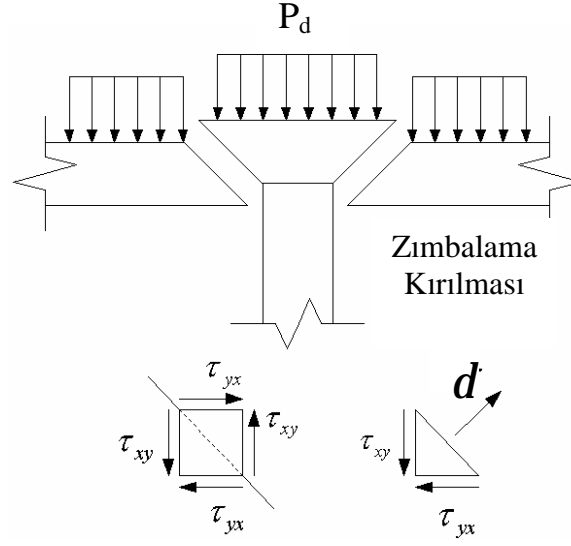
Çerçeve çözümlenmesinden bulunan momentler Çizelge 2.2`ye göre kolon ve orta şeritlere dağılır. Bu momentler, her açıklığa ait mesnet ve açıklık momentlerinin toplamı sabit kalmak koşuluyla en çok % ±10 oranında değişebilir.

Çizelge 2.2 Eşdeğer Çerçeve Yöntemi İçin Dağıtma Katsayıları

Şerit		İç Mesnet Momenti	Açıklık Momenti	Dış Mesnet Momenti	
				Kenar Kirişsiz	Kenar Kirişli
Kolon Şeridi		0.75	0.60	0.80	0.60
Orta Şeridi		0.25	0.40	0.20	0.40
Kenar Kiriş veya Duvara Paralel Yarım Kolon Şeridi	Kenar Kirişsiz	0.40	0.30	0.40	0.30
	Kenar Kirişli	0.20	0.15	0.20	0.15

2.3 Kirişsiz Döşemelerde Zımbalama Tahkiki

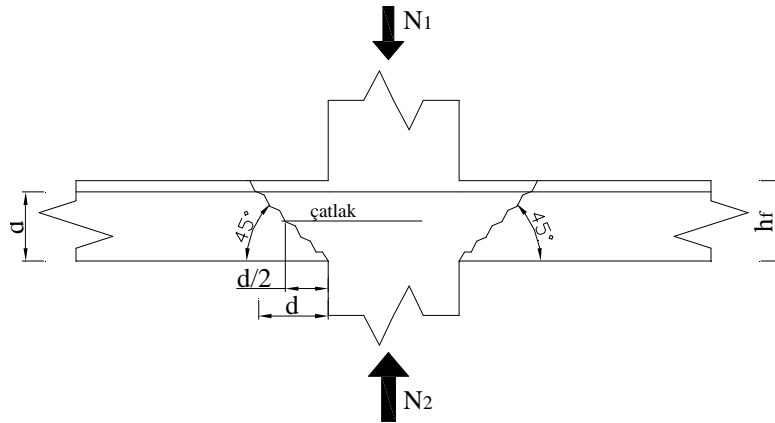
Kirişsiz döşemelerin zayıf karnı zımbalama, kolon çevresinde oluşan kayma gerilmeleri dolayısıyla asal çekme gerilmeleri betonun çekme dayanımını aşabilir (Şekil 2.12). Bu da son derece ani ve gevrek olan zımbalama kırılması ile yapının birkaç saniye içinde yerle bir olmasına neden olur.



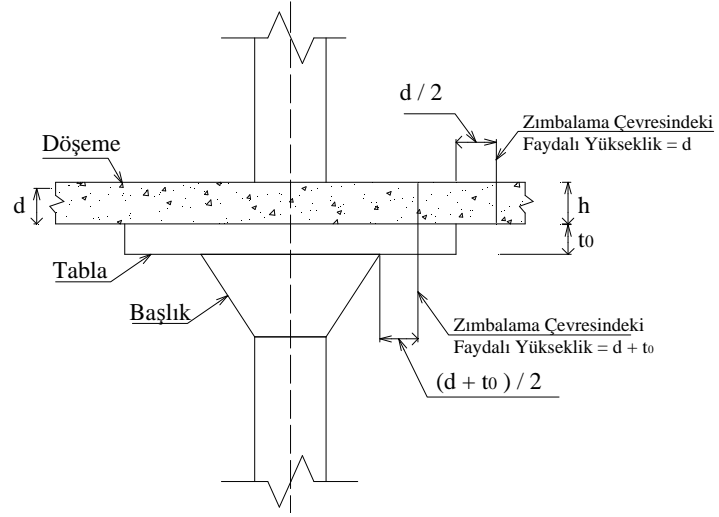
Şekil 2.12 Zımbalama

2.3.1 Zımbalama Çevresinin Belirlenmesi

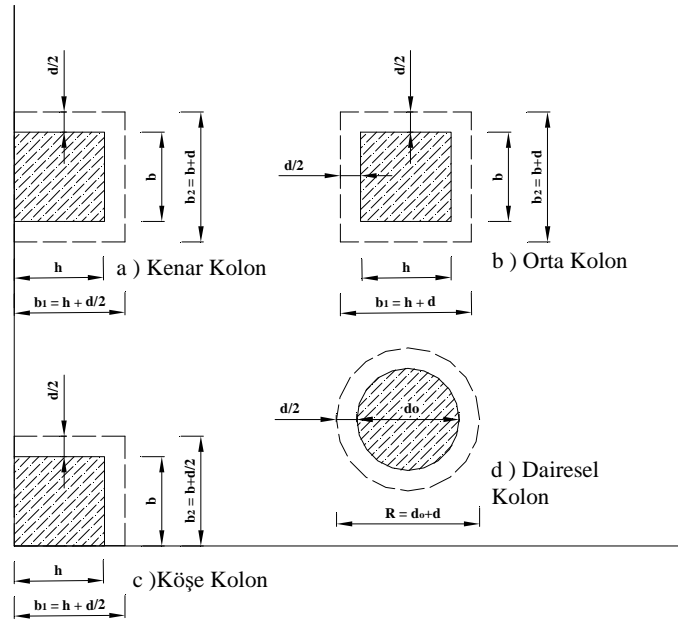
Zımbalama çevresi olarak adlandırılan ve “ U_p ” ile gösterilen izafi çevrenin, kolon yüzünden itibaren 45° ’lik çatlakın yatay bileşeninin yarısından geçtiği kabul edilmektedir (Şekil 2.13). Bu durumda zımbalama çevresinin belirlenmesi için kolon yüzünden itibaren $d/2$ kadar mesafenin dikkate alınması yeterli olacaktır (Şekil 2.14).



Şekil 2.13 Zımbalama Çevresinin Belirlenmesi



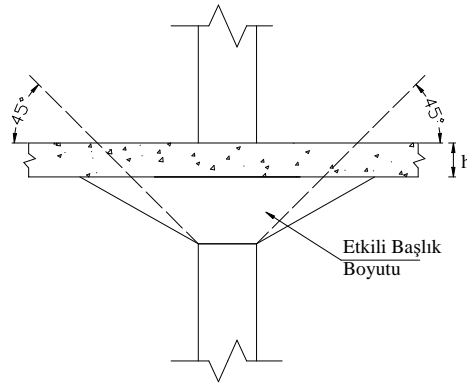
Şekil 2.14 Başlıklı Tablalı Döşemede Zımbalama Çevresi



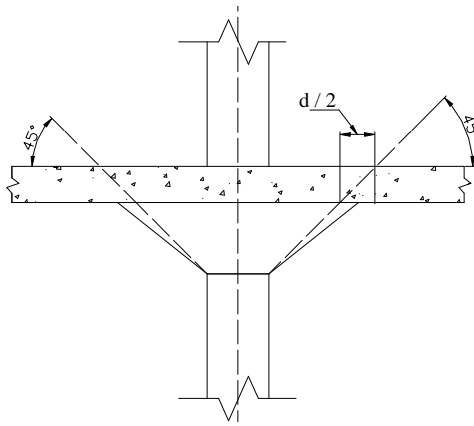
Şekil 2.15 Planda Zımbalama Çevresi

Şekil 2.15`de kolonun geometrisi ve plan içindeki konumuna göre zımbalama çevresi verilmiştir. b_1 , b_2 zımbalama çevresinin eğilme doğrultusundaki boyutu olarak tanımlanır.

Kirişsiz döşemenin tablalı olması durumunda, zımbalama çevresi belirlenirken $d/2$ mesafe kolon boyutlarına değil tabla boyutlarına eklenmektedir. Başlıklı olması durumunda etkin başlık tanımlamakta ve $d/2$ mesafesi etkin başlık boyutuna eklenmektedir. Eğer başlık eğimi 45° den az ise, hesapta etkin başlık olarak kolon yüzünden başlayan ve 45° lik eğimle tanımlanan bölüm dikkate alınmaktadır (Şekil 2.16). Bu durumda $d/2$ lik mesafe, 45° lik çizginin döşeme alt yüzeyini kestiği noktadan itibaren alınmaktadır (Şekil 2.17).



Şekil 2.16 Etkili Başlık Boyutu



Şekil 2.17 Başlıklı Kolonlarda Zımbalama Boyutu

2.3.2 Zımbalama Çevresi İçinde Kalan Döşeme Yükünün Hesaplanması

Zımbalama çevresinin kapsadığı alana etkiyen döşeme tasarım yükünün bileşkesi, dikdörtgen ve dairesel kolon yük alanları için 2.12 ve 2.13 bağıntılarıyla hesaplanmalıdır .

$$F_a = P_d \cdot b_1 \cdot b_2 \quad (2.11)$$

$$F_a = P_d \cdot \pi(d_0 + d)/4 \quad (2.12)$$

Bağıntıda P_d ; tasarım yükü, b_1 ve b_2 ; zımbalama kenar uzunlukları, d_0 ; dairesel kolon boyutu, d ; faydalı yüksekliktir.

2.3.3 Tasarım Eksen Yükünün Belirlenmesi

Hesap yapılan zımbalama bölgesindeki kolona o kat döşemesinden aktarılan tasarım eksen yükü bağıntı (2.13) ile hesaplanır. Burada N_2 ve N_1 sırasıyla alt ve üst kolonların eksen yüklerini göstermektedir .

$$F_d = N_2 - N_1 \quad (2.13)$$

Kolon yüklerinin bilinmemesi halinde ise, döşeme hesap yükünü ve döşemeden kolona yük aktarımında etkili olan alınarak bağıntı (2.14) ile tasarım eksen yükü belirlenir. Burada l_1 ve l_2 kolonun yük aldığı alanın boyutlarıdır.

$$F_d = P_d \cdot l_1 \cdot l_2 \quad (2.14)$$

2.3.4 Zımbalama Tasarım Kuvvetinin Belirlenmesi

Zımbalama tasarım kuvveti V_{pd} ; tasarım eksen yükünden zımbalama çevresi yükünün çıkarılmasıyla elde edilir.

$$V_{pd} = F_d - F_a \quad (2.15)$$

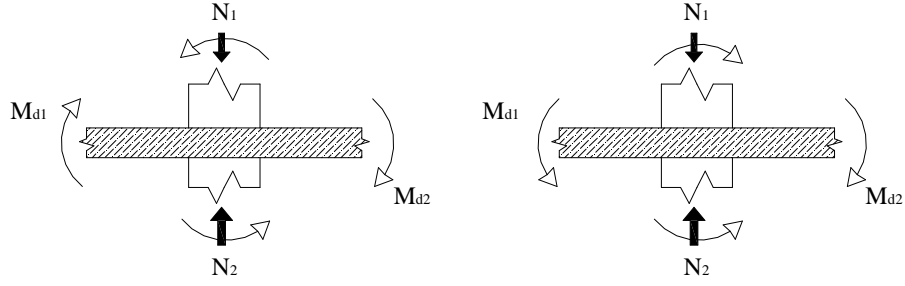
2.3.5 g Katsayısının Belirlenmesi

Bu katsayı eğilme etkisini yansıtan ve zımbalama dayanımını azaltan bir katsayı olup 1`den büyük olmaz ($\gamma \leq 1$).

Eksenel yükleme durumunda $\gamma=1$ olarak alınır. Fakat kolonların tasarımında minimum bir dışmerkezliğin zorunlu tutulduğundan kolonların eksenel yüke göre tasarımına izin verilemez. Kolonlarda minimum bir moment mutlaka dikkate alınacaktır. Ancak, oluşan momentin ihmal edilecek boyutta olması durumunda $\gamma=1$ olarak alınabilir.

Dışmerkezli yükleme durumunda γ katsayısının hesabı için önce dışmerkezliklerin (e ya da e_x ve/veya e_y) belirlenmesi gerekmektedir. Dışmerkezliklerin hesabında bulunacak bağıntılar, moment yönlerine bağlı olarak görülmektedir. Şekil 2.18`de görüldüğü gibi “e” herhangi bir doğrultu için hesaplanmaktadır. Dolayısıyla x ve y doğrultusundaki momentlere bağlı olarak e_x ve/veya e_y dışmerkezlikleri belirlenecektir. Şekildeki M_{d1} ve M_{d2} kolon yüzündeki döşeme momentlerini göstermektedir. Bu, TS 500`de hesaplanan kolon şerit momentleridir. Bu durumda $(M_{d1} + M_{d2})$ ve $(M_{d1} - M_{d2})$ momentleri, döşemenin dengelenmemiş eğilme momentleri olmaktadır. İç mesnetlerde daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda bağıntı (2.4) ile belirlenen momentin o mesnetteki alt ve üst kolonlar arasında eğilme rijitliklerine göre paylaşılmasını öngörmektedir.

Dolayısıyla dışmerkezlilik hesabında bu dengelenmemiş momentin % 40'ı döşemeden kolona moment aktarımında oluşan burulma momenti olarak kabul edilmekte ve dışmerkezlilik hesabında kullanılabilir .



Şekil 2.18 Moment Yönlerine Göre Dışmerkezlilik

$$e = \frac{0.4 (Md_1 + Md_2)}{N_2 - N_1} \quad e = \frac{0.4 (Md_1 - Md_2)}{N_2 - N_1} \quad (2.16)$$

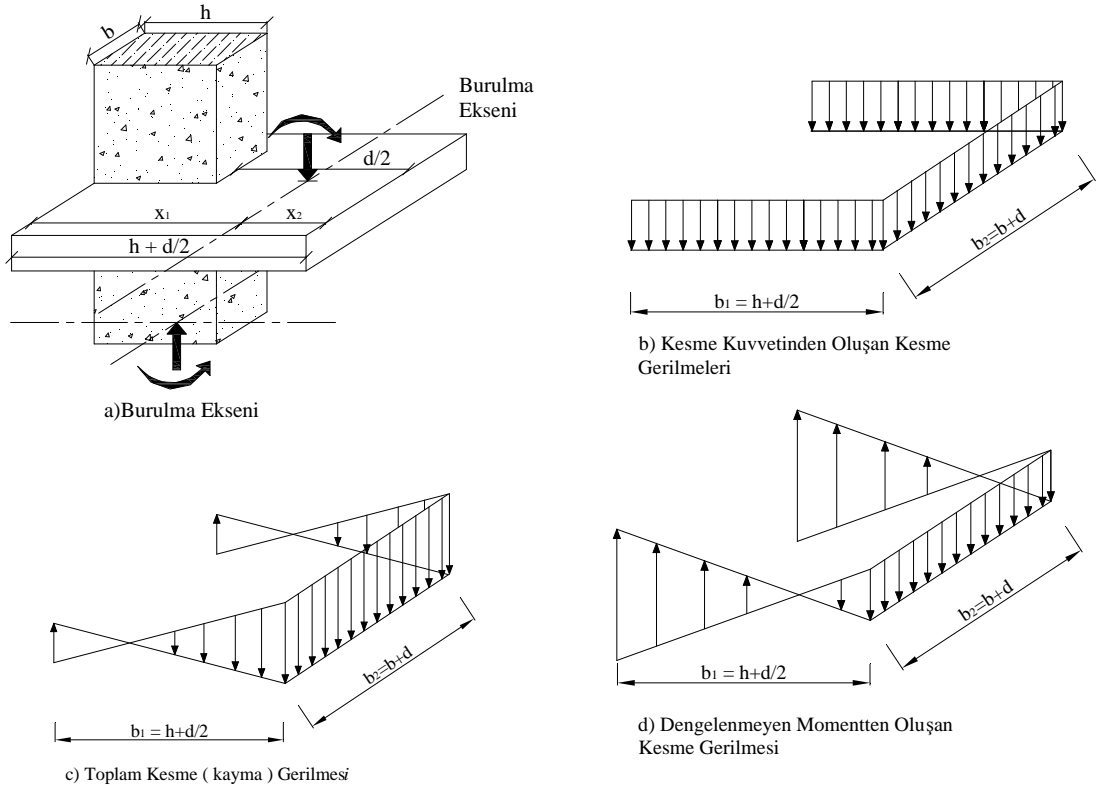
Dışmerkezliliklerin belirlenmesinden sonra γ katsayısı, döşeme kenarından ya da köşesinde olmayan dikdörtgen yük alanları veya kolonlar için bağıntı (2.17), dairesel yük alanları veya kolonları için bağıntı (2.18) kullanılır.

$$\gamma = \frac{1}{1 + 1.5 \frac{e_x + e_y}{\sqrt{b_1 \cdot b_2}}} \quad (2.17)$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{2e}{d_o + d}} \quad (2.18)$$

Kenar ya da köşelerde olan kolonlar için γ katsayısının belirlenmesi, yukarıda belirtilen orta kolona göre daha zor olmaktadır. Orta kolonların dışındaki kolonlar

için γ katsayısının belirlenmesine yardımcı olması amacıyla, kesme kuvveti ve dengelenmemiş eğilme momenti etkisindeki kenar kolunu için zımbalama çevresinde oluşan kesme gerilmeleri Şekil 2.19`da görülmektedir.



Şekil 2.19 Kenar Kolonda Oluşan Kayma Gerilmeleri

x_2 mesafesi:

$$x_2 = \frac{b_1^2}{(2b_1 + b_2)} \quad (2.19)$$

Zımbalama yüzeyi ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet momenti:

$$J_c = \left[\frac{2b_1^3}{3} - (2b_1 + b_2) \cdot x_2^2 \right] d + \frac{b_1 d^3}{6} \quad (2.20)$$

Bu durumda maksimum ve minimum kesme gerilmeleri:

$$\tau_{\max} = \frac{V_d}{A_c} + \frac{(1 - M_d) \cdot x_1}{J_c} \quad \tau_{\min} = \frac{V_d}{A_c} - \frac{(1 - M_d) \cdot x_1}{J_c} \quad (2.21)$$

Zımbalama çevresi içinde kalan alanın dayanım momenti:

$$W_m = \frac{J_c}{x_2} \quad (2.22)$$

Kenar kolonlarda ise γ katsayısı:

$$\eta = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{b_2}{b_1}}}, \quad b_2 \geq 0.7 \cdot b_1 \text{ de geçerlidir.} \quad (2.23)$$

$$\gamma = \frac{1}{1 + \eta \frac{e}{W_m} U_p \cdot d} \quad (2.24)$$

2.3.6 Zımbalama Dayanımının Belirlenmesi ve Tahkik

Zımbalama dayanımı, bağıntı (2.25) ile hesaplanır. Burada d ; döşeme faydalı yükseklik, f_{ctd} ; betonun tasarım çekme dayanımıdır.

$$V_{pr} = \gamma \cdot f_{ctd} \cdot U_p \cdot d \quad (2.25)$$

Tasarım zımbalama kuvveti “ V_{pd} ”, zımbalama dayanımından “ V_{pr} ” küçük olmalıdır.

$$V_{pr} \geq V_{pd} \quad (2.26)$$

Bu denetim sağlanmadığı durumlarda ise; döşeme kalınlığını artırmak, kolon boyutlarını büyütmek, beton kalitesini arttırmak, zımbalama donatısı kullanmak yoluyla zımbalama dayanımı artırılır. Genelde zımbalama dayanımı yeterli gelecek şekilde döşeme kalınlığı seçmek doğru çözümdür. TS 500`de zımbalama donatısıyla döşemenin zımbalama dayanımını arttırmaktan mümkün olduğunca kaçınılması önerilmektedir. Zımbalama donatısı kullanılarak dayanım hesap sonucu bulunan değer 1.5 katını aşamaz ve zımbalama donatısının etkili olabilmesi için döşeme kalınlığının en az 250 mm olması gerekmektedir. Zımbalama donatısının zorunlu olduğu durumda zımbalama donatısının % 50 etkili düşüncesiyle f_{yd} yerine $0.5f_{yd}$ alınması önerilmektedir.

2.4 ACI 318-02`de Kirişsiz Döşemeler

Amerikan Betonarme Standardı olan ACI 318-02`de anlatılan yaklaşık yöntemler TS 500`e benzerlik göstermektedir.

Kirişsiz döşemelerde donatı koşulları Şekil 2.20`de gösterilen minimum şartları sağlamalıdır. Komşu açıklıkların eşit olmadığı yerlerde, mesnet yüzündeki negatif moment uzun açıklık doğrultusunda mesnet donatısı yerleştirilmesi ile karşılanır. Açıklık ya da döşeme yüksekliğinin 45° yada daha az açıyla pilye kırımına uygun olduğu durumlarda pilye kullanılabilir. Yönetmeliğe göre yatay yük hesaplamaları sonucunda oluşacak donatı çap adet ve boyları analiz sonucu ile belirlenir. Fakat bu değer Şekil 2.20`dekinden az olamaz. Kolon şeritlerindeki alt

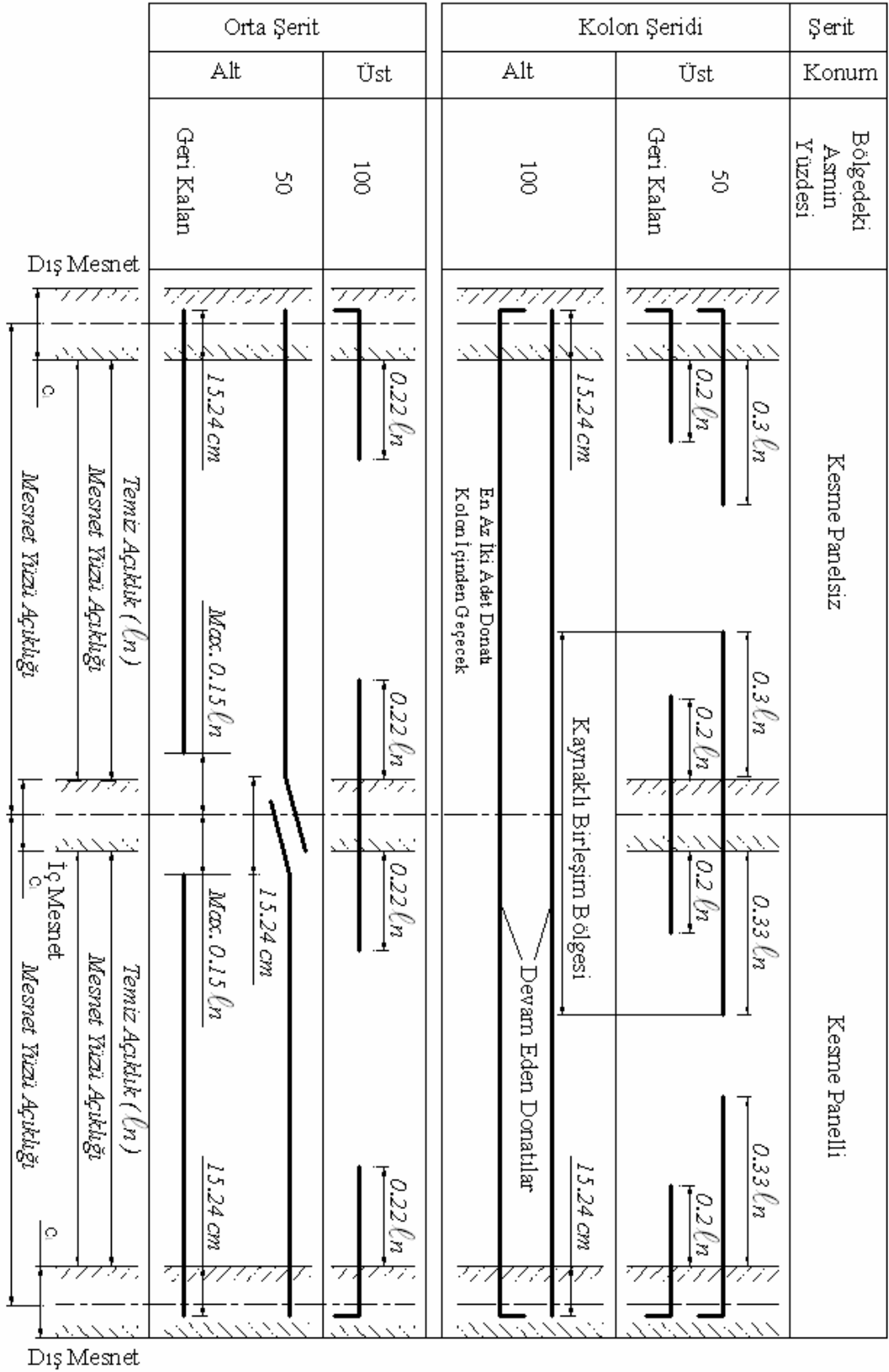
donatıyı kaynaklı birleşim yapılması önerilir. Her bir doğrultudaki kolon şeridi alt donatılarının en az ikisi kolonun içinden geçmeli ve dış mesnede bindirilmelidir.

1989`da pilye kullanma zorunluluğu kaldırılmıştır. Pilye kullanımının vazgeçilmesinin nedeni, pilyelerin daha seyrek kullanılması ve döşemeye yerleştirilmesinin zor olmasıdır. Ancak Şekil 2.20`deki kurallara uyulduğu takdirde pilye kullanılabilir.

Kolon şeridinde, döşeme ile kolonun birleştiği bölgede, döşeme alt donatısı devam ettiği durumlarda bu kolon çevresinde belirgin bir kapasite artmasına neden olur. Zımbalama kırılmasına karşı 2002 kurallarına göre mekanik ve kaynaklı birleşimler belirgin bir şekilde alternatif metotlarla birlikte tanımlanmıştır.

1992 basımında ise yönetmelik, iki yönlü kirişsiz döşemeler için zımbalama kırılması sonucunda mesnetteki hasarlara karşı mesnetteki çeliğin bir bütünlük sağlaması gerekliliğini getirmiştir.

Eğer döşemenin kolonla mesnetlendiği bölgede yeterli alan var ise kenetlenmiş alt donatılar zımbalama noktalarının altından ve kolon boyunca geçebilir. Zımbalama noktasının altındaki açıklığın yetersiz olduğu yerlerde alt donatılar zımbalamanın kritik olduğu mesnet bölgesinde ya da etrafından maşon tutturularak geçirilir [14].



Şekil 2.20 Kirişsiz Döşemelerde Minimum Donatı Koşulları

2.4.1 Doğrudan Dizayn Metodu

Doğrudan dizayn metodu; döşemeye momentlerin dağılımını ve kiriş kesitlerinde güvenlik şartlarının dağıtılması ile aynı zamanda en fazla kullanılabilirlik elde etmeyi sağlayan kurallar topluluğu içerir. Üç temel adım aşağıdaki gibi sıralanır.

1. Toplam etkiyen statik momentinin tayini
2. Toplam etkiyen statik momentinin negatif ve pozitif momentlere dağılması
3. Negatif ve pozitif etkiyen momentlerin kolon ve orta şerit ile kirişlere dağılımı

Doğrudan dizayn metodu; kirişli ve kirişsiz döşemelerin momentlerinin tayini ve yapım prosedürleri ile döşeme sistemlerinin ek yükler altında performansını belirlemek için geliştirilmiştir. Sonuç olarak döşeme sistemleri bu bölümde bulunan en uygun sınırlamalar dahilinde doğrudan dizayn metodu ile hesaplanır.

ACI dahilinde doğrudan dizayn metodu kullanılabilmesi için aşağıda verilen koşullara uyulması gerekmektedir.

- a) Her doğrultuda en az 3 açıklık olmalıdır.
- b) Plaklar dikdörtgen şekle sahip olmalı ve mesnetlerin ortasından uzun açıklığın kısa açıklığa oranı 2`den fazla olmamalı.
- c) Her doğrultudaki mesnet ortasından mesnet ortasına ardışık uzunluğu; uzun açıklığın üçte birinden fazla olamaz.
- d) Kolonların kendi merkez doğrultularından sapmasına maksimum % 10 izin verilebilir.
- e) Tüm yükler plak düzlemine dik doğrultuda, plağa üniform olarak yayılacak ve hareketli yükler, ölü yüklerin iki katını geçmeyecektir.
- f) Kirişli plaklarda bütün kenar mesnetler arasında, iki dik doğrultudaki kirişlerin relatif rijitliği bağıntı (2.27)`de 0.2 ile 0.5 arasında olmalıdır [13].

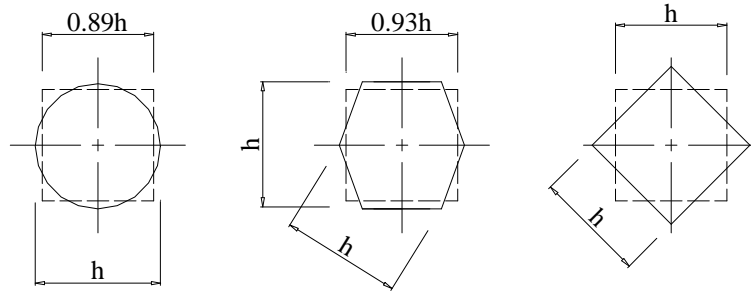
$$\frac{\alpha_1 \mathbf{I}_2^2}{\alpha_2 \mathbf{I}_1^2} \quad (2.27)$$

2.4.1.1 Bir Açıklığa Etkiyen Toplam Statik Momentler

Bir açıklığa etkiyen toplam statik momentler; bir orta ve iki yarım şeritten oluşan kısım için hesaplanır. Her bir doğrultuda hesaplanan pozitif ve ortalama negatif momentlerinin mutlak olarak toplamı aşağıdaki değerden az olamaz.

$$M_0 = \frac{w_u \cdot \mathbf{I}_2 \cdot \mathbf{I}_n^2}{8} \quad (2.28)$$

Açıklıkların enine uzunlukları \mathbf{I}_2 mesnet merkez hattının her bir tarafında bitişik enine kirişlerin ortalaması alınabilir. \mathbf{I}_n serbest açıklığı, kolon yüzünden kolon yüzüne ve konsoldan, perde diğer konsol veya perde yüzüne uzatılabilir. \mathbf{I}_n , $0.65 \mathbf{I}_1$ 'den düşük olamaz. Dairesel ve düzgün poligon kolonlarda mesnetlerine kare gibi mesnetlendiği kabul edilerek aynı kesit alanında işlemler yapılabilir (Şekil 2.21).



Şekil 2.21 Dairesel ve Düzgün Plaklar İçin Kare Alınan Kesitler

2.4.1.2 Negatif ve Pozitif Momentlerin Bulunması

Bir açıklıkta, toplam statik moment M_o , aşağıdaki gibi dağıtılmıştır.

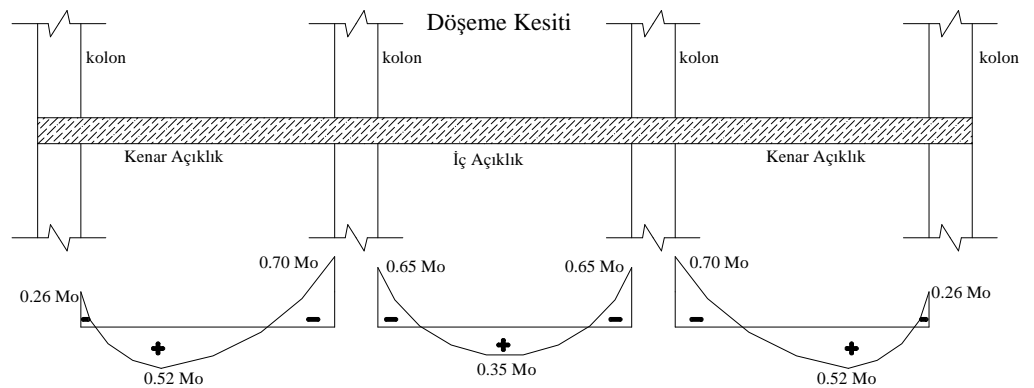
Negatif etkiyen moment : 0.65

Pozitif etkiyen moment : 0.35

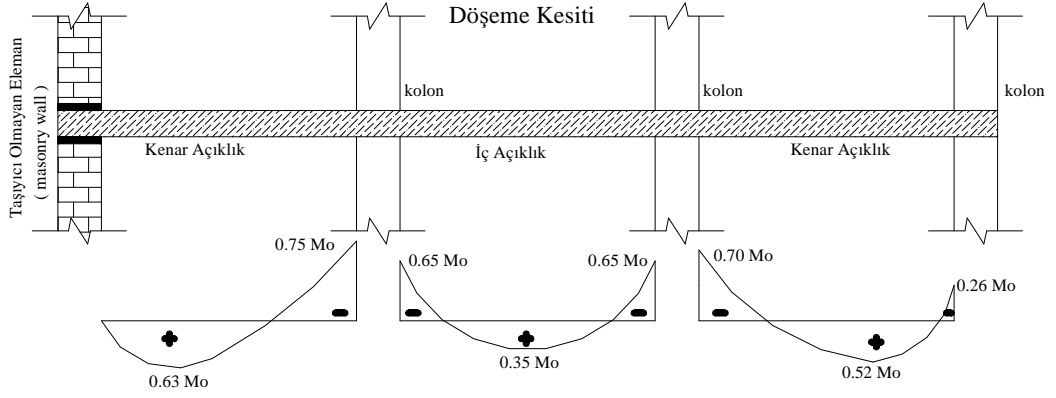
Kenar açıklıklarda ise, toplam statik moment Çizelge 2.3'e göre dağıtılmaktadır.

Çizelge 2.3 Toplam Statik Momentin Kenar Açıklıkta Dağıtılması

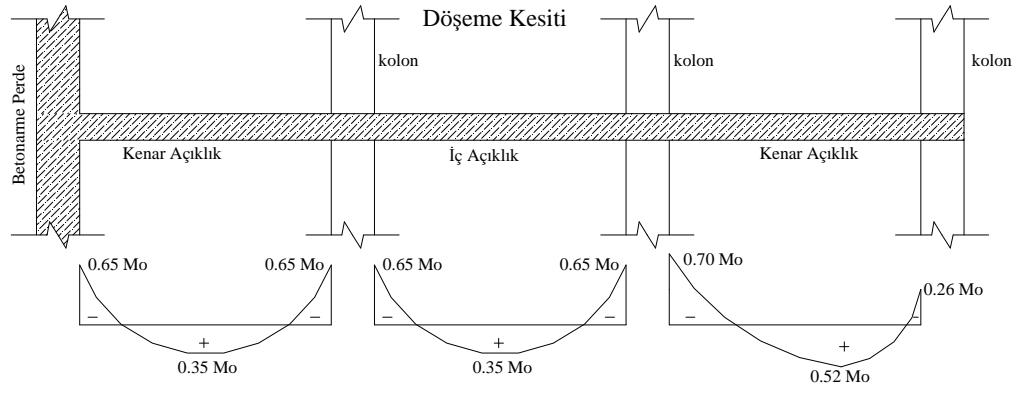
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Dış Kenar Serbest	Kirişli Döşeme	Kirişsiz Döşeme		Dış Kenar Perde İle Mesnetli
			Kenar Kirişsiz	Kenar Kirişli	
İç Mesnet Momenti	0.75	0.70	0.70	0.70	0.65
Açıklık Momenti	0.63	0.57	0.52	0.50	0.35
Dış Mesnet Momenti	0.00	0.16	0.26	0.30	0.65



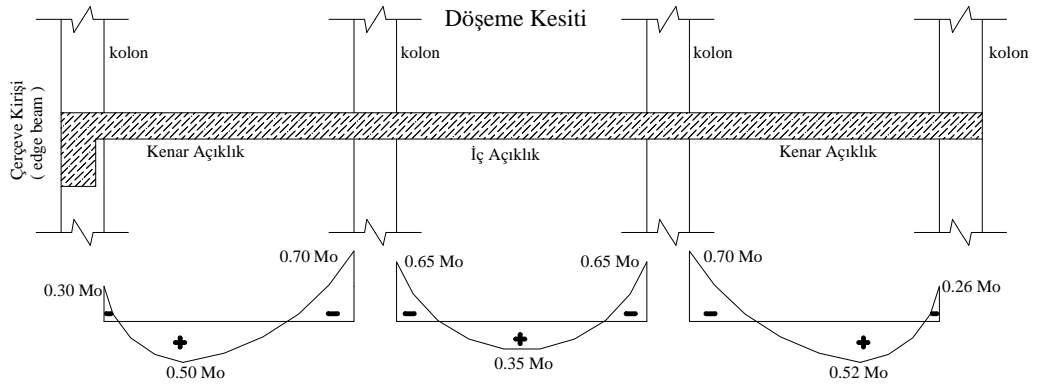
Şekil 2.22 Sistemin Sadece Kolonlara Oturması Durumu



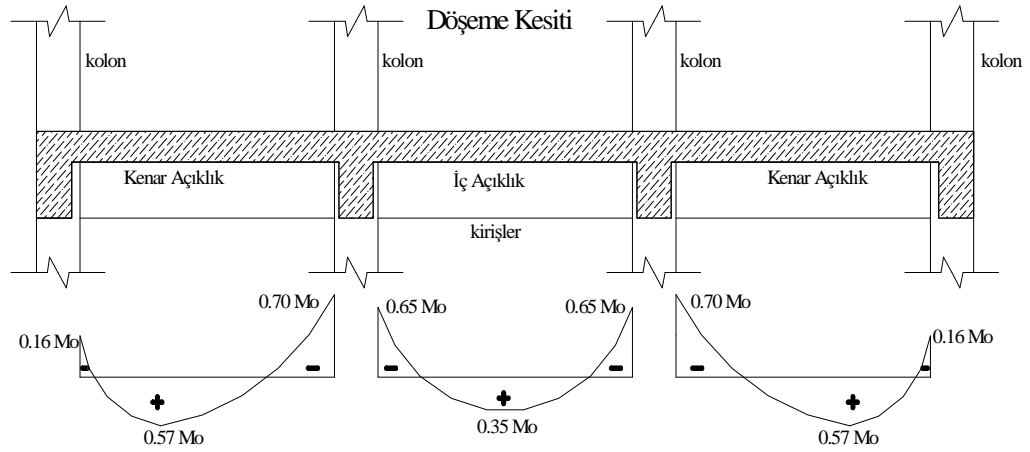
Şekil 2.23 Sol Açıklığın Taşıyıcı Olmayan Bir Elemana Oturması



Şekil 2.24 Açıklığın Perde İle Mesnetlenmesi Durumu



Şekil 2.25 Kenar Kirişi Kullanılması



Şekil 2.26 Kirişli Döşemelerde Doğrudan Dizayn Metodu

Negatif moment, mesnedi oluşturan elamanların rijitlikleri doğrultusunda dağıtılır.

Kenar kirişler ve döşemenin kenarları, dış taraftaki negatif etkiyen momentlerce burulmaya karşı boyutlandırılmalıdır.

Düşey yüklerden kaynaklanan moment için, $0.3 M_o$ değeri kadar döşeme ve kenar kolon arasında taşınmalıdır.

2.4.1.3 Kolon Şeritlerine Etkiyen Momentler

Kolon şeritlerine etkiyen momentler, aşağıda verilen yüzdeler doğrultusunda hesaplanır.

Çizelge 2.4 Kolon Şerit Mesnet Momenti (Ara Mesnet)

$\mathbf{l_2/l_1}$		0.5	1.00	2.0
$(\alpha_1 \mathbf{l_2/l_1}) = 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t > 2.5$	75	75	75
$(\alpha_1 \mathbf{l_2/l_1}) \geq 0$	$\beta_t = 0$	100	100	100
	$\beta_t > 2.5$	90	90	90

Kolon şeritleri, dış kenardaki negatif etkiyen mesnet momentlerin yüzdesi aşağıda verilen oranlar doğrultusunda dağıtılır.

Çizelge 2.5 Kolon Şerit Mesnet Momenti (Kenar Mesnet)

$\mathbf{l}_2/\mathbf{l}_1$	0.5	1	2
$(\alpha_1 \mathbf{l}_2/\mathbf{l}_1) = 0$	75	75	75
$(\alpha_1 \mathbf{l}_2/\mathbf{l}_1) \geq 0$	90	75	45

Elde edilen değerler arasında lineer enterpolasyon yapılır.

Kolon ve perde boyunca oluşan mesnetlerde açıklık uzunluğu \mathbf{l}_2 'nin dörtte üçünden büyük veya eşit bir uzunluk M_o 'ın hesaplanmasında kullanılmıştır. Negatif momentler \mathbf{l}_2 'ye enine üniform olarak dağıtılarak hesaba katılabilir.

Kolon şeritlerinde pozitif etkiyen momentlerin yüzdesi de aşağıdaki oranlar doğrultusunda dağıtılır.

Çizelge 2.6 Kolon Şeritlerine Giden Pozitif Moment

$\mathbf{l}_2/\mathbf{l}_1$	0.5	1.0	2.0
$(\alpha_1 \mathbf{l}_2/\mathbf{l}_1) = 0$	60	60	60
$(\alpha_1 \mathbf{l}_2/\mathbf{l}_1) \geq 0$	90	75	45

Lineer enterpolasyonlar gösterilen değerler arasında yapılabilir.

2.4.1.4 Kirişlere Etkiyen Momentler

$\alpha_1 \mathbf{l}_2/\mathbf{l}_1$, 1'e eşit yada büyükse mesnet aralarındaki kirişler kolon şeritlerinin momentlerinin % 80'i kadar alınabilir.

$\alpha_1 I_2/I_1$, 0 ile 1 arasındaki değerler için kirişler tarafından sınırlanan kolon şeridi momentlerinin oranı, % 0 ile % 85 arasındaki lineer enterpolasyon ile elde edilen bir oranla hesaplanır.

Üniform yükler için moment hesaplarına ek olarak, kirişler üzerine lineer yüklerin doğrudan etkimesi ile veya yoğunlaşmış bütün yüklerin engellenmesiyle oranlanabilir. Bu döşemenin üstü ve altında projelendirilen kiriş gövdesi ağırlığını içerir.

2.4.1.5 Orta Şeride Etkiyen Momentler

Toplam statik moment, bir kolon ve iki yarım orta şeritten oluşmakta idi. Kolon şeridine tariflenen momentlerin harici negatif ve pozitif etkiyen momentler iki yarım orta şeride atanır.

Orta şerit, onu oluşturan iki yarım şerit için hesaplanan momentlerin toplamı alınarak boyutlandırılır.

2.4.1.6 Etkiyen Momentlerin Modifikasyonu

Negatif ve pozitif momentlerin % 10 kadar M_0 momentini tarif edecek şekilde modifikasyonuna izin verilebilir.

2.4.1.7 Kolon ve Perdeye Etkiyen Momentler

Kolon ve perdeler; döşemeye etkiyen yüklerin neden olduğu momentlerin engellenmesi için döşeme sistemleriyle bütünsel olarak inşa edilmelidir. Bir iç mesnette üst ve alt döşemeye mesnetlenen elemanlar bağıntı (3.3)`te tanımlanan momente göre boyutlandırılmalıdır [15].

$$\text{CodeMun} = 0.07 \left[(w_d + 0.5w_1)(\mathbf{I}_2)(\mathbf{I}_n)^2 - w_d \mathbf{I}_2 (\mathbf{I}_n)^2 \right] \quad (3.3)$$

2.4.2 Eşdeğer Çerçeve Yöntemi

Üç boyutlu sistemleri, her iki doğrultuda eşdeğer çerçevelerle modelleyerek iki boyutlu yöntemle hesap yapılacaktır. Her bir çerçeve; kolon-kiriş elemanı, kolonlar, varsa kirişler ve kolonlara hesap yönüne dik doğrultuda saplanan döşeme parçalarından oluşur.

Kenar açıklıkta ise yarım kolon şeridi döşeme ortasına kadar uzatılarak oluşturulduğu kabul edilmektedir.

Her bir eşdeğer çerçevenin, kendi içerisinde ayrı olarak yöntemle hesaplanabilmektedir. Alternatif olarak düşey yükler altında her katın ayrı hesabı yapılabilmektedir.

Her bir kat ayrı ayrı analiz edildiğinde, kirişi mesnetleyen kolonların uzak uçları ankastre olarak kabul edilmektedir.

2.4.2.1 Döşeme Kiriş Elemanı

Kolon, kolon başlığı bulunan kesitler haricinde döşeme-kiriş elemanının atalet momenti hesaplanacaktır. Döşeme-kiriş elemanının atalet momenti belirlenirken kesitin değişimi de yine hesaba katılacaktır.

Kolon merkezinden kolon yüzüne kadar giden kısımda döşeme kirişlerinin atalet momentini hesaplarken $(1 - c_2/\mathbf{I}_2)^2$ miktarına bölünerek mesnet veya başlık yüzündeki döşemenin atalet momentine eşit olduğu kabul edilir. Burada c_2 ve \mathbf{I}_2 boyutu momentlerin belirlendiği alana dik doğrultuda ölçülmüştür.

2.4.2.2 Kolonlar

Tabla veya kolon başlığı dışındaki kesitte, kolon atalet momentinin hesaplanacak. Kolonun kesitindeki değişmeler yine hesaba katılacaktır. Mesnet bölgelerinde kolonun döşeme içinde kalan kısmının atalet momentinin sonsuz olduğu kabulü vardır.

2.4.2.3 Burulma Elemanları

Burulma elemanlarının boyutlarının aşağıda sıralanan maddelerdeki uzunlukların vasıtası ile sabit bir kesite sahip oldukları farz edilecektir.

- a) Momentlerin belirlendiği alan yönünde dik doğrultuda kolana, tabla, başlık veya döşeme parçasına eşit.
- b) Birdöküm sistemlerde kirişleri ile birinci maddedeki döşeme parçalarını içine alır.
- c) Hesap doğrultusunda, dik doğrultudaki kiriş ve kirişin etkili tabla genişliğini alır.

Momentlerin hesaplandığı doğrultuda kolonlarla kirişlerin oluşturduğu çerçevelerde burulma gerilmesi, kiriş olmadan hesaplanan döşemenin atalet momentiyile, kirişli döşemenin atalet momenti oranıyla çarpılacaktır.

2.4.2.4 Hareketli Yük Düzenlenmesi

Yükleme şablonu bilindiğinde, eşdeğer çerçeve bu yük için çözümlenebilir.

Hareketli yük değişken olduğundan, ölü yükün üç çeyreğini aşmadığında veya hareketli yükün tüm açıklıklara aynı anda yüklenmediği durumlarda da hesap yapılabilir.

Bir döşemenin orta alanı yakındaki maksimum pozitif momentinin, döşemenin veya diğer döşemeler üzerindeki bütün hareketli yükün üç çeyreği ile yüklendiği farz edilecek ve mesnetten oluşan döşeme negatif momentinin yalnızca bitişik döşemeler üzerindeki hareketli yükün üç çeyreği ile ortaya çıktığı farz edilecektir.

2.4.2.5 Düzeltilmiş Momentler

Mesnetlerde, hem kolon hem de orta şeritte negatif moment için kritik bölüm kolon yüzünden alınacak; fakat kolon merkezinden $0.175 l_1$ 'den uzak olmayacaktır.

Tablalı veya başlık harici mesnetlerde, kenara dik alandaki negatif faktörlü moment için kritik kesit mesnedin yüzü ötesinde tabla veya başlık kalınlığının bir buçuk katından daha büyük olmadan mesnet elemanının yüzünden uzakta alınacaktır.

Dörtgen ya da dairesel kesitli, poligon şekilli kolonların negatif mesnet yüzü momenti için aynı alana sahip kare kolon olarak hesaplanacaktır.

Eşdeğer çerçeve için tariflere uyulduğu koşullarda orta ve kolon şeritlerine dağıtılacak momentler doğrudan dizayn yöntemindeki gibi olur [13].

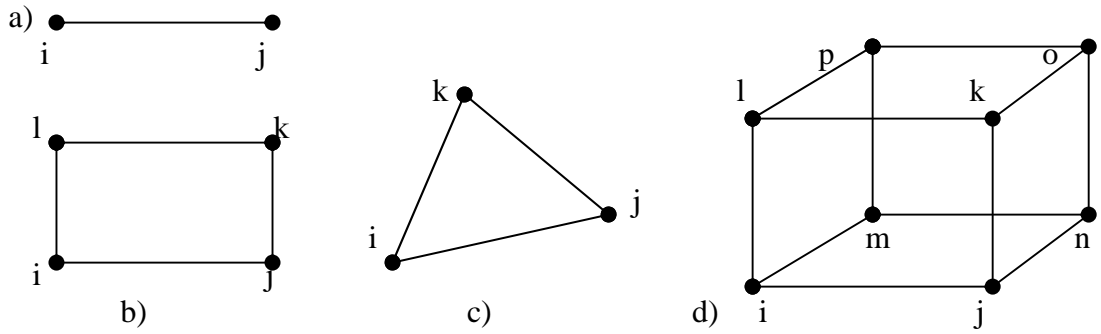
3. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ

Sayısal yöntemlerin pek çoğunda çözüm, bilinmeyen büyüklüklerin bölge içinde belirli bazı ayırık noktalardaki yaklaşık değerlerinin bulunmasına yöneliktir. Yani çözüm, bölgedeki bu seçilmiş noktalardaki değerlerin bulunması işlemine indirgenmektedir. Bölgede belirli bir sayıda noktayı seçme işlemine “ayırıklaştırma” denir. Bir bölgeyi ayırıklaştırmanın yolu onu küçük parçalara, ünitelere bölmektir. Bu küçük parçalar bir araya gelerek orijinal yapıyı temsil ederler. Böylece tüm yapıyı bir seferde çözmek yerine, bu küçük üniteler için çözüm üretip bir araya getirerek orijinal bölgeye ait çözüm elde edilebilmektedir. Bu suretle küçük parçalar için yapılan basit yaklaşımlar ile bölgenin tümü için kabul edilebilir sonuçlar elde etmek mümkündür. Ancak daha iyi sonuç elde etmek için orijinal yapıyı daha küçük ünitelere bölmek, yani daha çok sayısal veriyi işlemek gerekir. Bu da mutlaka kapasiteli bilgisayarlar ve bilgisayar programları kullanımı gerektirir.

Sonlu elemanlar yönteminin esası; çözüm aranan yapıyı, bölgeyi veya cismi çok sayıda küçük sonlu elemanlara bölmektir. Bir, iki ve üç boyutlu olabilen bu elemanlar düğüm ya da düğüm noktası adı verilen noktalarda birbirlerine bağlanmaktadır. Örnek olmak üzere Şekil 3.1`de bir, iki ve üç boyutlu elemanlardan örnekler gösterilmiştir. Şekil 3.2`de ise düzensiz bir geometriye haiz bir levhanın üçgen sonlu elemanlarla ayırıklaştırılması veya idealleştirilmesi görülmektedir. Bu problemin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümü sonucunda aranan büyüklüklerin, örneğin x ve y doğrultusundaki yer değiştirmelerin, dolu yuvarlaklar ile gösterilen düğüm noktalarındaki sayısal değerleri elde edilecektir. Eleman düğüm noktalarındaki aranan büyüklüklerin sayısal değerleri düğüm nokta serbestlikleri olarak adlandırılmaktadır. Aranan büyüklüğün eleman içindeki değişimi için seçimi kolay, matematiksel işlemlerin yapılması basit ve problemin fiziği ile uyumlu yani davranışı yansıtan, sürekli fonksiyonlar, örneğin polinomlar, seçilmektedir. Bu fonksiyonlara elemanın yer değiştirme şeklini tanımladığı için genel olarak “şekil

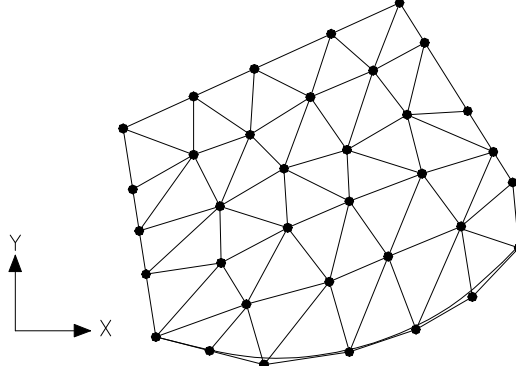
fonksiyonları” adı verilir. Seçilen fonksiyonların eleman içindeki davranışa katkıları, örneğin polinom seçilmesi halinde polinomun katsayıları, düğüm noktalarında aranan büyüklükler cinsinden tayin edilebilmektedir. Yani çözüm yapıp düğüm noktalarındaki bilinmeyenler elde edildikten sonra eleman içindeki değişim belirlenmiş demektir. Sonlu eleman içinde davranışı iyi bir şekilde temsil eden fonksiyonlar yardımıyla oluşturulan elemana ait özellikler orijinal yapı için bir araya getirildiğinde tüm yapıyı iyi bir yaklaşımla temsil edebilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla çoğu mühendislik problemlerinin çözümünde karşılaşılan; çözüm bölgesinin düzensiz geometriye haiz olması, karışık ve süreksiz sınır koşullarının varlığı, yüklemenin üniform olmaması, süreksiz ve tekil yüklerin varlığı, malzemenin heterojen (örneğin beton gibi) olması, anizotrop (örneğin ahşap gibi) olması gibi problemler kolaylıkla çözülebilir. Sonlu elemanlar yöntemi lineer ve lineer olmayan sistemlere, keza statik olduğu gibi dinamik problemlere de uygulanabilir. Üstünlükler yanında yöntemin genellikle kapasiteli bilgisayarlara ve özellikle amaca yönelik ya da genel bilgisayar programlarına (software) gereksinimi olduğu unutulmamalıdır [6].



- a) Bir boyutlu çubuk eleman, c) İki boyutlu dikdörtgen eleman,
b) İki boyutlu üçgen eleman, d) Üç boyutlu dikdörtgen prizma eleman

Şekil 3.1 Bir, İki ve Üç Boyutlu Sonlu Eleman Örnekleri



Şekil 3.2 Düzensiz Geometriyi Haiz Bir Levhanın Üçgen Sonlu Elemanlarla İdealleştirilmesi

3.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulandığı Yerler

- 1) Yapı Mühendisliği; çubuk, levha, ve kabukların çözümünde
- 2) Zemin Mekaniğinde; şevlerin gerilme analizlerinde, barajlarda, tünellerde
- 3) Hidrolikte; vizkoz akımında, sürtünme maddelerinin taşınmasında
- 4) Isı Transferinde; ısı iletiminde, ısı akımının taşınmasında
- 5) Nükleer Enerjide; reaktörlerin statik ve dinamik analizinde
- 6) Elektrik Mühendisliğinde; devre analizinde, manyetik potansiyel dağılımında kullanılabilir.

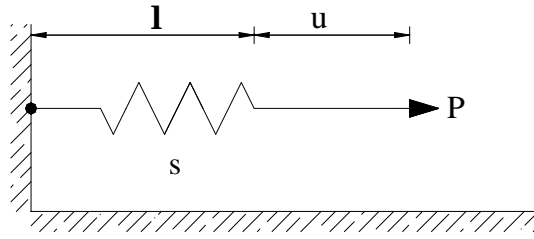
Problemin çözümünün sınırı yoktur, bilgisayar ile çözüm yapmaya uygundur. Kompleks çözümler yüksek dereceden çözümler için fizibildir. Sınır şartları sistem hesabında probleme en son dahil edilir [8].

3.2 Hesapta İzlenecek Yol

Bir ucundan yüklenmiş yay en basit fakat en genel yük taşıyıcı sistemlerden biridir. Sistem için denge denklemi;

$$P = (s) \cdot (u) \quad (3.1)$$

P; uygulanan yük, s; yay sabiti, u; yay deplasmanı olarak tanımlanmıştır. Belirli bir geometri ve malzeme özellikleri olan bir yaya, belirli bir kuvvet uygulanırsa deplasman hesaplanabilir. Burada yay sabiti, malzemenin elastik modülüne, enkesit alanına ve uzunluğuna bağlıdır, fakat yüklerden bağımsızdır. Çok karmaşık yapılarda da birçok elemanın bir araya gelmesinden oluşan tüm sistem için global rijitlik [K] elde edilir [1].



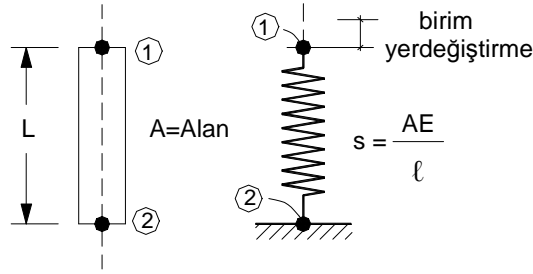
Şekil 3.3 Bir Ucundan Yüklenmiş Elastik Yay

Şekil 3.4 ile gerilme şekil değiştirme bağıntısı ve kolon rijitliği:

$$\sigma = \frac{P}{A} = E\varepsilon = E \frac{u}{l} \rightarrow P = \frac{A.E.u}{l} \quad (3.2)$$

$$u=1 \text{ için } \rightarrow P = s = \frac{A.E}{l} \quad (3.3)$$

olur. 1 noktasında kolona aşağı yönlü birim yer değiştirme uygular ve 2 noktasından tutarsak 1 noktasında AE/λ , 2 noktasında ise $-AE/\lambda$ kuvvetini elde ederiz. Benzer olarak 1 noktasında kolonu tutar 2 noktasında birim yer değiştirme uygularsak 2 noktasında AE/λ , 1 noktasında $-AE/\lambda$ kuvvetlerini buluruz. Bu 1 noktası u_1 kadar yer değiştirirse 1 ve 2 noktalarındaki uç kuvvetleri sırasıyla $u_1.AE/\lambda$ ve $-u_1.AE/\lambda$ değerlerini alır.



Şekil 3.4 Tipik Yay ve Sonlu Eleman

Benzer olarak 2 noktası u_2 kadar yer değiştirirse 1 ve 2 noktasındaki uç kuvvetleri sırasıyla; $-u_2 \cdot AE/l$ ve $u_2 \cdot AE/l$ değerlerini alır. Bu sonuçları süperpozisyon kuralını uygulayarak matris formunda özetlersek uçlarından Q_1 ve Q_2 aksenal yüklü kolona ait yük yer değiştirme bağıntısı, denge denklemleri, aşağıdaki gibi olur:

$$\frac{AE}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{Bmatrix} \quad (3.4)$$

Burada aksenal yüklü kolona ait en basit sonlu eleman rijitlik matrisi $[k]$ bağıntı (3.5)'te ifadesi ile verilmiş olup bağıntı (3.4) ile denge denklemlerinin katsayıları matrisinden ibarettir [7].

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{l} & -\frac{AE}{l} \\ -\frac{AE}{l} & \frac{AE}{l} \end{bmatrix} = \frac{AE}{l} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Rijitlik matrisinin elemanları, tesir katsayıları olup matrisin herhangi bir k_{ij} terimi j düğüm noktasında birim yer değiştirmeden i düğüm noktasında oluşan kuvveti göstermektedir. Herhangi bir sonlu elemanın rijitlik matrisi;

- Yer değiştirme modeline, yani seçilen şekil fonksiyonuna,
- Elemanın geometrisine,

c) Malzeme özellikleri veya bünye denklemlerine (gerilme-yer değiştirme bağıntılarına) bağlıdır.

Bu en basit örnekte eleman rijitlik matrisi doğrudan yazılmıştır ve kesindir. Ancak genel halde incelenen sonlu eleman ortamında problemin fiziği ve geometrisine uygun yaklaşım fonksiyonları (şekil fonksiyonları) yazılarak eleman rijitlik matrisi çıkarılır ve bu sabit kesitli çubuk sistemler dışında yaklaşıktır. Yaklaşımın sıhhati seçilen fonksiyon ile çok yakından ilgilidir. Ancak çoğu kez polinomlarla daha iyi yaklaşımlar elde edilebildiğini söylemek mümkündür.

Her bir elemana ait rijitlik ve yükleme matrislerinden sisteme ait (global) rijitlik ve yükleme matrisleri elde edilecektir. Bu amaçla en çok kullanılan yöntem biriktirme yöntemidir. Yöntem, aynı bir düğüm noktasında birleşen, dolayısıyla aynı yer değiştirmeyi yapan elemanlara sadece o noktaya komşu noktalardan katkı yapılması esasına dayanmaktadır.

Sisteme ait denge denklemleri bağıntı (3.6) ile verilmiş olup burada $[K]$ sistem rijitlik matrisi, $\{F\}$ sistem toplam yük vektörü, $\{U\}$ sistem yer değiştirme vektörüdür.

$$[K] \cdot \{U\} = \{F\} \quad (3.6)$$

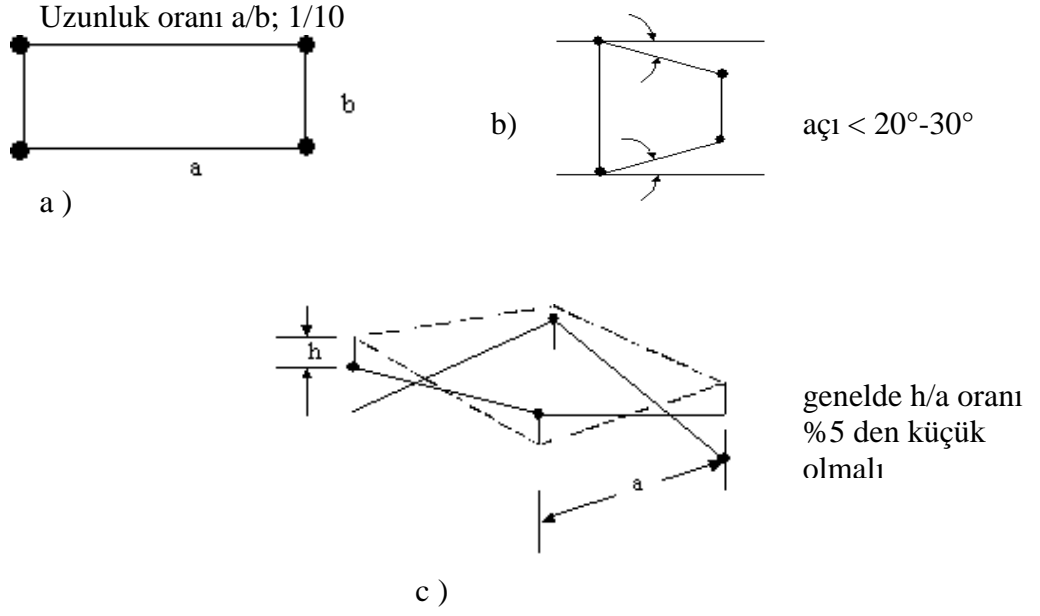
Sonlu eleman analizinde izlenen yol aşağıdaki altı adımda özetlenebilir:

1. Çözüm aranan bölgenin ayrıklaştırılması (bölgenin sonlu elemanlara bölünmesi, eleman ağı teşkili, idealleştirme),
2. Şekil fonksiyonlarının seçimi (yapı problemlerinde yer değiştirme modeli),
3. Eleman davranış (rijitlik) matrisinin varyasyon ilkesi veya ağırlıklı artıklar yöntemlerinden biri ile çıkarılması,
4. Eleman denklemlerinin bir araya getirilmesi ve sınır koşullarının uygulanması,

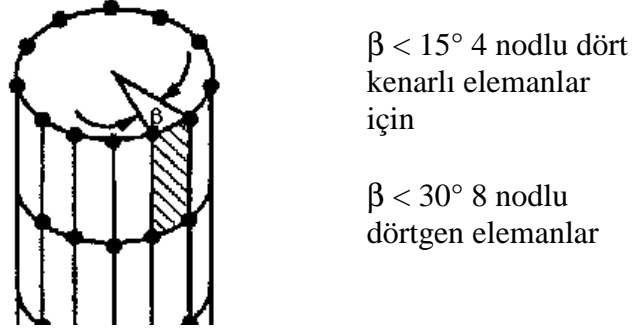
5. Tüm sistemin çözülerek bilinmeyenlerin (yapı problemlerinde genellikle yer değiştirmelerin) elde edilmesi,

6. Tasarım veya kontrol amacına yönelik olarak diğer büyüklüklerin düğüm nokta bilinmeyenlerinden hareketle hesabı.

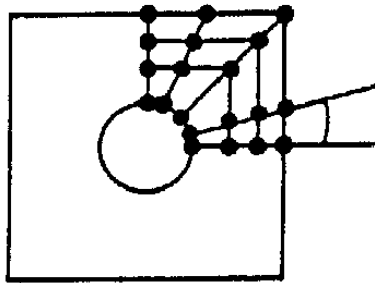
Modelleme bir fiziksel yapı veya sürecin analitik ya da sayısal olarak yeniden inşa edilmesidir. Sonlu elemanlar metodunda modelleme basitçe düğüm noktası ve elemanlardan oluşan bir ağ yapısı hazırlamak değildir. Problemi gerekli şekilde modelleyebilmek için gerekli sayı ve tipteki elemana karar vermek ancak problemin fiziğinin iyi şekilde anlaşılmasıyla mümkündür. Kötü şekil verilmiş elemanlar ile hesaplanması istenilen büyüklüğün hesaplama alanı içindeki değişimini yansıtamayacak kadar büyük boyutlu elemanlar modellemede istenmez. Şekil 3.5`te elemanlarda genelde müsaade edilebilecek geometrik biçim bozukluklarının seviyesi gösterilmektedir. Diğer yandan zaman ve bilgisayar olanaklarını boş yere harcamamıza neden olacak, çok sayıda gereksiz elemanlardan oluşan bir modelleme de istenmemektedir. Hesaplanması istenilen büyüklüğü ve hesaplama alanı içindeki değişimini yeterli doğrulukta verecek sıklıkta bir eleman dağılımına ihtiyaç vardır. Örneğin Şekil 3.6`da silindirik yüzeylerin modellenmesi için 4 veya 8 düğüm noktalı dört kenarlı elemanlar kullanılması durumunda tipik bir eleman dağılımı gösterilmiştir. Diğer yandan Şekil 3.7` de bir delik etrafında olması gereken tipik eleman dağılımı görülmektedir. Hesaplanan değerlerin kabul edilebilir olup olmadıklarının kontrol edilmesi ayrı bir öneme sahiptir.



Şekil 3.5 Eleman Geometrisinde Müsaade Edilebilir Deformasyonlar



Şekil 3.6 Bir Silindirik Yüzey Etrafındaki Tipik Eleman Dağılımı



Şekil 3.7 Bir Delikli Geometride Delik Etrafındaki Tipik Eleman Dağılımı

3.3 Sistemin Sonlu Elemanlara Bölünmesi ve Dikkat Edilmesi Gerekli Hususlar

Bir problemin sonlu elemanlar metoduyla çözümü için kaç adet eleman gereklidir? Böyle bir soruya cevap aramak için aynı problemi iki farklı modelle ayrı ayrı analiz edelim. İkinci analizde daha fazla sayıda eleman ile daha sık bir ağ kullandığımızı farz edelim. İkinci sonlu eleman modeli daha küçük bir ayrıklaştırma hatası verecektir. Ayrıca gerçek fiziksel objenin geometrisi daha iyi modellenmiş olacaktır. Eğer iki analiz neticesinde bulduğumuz sonuçlar arasında önemli bir fark yoksa, sonuçların yakınsamış olduğunu kabul edebiliriz.

Yazılımlarda genelde bir takım hatalar bulunabilir. Sonlu eleman paket programları oldukça büyük yazılımlar olup devamlı düzeltmeler yapılmaktadır. Elde edilen hatalı sonuçlar için programı suçlamak kolay bir yol olmasına rağmen, hatalı sonuçlara genelde yanlış modellemeler neden olmaktadır. Doğru modelleme yapabilmek için ayrıklaştırma esnasında bir takım hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu hususlar aşağıda sıralanmıştır:

a) Sonlu elemanlar grid ağının mümkün olduğu kadar üniform olmasına dikkat edilmelidir. Fakat yüklemeye ve yapının davranışında hızlı değişimlerin görüldüğü bölgelerde daha sık bir ağ yapısı için üniformluğun bozulmasına müsaade edilebilir.

b) Dört kenarlı elemanların üçgen elemana göre bir çok avantajı olması nedeniyle, dört kenarlı elemanlar daima üçgen elemanlara tercih edilmelidir. Fakat geometrinin ve/veya yüklemenin üçgen eleman gerektirdiği durumlarda bu kural bozulabilir.

c) Deplasman analizi için gerilme analizinde kullanıldığı kadar sık ağ yapısına gerek yoktur.

d) Geometride veya malzemede non-lineerliliği hesaba katan analizler için lineer analizlere kıyasla daha sık bir ağ yapısına ihtiyaç vardır.

e) Titreşim nodlarının hesabı doğal frekansların hesabına kıyasla daha sık ağ yapısı gerektirmektedir.

f) Dügüm noktalarının numaralandırılması mümkün olduğu kadar büyük deplasman bölgelerinden küçük deplasman bölgelerine doğru yapılmalıdır. Fakat genelde sonlu eleman paket programlarında sonuçlar numaralandırmadan etkilenmezler.

g) Eğrisel yüzeylerin düzlemsel elemanlar ile tarif edilmesi durumunda yüzey normali etrafındaki dönme serbestliği kaldırılmalıdır. Aksi takdirde kötü koşullu bir matrisle uğraşılması gerekecektir.

h) Elemanların kenar uzunluk oranları (aspect ratio) eleman tipleri arasında değişiklik gösterse de, uzunluk oranı deplasman hesapları için 10'un altında, gerilme hesapları içinse 5'in altında kalmalıdır.

i) Yüksek mertebeden elemanlar için ara nodların dağılımı mümkün olduğu kadar uniform olmalıdır.

j) Sonlu eleman hesaplarının ilk kontrolü için yüklerin, kuvvetlerin ve reaksiyonların dengesinin kontrol edilmesi tavsiye edilmektedir.

k) Eğer analiz edilen yapı ve yükleme simetrik ise hesaplamalarda bu avantaj kullanılmalıdır. Yani analiz için yapının yarısı veya dörtte biri modelleme için kullanılabilir. Fakat burkulma ve özdeğer problemlerinde dikkatli olunması gerekir. Çünkü anti-simetrik nodlar bu problemler için önemli olabilir.

l) Yüksek frekanslı tepkisel değerlerin önemli olmadığı dinamik analizler için statik analizde kullanılan benzer bir ağ yapısı yeterli olacaktır.

m) Transient dinamik analizlerde eleman boyu, zaman adımı, integrasyon metodu ve pulse süresi uyumlu olmalıdır.

n) Yüksek uzunluk oranlı dörtgen elemanlar, büyük açılı üçgen eleman gibi elemanlardan mümkün olduğu kadar sakınılması gerekmektedir.

o) Yakınsaklık analizinde orijinal mesh kullanılarak ağ sıkılaştırılmalıdır. Eğer farklı bir mesh kullanılırsa yakınsaklık analizine tekrar başlamak gerekecektir.

p) Yüksek ve düşük mertebeden elemanların birbirine bağlanması gerilmelerde düzensizliklere neden olacaktır.

r) Eleman boyutlarında hızlı değişiklikler mümkün olduğu kadar minimize edilmelidir.

s) Anizotropik malzemeler için Poisson oranı açıkça tanımlanmalıdır. Ayrıca ν , E ve G değerlerinin teorik limitlerinin aşılmaması kontrol edilmelidir.

t) Kompleks yapıların sonlu elemanlar metoduyla analizinde tüm yapı göreceli olarak kaba bir ağ yapısıyla analiz edilir. Bu analiz sonuçları yapı içinde detaylı bilgi sahibi olmak istediğimiz bölge için sınır koşulu olarak kullanılarak bu bölge daha sıkı bir ağ yapısı ile analiz edilebilir [6].

3.4 SAP2000 Yapı Analizi Statik Programı İle Sonlu Elemanlar Yöntemi

SAP2000, yapı mekaniği ve mühendislik alanında kullanılan sistemlerin modellenmesi, analizi ve boyutlandırılması amacı ile hazırlanmış olan, çok amaçlı bir paket programdır. SAP2000 programında, matris-deplasman yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde sonlu elemanlar tekniği ile çözüm yapmaktadır [17].

SAP2000 tarzı hesap programları ile çalışırken, belli bir sıra takip edilerek doğru sonuca varılması prensip olarak alınmalıdır. Bunun nedeni ise tüm veri girişlerinin ve sonuçlarının mühendisinin becerisi ve bilgisi doğrultusunda oluşması, yorumlanmasıdır.

SAP2000 Yapı Analizi Statik Programı ile çözüm sırası;

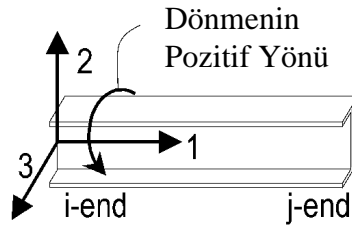
1. Birim ayarlanır,
2. Geometri oluşturulur,
3. Malzeme özellikleri atanır,
4. Kesit özellikleri atanır,
5. Yük gurubu tanımlanır (statik yada dinamik),
6. Kombinasyonlar tanımlanır,
7. Mesnet şartları tanımlanır,
8. Eleman kuvvet bağları ve rijit bölge tanımları yapılır,
9. Yüklemelerin girilmesi,
10. Analiz seçenekleri,
11. Analiz,

12. Sonuçların grafik incelenmesi ve beklenmeyen sonuçların araştırılması,
13. Sonuçların dosya kayıtlarına ulaşarak sonuçların değerlendirilmesi [23].

3.4.1 Kullanılacak Eleman Türleri

Kolon ve kiriş elemanlar için frame (çubuk) eleman tipleri kullanılacaktır. Çubuk elemanı, i ve j gibi iki düğüm noktası arasında doğru bir çizgi ile ifade eder. Genel olarak, bir çubuk elemanı bağlandığı her bir düğüm noktasında 6'şar serbestliğe (3 yerdeğiştirme, 3 dönme) sahiptir.

Programda her çubuk elemanın bir lokal ekseni vardır. Lokal eksene bağlı olarak enkesit özellikleri, atalet momentleri, malzeme özellikleri gibi data girişi yapılırken yine elemanlara ait iç kuvvetler ve kesit zorları bu eksen takımı vasıtasıyla değerlendirilir. Lokal ekseninde sağ el kuralı geçerlidir. Elemanın bizim belirleyeceğimiz yönü doğrultusunda 1 işaret, 2 orta, 3 başparmağın yönündedir.

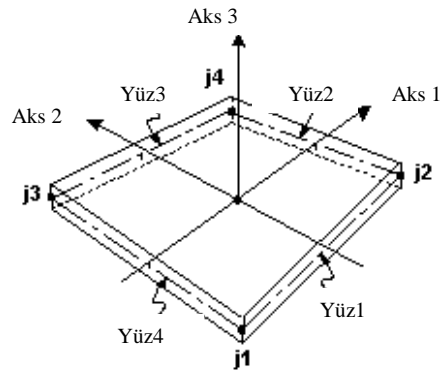


Şekil 3.8 Çubuk Eleman Lokal Eksen

Çubuk elemanı farklı boylarda elemanlara bölmek sonucu etkilememelidir. Yükleme ve kesit değişiminin olduğu istisnai durumlar haricinde kolon elemanları tek parçada çözmek yanlış değildir. Fakat kolonun yada kirişin başka bir elemanla birleştiğinde düğüm noktaları ortak olmalıdır. Bunun en güzel örneğini kirişlerle döşemelerin birlikte tasarlandığı durumlardır. Döşemeye ait her bir sonlu eleman düğüm noktası, onunla birlikte kiriş çubuk elemanında da oluşturulmalıdır.

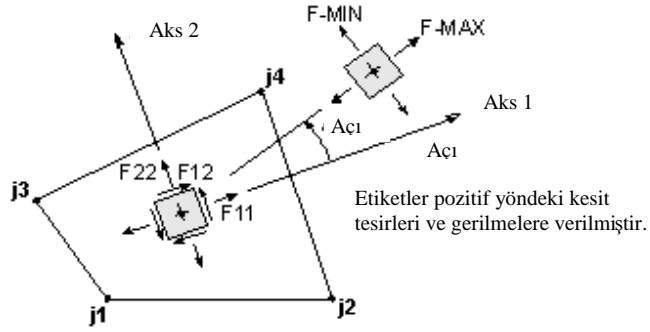
Kirişsiz döşeme elemanı olarak area (alan) kesitlilerden, shell (kabuk) elemanları kullanılacaktır.

Çubuk elemanlarda olduğu gibi her shell elemana ait bir lokal eksen vardır. SAP2000 sadece dikdörtgen ve dört ucunda birer düğüm noktası olan sonlu elemanlar tipi kullanmaktadır. Düğüm noktaları altı serbestliğe sahiptir. Her bir düğüm noktasının ve sonlu eleman parçasının bir etiketi vardır. Şekil 3.9`de düğüm noktaları etiketleri; j_1 , j_2 , j_3 , j_4 olarak sıralanmaktadır. Birinci etikete sahip düğüm noktasından ikinci etikete sahip düğüm noktasına giden eksen 1 aksı, ikinci etikete sahip düğüm noktasından, dördüncü etiket noktasına giden eksen 2 aksı, shell elemanın yüzeyine dik olan eksene de 3 aksı denilmektedir. Çubuk elemanlarda olduğu gibi data girişleri ve kesit zorlarının hesaplanması bu eksen takımını uyarınca oluşmaktadır. Sistem tamamlandıktan sonra oluşacak çözüm matrisin boyutunun küçük olması için shell elemanlara ait etiketlerin otomatik olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Bu düzenlenme hesap süresini on kata kadar küçültmektedir.



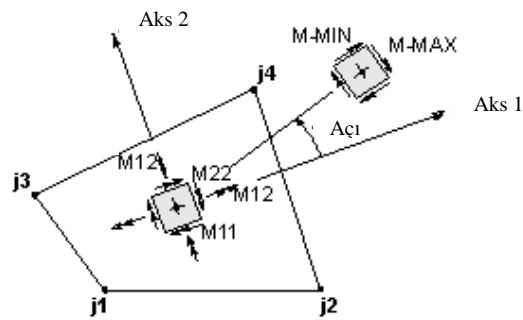
Şekil 3.9 Shell Eleman Lokal Eksen

Shell (kabuk) elemanı; membran ve plak (eğilme) elemanın birleştirilmesidir. Şekil 3.10`de bir membran elemana ait kuvvetler görülmektedir. Lokal eksen takımına göre oluşan membran kuvvetlerinden F_{11} ve F_{22} çekme ve basınç gerilme kuvvetleridir. Doğrultusundaki lokal eksen yönüne göre isimlendirilir. F_{12} ve F_{21} kayma kuvvetleridir.



Şekil 3.10 Membran Eleman Kuvvetleri

Plak yani eğilme elamanına ait eğilme ve burulma momentleri Şekil 3.11`de gösterilmektedir. M_{11} eğilme momenti; sağ el kuralı kullanılarak 2 numaralı eksen aksının kavranması ve elin dönüş yönünde oluşacak eğilme momenti olarak adlandırılır. M_{11} `e 1 aksı yönünde oluşan eğilme momenti de denilebilir. Eğilme ile oluşacak kesit tahkiki ve donatı hesabı için 1 aksı doğrultusunda esastır. M_{22} ise 1 numaralı eksen takımında aynı yöntemle oluşacak eğilme momentine verilen isimdir. M_{12} ve M_{21} burulma momentlerinin yönleri şekilde de görülmektedir. Eğilme Momentlerinin bileşkesi olarak oluşmaktadır.



Şekil 3.11 Plak Eleman Momentleri

Shell (kabuk) elemanlarına ait V_{13} , V_{23} , V_{\max} kesme kuvvetleri ve S_{11} , S_{21} , S_{12} , S_{\max} , S_{vm} , S_{13} , S_{23} , S_{\max} gerilmeleri de program tarafından verilmektedir. Programın thick plate (kalın plak) özelliğini kullanarak yüzeye dik kayma gerilmeleri de hesaplanabilir.

Doğru moment ve kesme kuvvetini bulmak için lokal akslara bakmak gerekmektedir. SAP2000`de; 1 numaralı eksen kırmızı, 2 numaralı eksen beyaz, 3 numaralı eksen mavi olarak gözükecektir.

Sonlu elemanlar modelinde, döşeme hesabın için dikkat edilmesi gereken bir nokta da; shell elemanını gerekli sayıda sonlu elaman parçasına (mesh) bölmektir. Yapılan yükleme, kesitteki değişim, şerit bilgileri, farklı boylardaki mesh boyutları ile sonuçların mukayese edilmesi, düğüm noktaları serbestlik dereceleri, rijit bölgeler sonlu elemanlar sayısını etkileyen faktörlerdendir. Çok küçük boyutlar seçilmesi hassasiyeti artırması gerçeği yanında hesap süresini uzatacak, daha kapsamlı bilgisayar ve yazılım ihtiyacı duyulacaktır.

4. SAYISAL UYGULAMALAR

4.1 Moment Katsayılar Yöntemi

Uygulamada; kirişsiz bir döşeme sisteminden çıkarılmış bir döşeme şeridi ele alınacaktır. Şerit üç açıklıklı olup sistemin orta akslarından birine aittir. Uygulama kapsamında TS 500'e göre, sistemin moment katsayılar yöntemine uygunluğu, moment katsayılar yöntemine göre statik hesap, zımbalama tahkiki ve donatı hesabı yapılacaktır.

Hesap açıklıkları:

$$l_{11} = 4.00 \text{ m}, l_{21} = 5.00 \text{ m}, l_{31} = 4.00 \text{ m}$$

Hesap doğrultusuna dik yöndeki uzunluk:

$$l_{12} = 5.00 \text{ m}, l_{22} = 4.00 \text{ m}, l_{32} = 5.00 \text{ m}$$

Döşeme kalınlıkları;

$$h_1=20 \text{ cm}, h_2=20 \text{ cm}, h_3=20 \text{ cm}$$

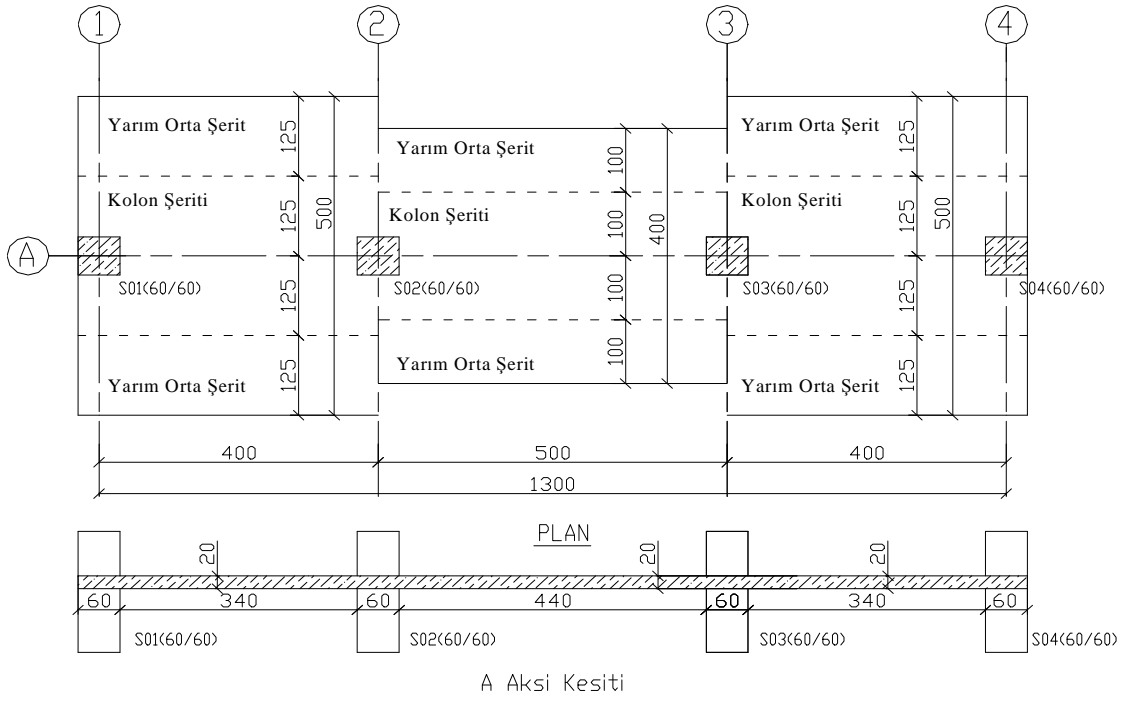
Sabit yükler:

$$g_1 = 0.650 \text{ t/m}^2, g_2 = 0.650 \text{ t/m}^2, g_3 = 0.650 \text{ t/m}^2$$

Hareketli yükler:

$$q_1 = 0.200 \text{ t/m}^2, q_2 = 0.200 \text{ t/m}^2, q_3 = 0.200 \text{ t/m}^2$$

Tüm kolon boyutları 60 cm x 60 cm olup akstan kaçıklıkları 30 cm`dir.



Şekil 4.1 Sistem

4.1.1 TS 500`deki Koşulların Tahkiki

a) Döşeme kalınlığı TS 500`e göre aşağıdaki minimum koşullara uymalıdır.

$$h \geq \frac{l_1}{30} \quad (4.1)$$

$$h \geq 200\text{mm} \quad (4.2)$$

$h = 20$ cm olarak alındı.

b) Her yönde en az 3 açıklık olmalıdır.

c) Uzun kenarın kısa kenara oranı 2.0`den fazla olmamalıdır.

Her üç açıklıkta da uzun kenar kısa kenar ölçüleri aynıdır.

$$l_{2l} = 5.00 \text{ m}$$

$$l_{1l} = 4.00 \text{ m}$$

$$l_{21} / l_{11} = 1.25 < 2.00 \text{ (Koşul sağlamaktadır.)} \quad (4.3)$$

d) Herhangi bir doğrultudaki komşu plakların açıklıkları arasındaki fark, uzun açıklığın 1/3 ünden fazla olmamalıdır.

$$l_{11} = 4.00 \text{ m, } l_{21} = 5.00 \text{ m, } l_{31} = 4.00 \text{ m}$$

$$l_{21} - l_{11} = 5.00 \text{ m} - 4.00 \text{ m} = 1.00 \text{ m} \quad (4.4)$$

$$l_{11} / 3 = 1.33 \text{ m} > 1.00 \text{ m (Koşul sağlamaktadır.)} \quad (4.5)$$

e) Herhangi bir kolonunun çerçeve ekseninden dışmerkezliği, moment hesaplanan doğrultudaki açıklığın 1/10`undan fazla olamamalıdır.

$$l_{11} / 10 = 40 \text{ cm} \quad (4.6)$$

$$l_{21} / 10 = 50 \text{ cm} \quad (4.7)$$

$$l_{31} / 10 = 40 \text{ cm} \quad (4.8)$$

Tüm hesap doğrultusundaki kolon dışmerkezlikleri 30 cm. olduğundan koşul sağlamaktadır.

f) Hareketli yükün kalıcı yüke oranı 2.0`den fazla olmamalıdır.

Tüm açıklıklar için $q / g = 0.31 < 2.00$ koşul sağlamaktadır .

4.1.2 Zımbalama Tahkiki

4.1.2.1 Orta Kolon İçin Hesap

Tasarım Yüğü:

$$P_d = 1.4 g + 1.6 q = 1.23 \text{ t/m}^2 \quad (4.9)$$

Zımbalama Çevresi:

$$l_{11} = 4.00 \text{ m}, l_{12} = 5.00 \text{ m}$$

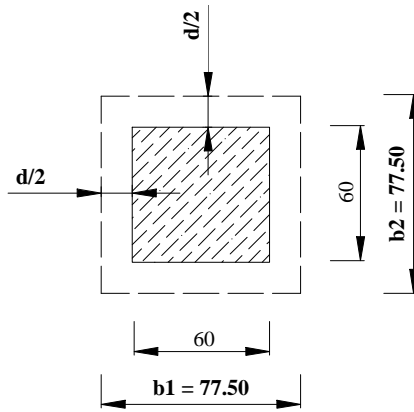
$$l_1 = (l_{11} + l_{12})/2 = 4.50 \text{ m} \quad (4.10)$$

$$l_{21} = 5.00 \text{ m}, l_{22} = 4.00 \text{ m}$$

$$l_2 = (l_{21} + l_{22})/2 = 4.50 \text{ m} \quad (4.11)$$

$$b_1 = b_2 = a + d = 60.00 + 17.50 \text{ cm} = 77.50 \text{ cm} \quad (4.12)$$

$$U_p = 2 (b_1 + b_2) = 310 \text{ cm} \quad (4.13)$$



Şekil 4.2 Orta Kolon Zımbalama Çevresi

Zımbalama alanı içindeki tasarım yükü:

$$F_a = b_1 \cdot b_2 \cdot P_d = 0.74 \text{ t} \quad (4.14)$$

Kolonun yük aldığı alan içerisindeki tasarım yükü:

$$F_d = l_1 \cdot l_2 \cdot P_d = 24.91 \text{ t} \quad (4.15)$$

Zımbalama tasarım kuvveti:

$$V_{pd} = F_d - F_a = 24.17 \text{ t} \quad (4.16)$$

$\gamma = 1$ olarak kabul ediliyor.

Zımbalama dayanımı hesaplanır:

$$V_{pr} = \gamma \cdot f_{ctd} \cdot U_p \cdot d, \text{ (C20 için } f_{ctd} = 10 \text{ kg/cm}^2\text{)} \quad (4.17)$$

$$V_{pr} = 54.25 \text{ t}$$

Zımbalama tahkiki yapılacaktır.

$$V_{pd} = 24.17 \text{ t}$$

$$V_{pr} = 54.25 \text{ t}$$

$$V_{pr} \geq V_{pd} \text{ dir. Zımbalama dayanımı yeterlidir.} \quad (4.18)$$

4.1.2.2 Kenar Kolon İçin Hesap

Zımbalama çevresi:

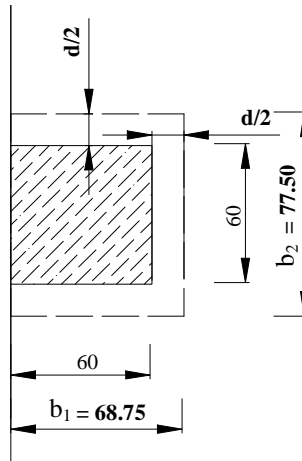
$$l_{11} = 4.00 \text{ m}$$

$$l_{21} = 5.00 \text{ m}$$

$$b_1 = a + d/2 = 60.00 \text{ cm} + 8.75 \text{ cm} = 68.75 \text{ cm} \quad (4.19)$$

$$b_2 = b + d = 60.00 \text{ cm} + 17.50 \text{ cm} = 77.50 \text{ cm} \quad (4.20)$$

$$U_p = 2 (b_1 + b_2) = 292.50 \text{ cm}$$



Şekil 4.3 Kenar Kolon Zımbalama Çevresi

Zımbalama alanı içindeki tasarım yükü:

$$F_a = b_1 \cdot b_2 \cdot P_d = 0.66 \text{ t}$$

Kolonun yük aldığı alan içerisindeki tasarım yükü:

$$F_d = l_{11}/2 \cdot l_2 \cdot P_d = 12.30 \text{ t}$$

Zımbalama tasarım kuvveti;

$$V_{pd} = F_d - F_a = 11.64 \text{ t}$$

$\gamma = 1$ olarak kabul ediliyor.

Zımbalama dayanımı hesaplanır:

$$V_{pr} = \gamma \cdot f_{ctd} \cdot U_p \cdot d, \text{ (C20 için } f_{ctd} = 10 \text{ kg/cm}^2\text{)}$$

$$V_{pr} = 51.19 \text{ t}$$

Zımbalama tahkiki yapılır:

$$V_{pd} = 11.64 \text{ t}$$

$$V_{pr} = 51.19 \text{ t}$$

$V_{pr} \geq V_{pd}$ dir ve zımbalama dayanımı yeterlidir.

4.1.3 Toplam Statik Momentin Hesaplanması

Sol ve Sağ şeritte toplam statik momenti:

$$M_0 = \frac{P_d l_2 l_n^2}{8} \quad (4.21)$$

$$P_d = 1.23 \text{ t/m}^2$$

$$l_{11} = 5.00 \text{ m}$$

$$l_n = 3.40 > 4.00 \text{ m} \times 0.65 = 2.6 \text{ m} \quad (4.22)$$

$$M_0 = 8.89 \text{ tm}$$

Orta şeritte toplam statik momenti;

$$P_d = 1.23 \text{ t/m}^2$$

$$l_{21} = 4.00 \text{ m}$$

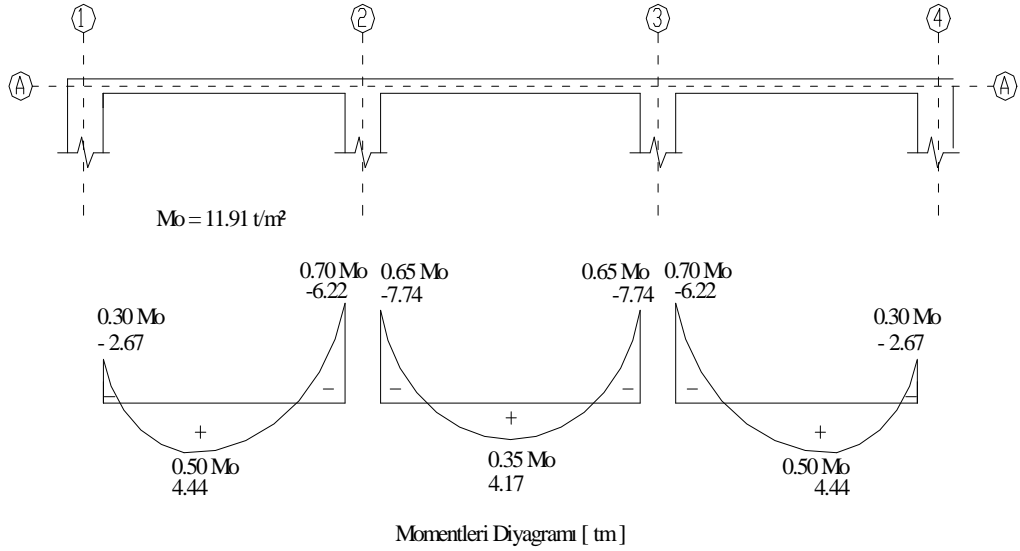
$$l_n = 4.40 > 5.00 \text{ m} \times 0.65 = 3.25 \text{ m}$$

$$M_o = 11.91 \text{ tm}$$

4.1.4 Momentlerin Şeritlere Dağılılması

Çizelge 4.1 Momentlerin Şeritlere Dağılılması

Sol Açıklık			Orta Açıklık		Sağ Açıklık		
Dış Mesnet	Açıklık	İç Mesnet	Mesnet	Açıklık	İç Mesnet	Açıklık	Dış Mesnet
Bir Kolon İki Yarım Orta Şerit İçin							
2.67	4.44	6.22	7.74	4.17	6.22	4.44	2.67
Kolon Şerite Ait Momentler (Kenar Kirişi Yok)							
2.67	2.67	4.67	5.80	2.50	4.67	2.67	2.67
Orta Şerite Ait Momentler (Kenar Kirişi Yok)							
0.00	1.78	1.56	1.93	1.67	1.56	1.78	0.00
Döşemenin Tamamının Kolonlara Oturması Durumu Birim (tm)							



Şekil 4.4 Bir Kolon İki Yarım Orta Şeride Ait Momentler

4.1.5 Donatı Hesabı Sonuçları

Çizelge 4.2 Donatı Hesap Sonuçları

Döşemenin Tamamen Kolonlara Oturması Durumu		
Açıklık	Kolon Şerit	Orta Şerit
Sol	Ø10/20	Ø10/20
Orta	Ø10/20	Ø10/20
Sağ	Ø10/20	Ø10/20

4.2 Eşdeğer Çerçeve Yöntemi

Uygulamada; kirişsiz bir döşeme sisteminden çıkarılmış kirişsiz bir döşeme şeridi ele alınacaktır. Şerit üç açıklıklı olup sistemin orta akslarından birine aittir. Uygulama kapsamında TS 500'e göre, sistemin eşdeğer çerçeve yöntemine göre hesabı ve donatı hesabı yapılacaktır.

Kat yüksekliği 300 cm olarak alınacaktır.

Hesap açıklıkları:

$$l_{11} = 4.00 \text{ m}, l_{21} = 4.00 \text{ m}, l_{31} = 4.00 \text{ m}$$

Hesap doğrultusuna dik yöndeki uzunluk:

$$l_{12} = 4.00 \text{ m}, l_{22} = 4.00 \text{ m}, l_{32} = 4.00 \text{ m}$$

Döşeme kalınlıkları;

$$h_1=20 \text{ cm}, h_2=20 \text{ cm}, h_3=20 \text{ cm}$$

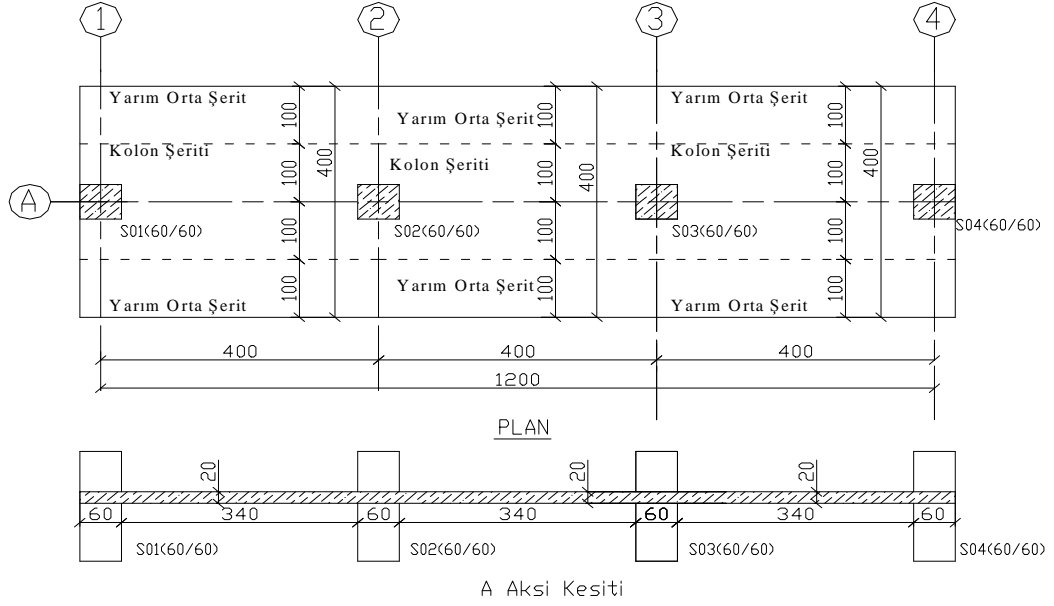
Sabit yükler:

$$g_1 = 0.650 \text{ t/m}^2, g_2 = 0.650 \text{ t/m}^2, g_3 = 0.650 \text{ t/m}^2$$

Hareketli yükler:

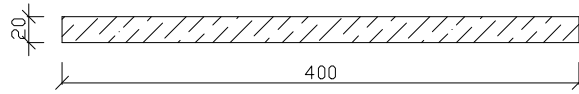
$$q_1 = 0.200 \text{ t/m}^2, q_2 = 0.200 \text{ t/m}^2, q_3 = 0.200 \text{ t/m}^2$$

Tüm kolon boyutları 60 cm x 60 cm olup akstan kaçıklıkları 30 cm`dir.



Şekil 4.5 Sistem

4.2.1 Eşdeğer Çerçeve Doğrultusundaki Döşemenin Atalet Momenti

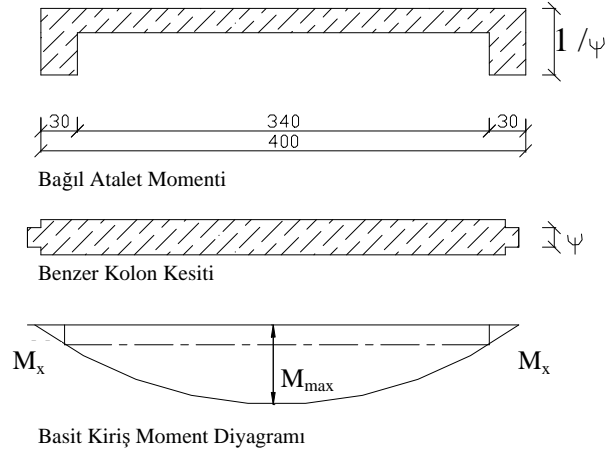


Şekil 4.6 Döşeme Kesiti

$$I_s = \frac{I_2 \cdot h_f^3}{12} \quad (4.23)$$

$$I_s = 26.67 \text{ dm}^4$$

4.2.2 Döşeme Kiriş Elemanı Parametreleri



Şekil 4.7 Döşeme Kiriş Elemanı

$$\psi = \left(1 - \frac{c_2}{I_2}\right)^2 \quad (4.24)$$

$$1/\psi = 1.38$$

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} \quad (4.25)$$

$$M_{\max} = 200 \text{ tdm} \quad (q = 1 \text{ olarak hesaplandı.})$$

$$M_x = \frac{q \cdot l}{2} x - \frac{q x^2}{2} \quad (4.26)$$

$$M_x = 55.5 \text{ tdm.} \quad (x = 3 \text{ dm})$$

Benzer kesit alanı:

$$A = 38.34 \text{ dm}^2/\text{dm}$$

Benzer atalet momenti:

$$I = 4758.99 \text{ dm}^4$$

Birim deplasman sabiti katsayıları:

$$S_{ii} = \frac{L}{A} + \frac{L}{I} \left(\frac{L}{2}\right)^2 \quad (4.27)$$

$$S_{ij} = -\frac{L}{A} + \frac{L}{I} \left(\frac{L}{2} \right)^2 \quad (4.28)$$

$$S_{ii} = 4.4054$$

$$S_{ij} = 2.3188$$

Geçiş sayıları:

$$CoF = \frac{S_{ij}}{S_{ii}} \quad (4.29)$$

$$CoF = 0.5264$$

Moment diyagram alanı:

$$M_A = 5242.53$$

Ankastrelik moment katsayısı:

$$FEM = \frac{MA}{A \cdot I_1^2} \quad (4.30)$$

$$FEM = 0.085$$

Döşeme Eğilme Rijitliği:

$$K_s = \frac{S_{ii} \cdot E \cdot I_s}{I_1} \quad (4.31)$$

$$K_s = 2.937E \text{ tdm}$$

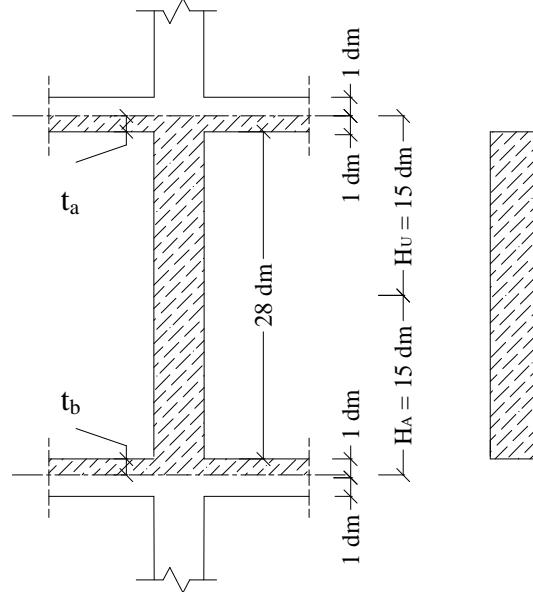
Açıklıklar, döşeme kalınlığı ve kolon boyutları aynı olduğundan diğer açıklıklar içinde döşeme kiriş elemanı parametreleri aynıdır.

4.2.3 Kolon Parametreleri

Kolon alanı:

$$A = 28 \text{ dm}^2/\text{dm}$$

Atalet momenti:
 $I = 1829.33 \text{ dm}^4$



Şekil 4.8 Kolon Kesiti

Birim deplasman sabiti katsayıları:

$$S_{tt} = \frac{H}{A} + \frac{H \cdot H_U^2}{I} \quad (4.32)$$

$$S_{tt} = S_{bb} = 4.761$$

$$S_{tb} = -\frac{H}{A} + \frac{H \cdot H_A \cdot H_U}{I} \quad (4.33)$$

$$S_{tb} = S_{bt} = 2.618$$

Kolonlarda geçiş sayıları:

$$\text{COF}_{tb} = \frac{S_{bt}}{S_{bb}} \quad (4.34)$$

Kolon üst noktası rijitliği:

$$K_{c2} = S_{tt} \frac{E.I}{H} \quad (4.35)$$

$$K_{c2} = 17.141E \text{ tdm}$$

Kolon alt noktası rijitliği:

$$K_{c1} = S_{bb} \frac{E.I}{H} \quad (4.36)$$

$$K_{c1} = 17.141E \text{ tdm}$$

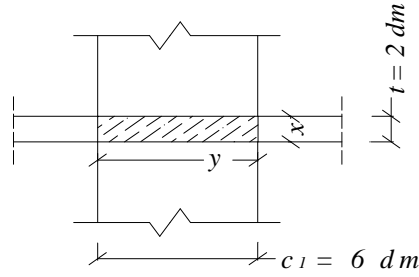
Kolon toplam rijitliği:

$$K_c = K_{c1} + K_{c2} \quad (4.37)$$

$$K_c = 34.281E \text{ tdm}$$

Tüm kolon boyutları aynı olduğu için hesap tüm kolonlar için geçerlidir.

4.2.4 Burulma Elemanı Parametreleri



Şekil 4.9 Burulma Elemanı

Burulma katsayısı hesaplanır:

$$C = \sum (1 - 0.6 \frac{x}{y}) (\frac{x^3 y}{3}) \quad (4.38)$$

$$C = 12.80 \text{ dm}^4$$

4.2.5 Kolonların Burulma Rijitlikleri

$$K_t/E_c = 9C / [1(1 - c_2/I_2)^2] \quad (4.39)$$

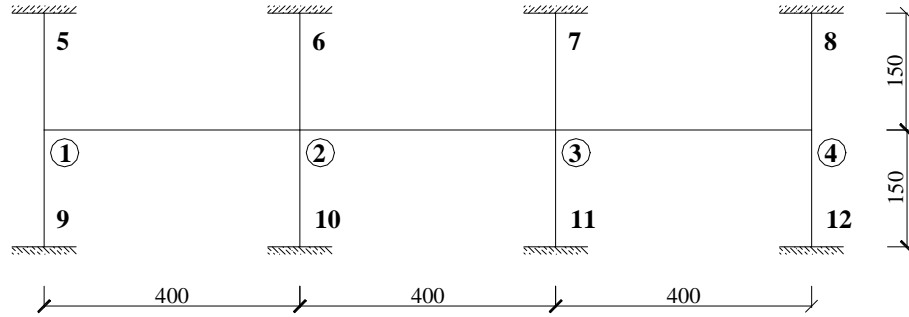
$$K_t = 9.379E \text{ tdm}$$

4.2.6 Eşdeğer Kolon Rijitlikleri

$$\frac{1}{K_{ec}} = \frac{1}{\sum K_c} + \frac{1}{\sum K_t} \quad (4.40)$$

$$K_{ec} = 7.364E \text{ tdm}$$

4.2.7 Cross Yöntemi ile Hesap



Şekil 4.10 Hesap Yapılacak Sitem

Çizelge 4.3 1. Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü

ÇUBUK	BDSbt.	Formül	Sonuç	Dağ. Say.
1-2 Çubuğunda	m_1Q_1	K_s	2.936995	0.285
1-5 Çubuğunda	m_1Q_1	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.357
1-9 Çubuğunda	m_1Q_1	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.357

Top m_1Q_1	10.30135	1	Kontrol
--------------	----------	---	---------

Çizelge 4.4 2. Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü

ÇUBUK	BDSbt.	Formül	Sonuç	Dağ. Say.
2-1 Çubuğunda	m_2Q_2	K_s	2.936995	0.222
2-3 Çubuğunda	m_2Q_2	K_s	2.936995	0.222
2-6 Çubuğunda	m_2Q_2	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.278
2-10 Çubuğunda	m_2Q_2	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.278

Top m_2Q_2	13.23834	1	Kontrol
--------------	----------	---	---------

Çizelge 4.5 3. Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü

ÇUBUK	BDSbt.	Formül	Sonuç	Dağ. Say.
3-2 Çubuğunda	m_3Q_3	K_s	2.936995	0.222
3-4 Çubuğunda	m_3Q_3	K_s	2.936995	0.222
3-7 Çubuğunda	m_3Q_3	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.278
3-11 Çubuğunda	m_3Q_3	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.278

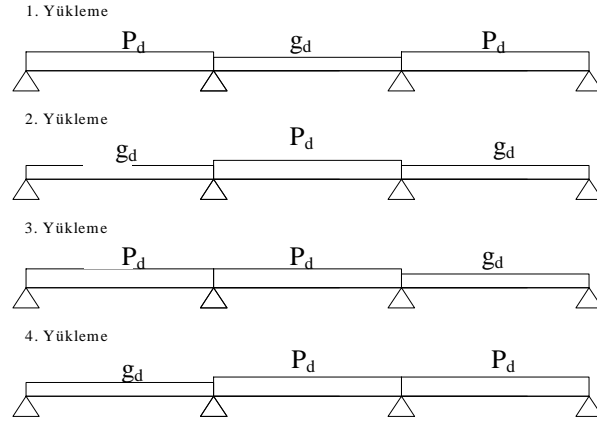
Top m_3Q_3	13.23834	1	Kontrol
--------------	----------	---	---------

Çizelge 4.6 4. Düğüm Noktası Dağıtma Sayıları ve Kontrolü

ÇUBUK	BDSbt.	Formül	Sonuç	Dağ. Say.
4-3 Çubuğunda	m_4Q_4	K_s	2.936995	0.285108
4-8 Çubuğunda	m_4Q_4	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.357446
4-12 Çubuğunda	m_4Q_4	$K_{ec}*(K_{c1}/K_c)$	3.682175	0.357446

Top m_4Q_4	10.30135	1	Kontrol
--------------	----------	---	---------

Yapılacak yüklemeler:



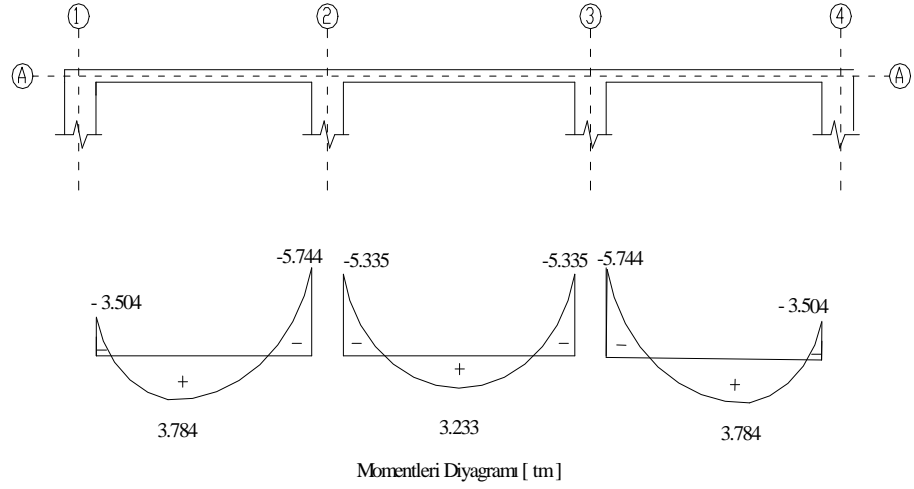
Şekil 4.11 Yüklemeler

Çizelge 4.7 Moment ve Kesme Kuvveti Sonuçları

Momentler	(tm)	Momentler	(tm)	Momentler	(tm)
1. Açıklık		2. Açıklık		3. Açıklık	
i ucu ask momenti	5.076	i ucu ask momenti	7.039	i ucu ask momenti	7.550
i ucu mesnet momenti	3.504	i ucu mesnet momenti	5.335	i ucu mesnet momenti	5.744
j ucu ask momenti	7.550	j ucu ask momenti	7.039	j ucu ask momenti	5.076
j ucu mesnet momenti	5.744	j ucu mesnet momenti	5.335	j ucu mesnet momenti	3.504
Mmax (açıklık)	3.784	Mmax (açıklık)	3.233	Mmax (açıklık)	3.784
Kesme Kuvveti (t)		Kesme Kuvveti (t)		Kesme Kuvveti (t)	
i ucu ask k.k.	9.337	i ucu ask k.k.	9.995	i ucu ask k.k.	10.506
i ucu mesnet k.k	7.861	i ucu mesnet k.k	8.519	i ucu mesnet k.k	9.030
j ucu ask k.k	10.506	j ucu ask k.k	9.995	j ucu ask k.k	9.337
i ucu mesnet k.k	9.030	i ucu mesnet k.k	8.519	i ucu mesnet k.k	7.861

Çizelge 4.8 Şerit Momentleri

	1. Açıklık (tm)			2. Açıklık (tm)			3. Açıklık (tm)		
	dışmes	açıklık	içmes	dışmes	açıklık	içmes	dışmes	açıklık	içmes
E.Çerçeve Mom.	3.504	3.784	5.744	5.335	3.233	5.335	5.744	3.784	3.504
Kolon Ş. Mom.	2.803	2.271	4.308	4.001	1.940	4.001	4.308	2.271	2.803
Orta Ş. Mom.	0.701	1.514	1.436	1.334	1.293	1.334	1.436	1.514	0.701



Şekil 4.12 Eşdeğer Çerçeveye Ait Moment

4.2.8 Donatı Hesabı

Çizelge 4.9 Şeritlere Göre Donatılar

Şeritlere Göre Donatılar		
Açıklık	Kolon Şerit	Orta Şerit
Sol	Ø10/20	Ø10/20
Orta	Ø10/20	Ø10/20
Sağ	Ø10/20	Ø10/20

4.3 Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Karşılaştırmalı örneklerde Moment Katsayılar Yöntemi ve Eşdeğer Çerçeve Yöntemi ile hesap, tez kapsamında geliştirilen programlarla yapılacaktır. MKY Kirişsiz V.1.0 ve Kirişsiz Döşeme V.Beta isimindeki programlar Vusial Basic ile yazılmıştır.

MKY Kirişsiz V.1.0:

Geliştirilen programda basit ve hızlı çözüm mantık alınmıştır. Vusial Basic, Excel, Autocad programları ortak olarak kullanılmaktadır. Statik çözüm, zımbalama hesabı, donatı hesabı, metraj, çizimlerin yapılması gibi kabiliyetler verilmiştir. Programda birçok Windows uygulamalarındaki çekme mönüleri, araç çubukları, sağ tuş mönüsü, durum çubuğu, komut düğmeleri, yazıcı ayarları, kayıt, dosya aç ve yeni proje komutları, klavye kısayolları, yardım dosyası, sistem simgesi, grafiklerle zenginleştirilmiş lejantlı yazıcı çıktıları, Windows işletim sisteminin dosyalarını kullanma, otomatik boyut ayarlama gibi özellikler eklendi.

Kirişsiz Döşeme V.Beta:

Eşdeğer çerçeve yönteminin uygulaması, çokça örnek elde edilmesi, farklı yöntemlerle mukayese edilebilmesi için program geliştirilmiştir. Geliştirilen programda basit ve hızlı çözüm mantık alınmıştır. Bu programa da MKY Kirişsiz V1.0`daki özellikler kazandırılmıştır.

Sonlu elemanlar hesap yöntemi ile hesap, SAP2000 statik analiz paket programı ile yapıldı. Sonlu elemanlarla ilgili ve SAP2000`de kullanılan kabuller, sonuçların değerlendirilmesi tez kapsamında daha önceki bölümlerde anlatılmıştır.

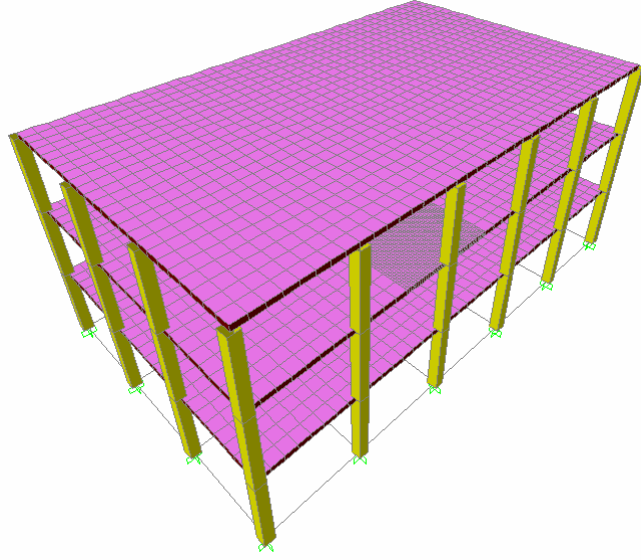
4.3.1 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulamalar

Her karşılaştırmalı sayısal uygulama için bir çizelge hazırlanmıştır. Çizelgede sayısal uygulamaya ait parametreler ve hesap sonrasında oluşan kesit tesirleri bulunmaktadır. Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1 için hazırlanan Çizelge 4.11`de sisteme ait parametreler grafiksel olarak da verilmiştir. Değişkenlerden H; kat yüksekliği ve I ; açıklık parametrelerinin isimleridir. I_{11} `de, I `nin birinci indisi yön, ikinci indisi açıklık ismidir. 1. yön hesap doğrultusu, 2. yön ise hesap yönüne dik olan doğrultudur. h döşeme kalınlığı, a, b ve c ise kolonun aksa yerleşimindeki ilgili mesafeleridir. Yine g sabit, P_d hesap yükü olarak alınmıştır.

Çizelge 4.10 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulamalar

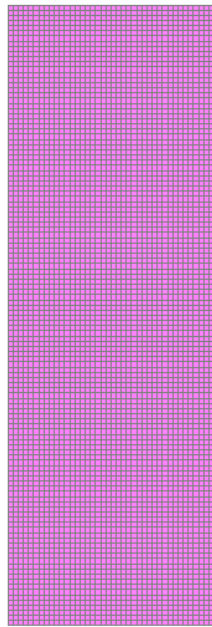
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama Sıra	Çizelge No	Açıklama
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1	Çizelge 4.11	Tüm Açıklıklara Hesap (P_d) Yükünün Atanması
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 2	Çizelge 4.12	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1`de Kolon ve Orta Şerit Momenti
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3	Çizelge 4.13	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1`de Tüm Yük Kombinasyonların Uygulanması
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4	Çizelge 4.14	Moment Katsayılar Yöntemine Göre Komşu Açıklıklar Arası Fark Uzun Açıklığın 1/3`den Fazla Olması Uyumsuzluğu
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 5	Çizelge 4.15	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4`de Tüm Kombinasyonların Uygulanması
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6	Çizelge 4.16	Moment Katsayılar Yöntemine Göre Kısa Kenar Uzun Kenar Uyumsuzluğu
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 7	Çizelge 4.17	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6`da Tüm Kombinasyonların Uygulanması
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8	Çizelge 4.18	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6`da Kolon ve Orta Şerit Momenti
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9	Çizelge 4.19	Moment Katsayılar Yöntemine Göre Kolon Dışmerkezliği Hesap Açıklığının 1/10`dan Fazla Olması Uyumsuzluğu
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 10	Çizelge 4.20	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9`da Kolon ve Orta Şerit Momenti
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 11	Çizelge 4.21	Moment Katsayılar Yöntemine Göre Hareketli Yükün Kalıcı Yüke Oranı 2`den Fazla Olması Uyumsuzluğu
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12	Çizelge 4.22	Simetrik Olmayan Sistem
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 13	Çizelge 4.23	Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12`de Diğer Yönde Hesap
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14	Çizelge 4.24	ACI 318 Doğrudan Dizayn, TS500 Moment Katsayılar Yöntemlerinin Karşılaştırılması
Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 15	Çizelge 4.29	ACI 318, TS500 Eşdeğer Çerçeve Yöntemlerinin Karşılaştırılması

İlk uygulamada tüm yöntemlere uyumluluk ve çıkan sonuçların yorumlanması için yapılmıştır. Üç açıklıklı bir sistem ele alınmıştır. Hesabı yapılacak düzlem, sistemin orta aksına ait düzlem şerittir.

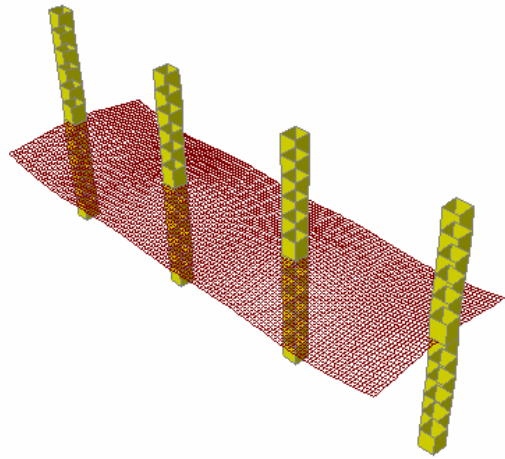


Şekil 4.13 Modelin 3 Boyutlu Görünüü

SAP2000`de tasarlanan 3 boyutlu model; kullanılacak hesap açıklığı doğrulusunda 3 açıklıklı, diğer yönde 5 açıklıklı olarak tasarlanmıştır. Döşeme sonlu eleman parçalarının (mesh) uzunluğu 0.1mx0.1m olarak seçilmiştir. Model içinde bir şerit ele alınacaktır.



a) X-Y Eksen

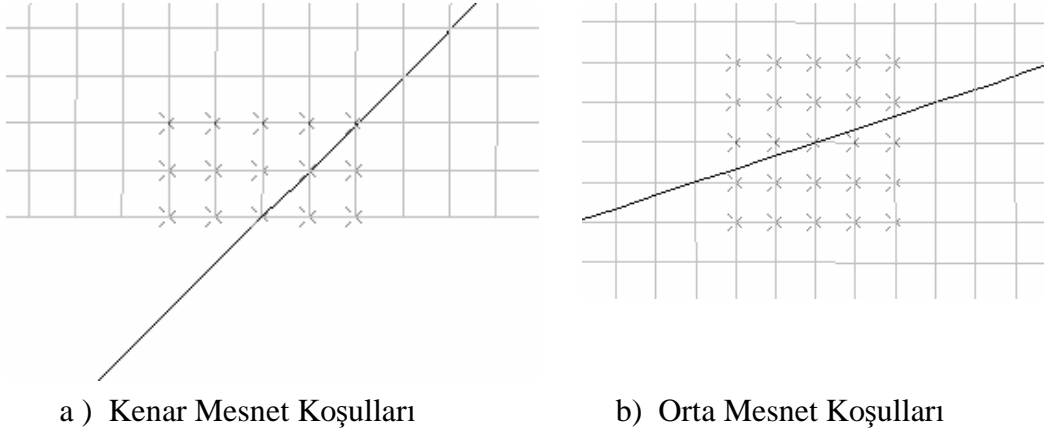


b) 3D Görünüü

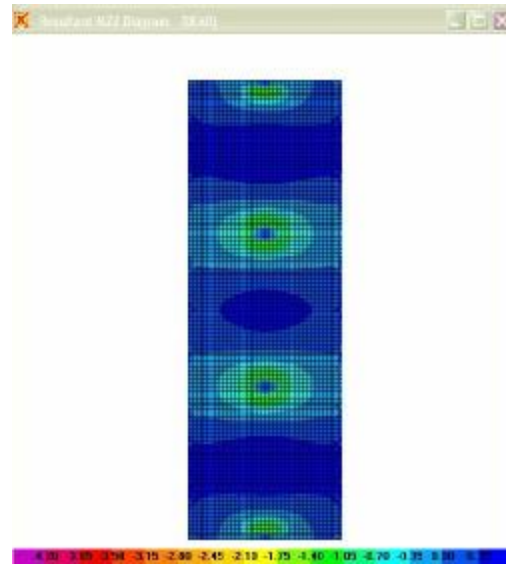
Şekil 4.14 Döşeme Hesap Şeridi

Kolonlar döşeme içerisinde kesiti kadar bir rijit bölge oluştururlar. Programda ise kolonlar çubuk elemandır ve sadece bir düğüm noktasından döşemeye mesnetlidir. Bu sorunu kolonun kesitinin içinde kalan bölgedeki düğüm noktalarını rijit bir alan (vucut) oluşturarak çözeriz. (Constraints Body)

Yapılacak yüklemeler ardından kesit zorlarına ait diyagramlar alındı. Çizelge 4.11`de her üç yönteme ait kesit zorları, bir kolon iyi yarım orta şerit toplamı olarak hesaplanmış ve verilmiştir.

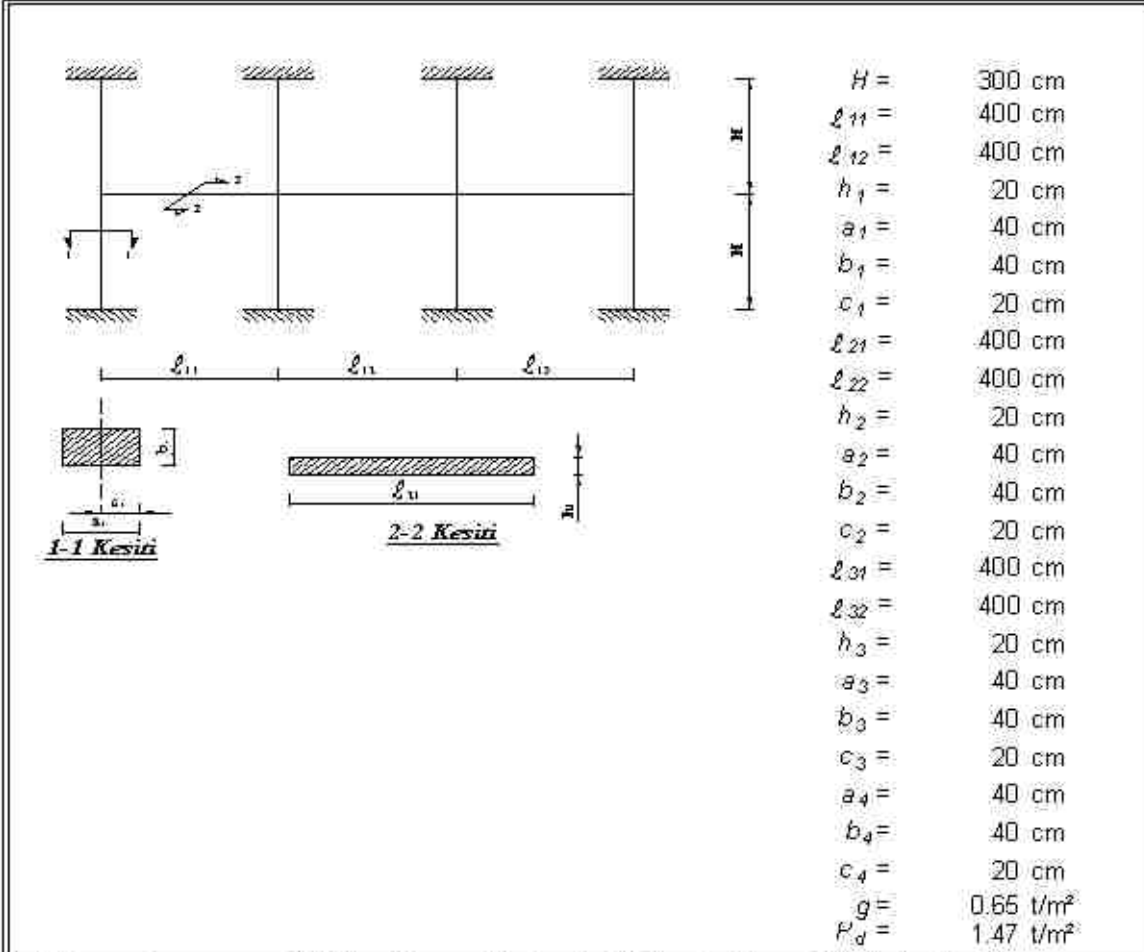


Şekil 4.15 Kolon-Döşeme Birleşimdeki Sonlu Elemanlar Ağı ve Oluşturulan Mesnet Koşulları



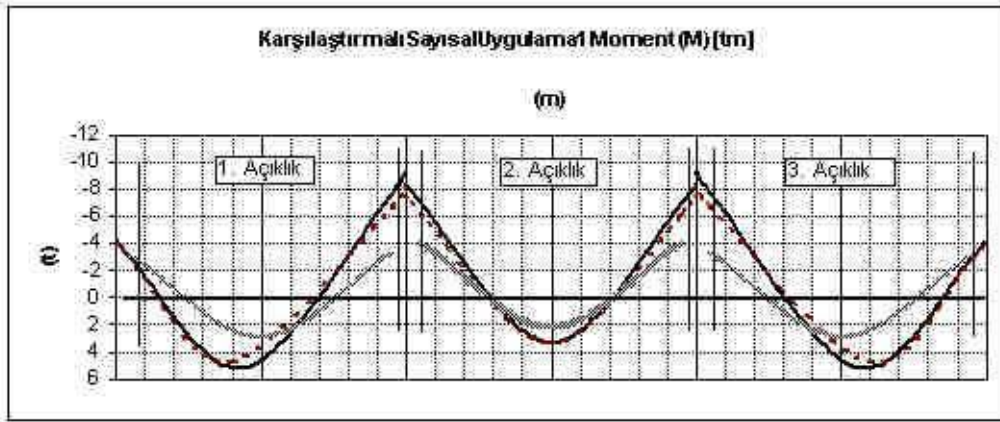
Şekil 4.16 Sistemdeki Bir Şeride Ait Moment Diyagramı

Çizelge 4.11 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1

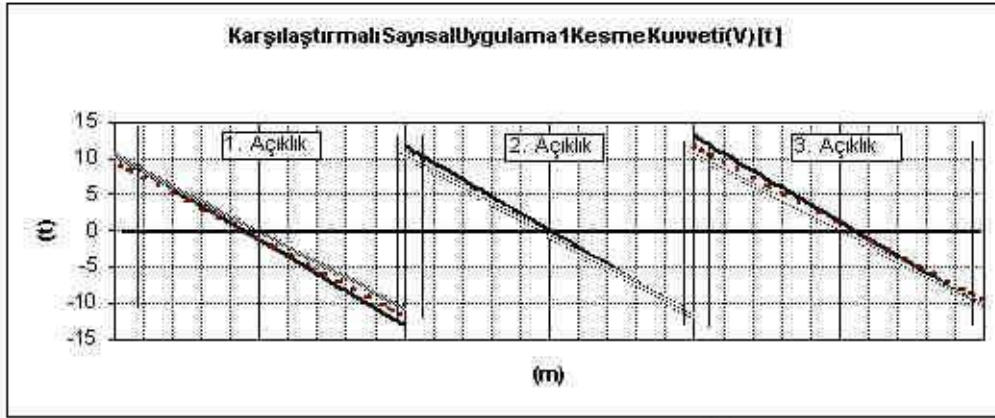


Sistem Açıklaması		1) Sistem Moment Katsayılar Yöntemine Uygun Olarak Seçilmiştir 2) Hareketli Yük Tüm Açıklıklara Atandı					
		Yük Kombinasyonu			P_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (tm)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1 Açıklık	Dış Mesnet	-3.99	-4.18		9.53	10.49	10.53
	Dış Düzeltilmiş	-2.86	-2.93	-3.18	8.47	9.31	9.47
	Açıklık	4.76	5.18	2.90			
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-7.68	-3.37	-10.58	-11.86	-9.58
	İç Mesnet	-8.08	-9.27		-11.64	-13.03	-10.64
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-7.46	-8.40		10.58	11.76	10.58
	İç Düzeltilmiş 1	-6.19	-6.99	-4.13	9.53	10.58	9.53
	Açıklık	3.33	3.36	2.18			
	İç Düzeltilmiş 2	-6.19	-6.99	-4.13	-10.58	-10.58	-10.58
	İç Mesnet 2	-7.46	-8.40		-11.76	-11.76	-11.76
3 Açıklık	İç Mesnet	-8.08	-9.27		11.64	13.03	10.64
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-7.68	-3.37	10.58	11.86	9.58
	Açıklık	4.76	5.18	2.90			
	Dış Düzeltilmiş	-2.86	-2.93	-3.18	-8.47	-9.31	-9.47
	Dış Mesnet	-3.99	-4.18		-9.53	-10.49	-10.53

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



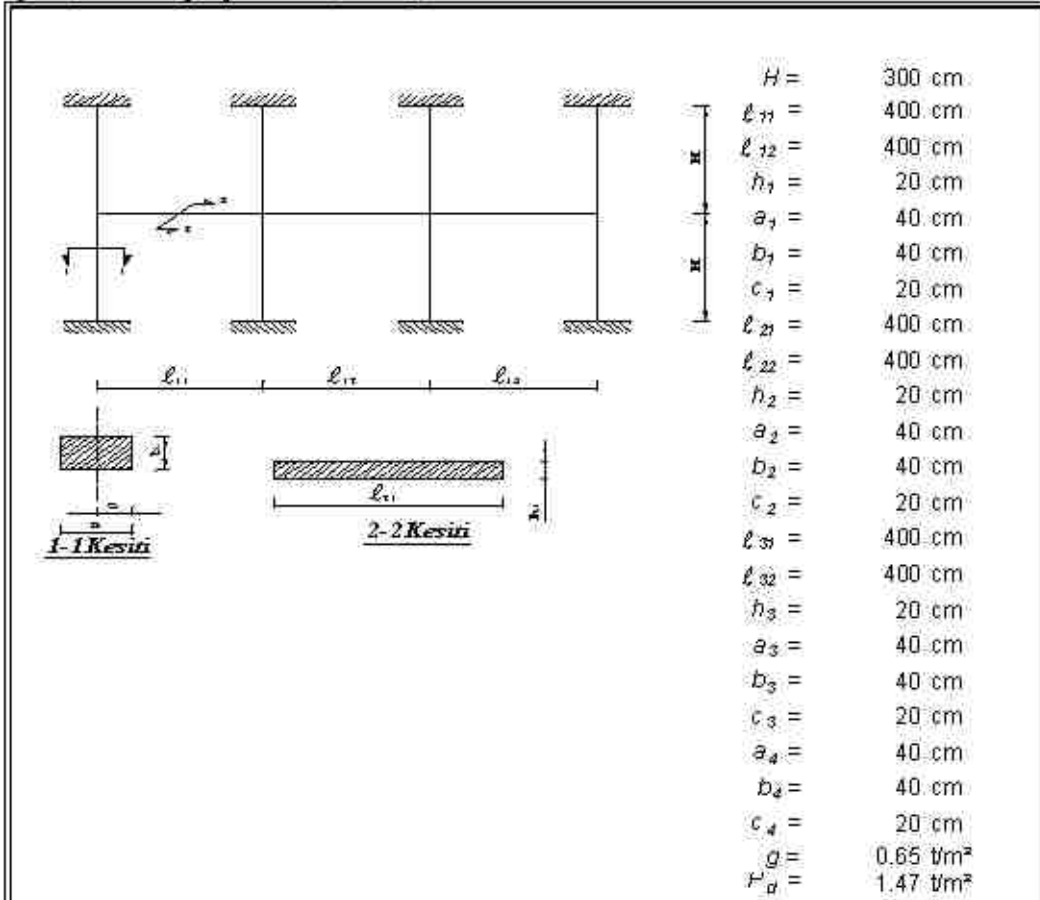
Şekil 4.17 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1 Moment Grafiği



Şekil 4.18 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1 Kesme Kuvveti Grafiği

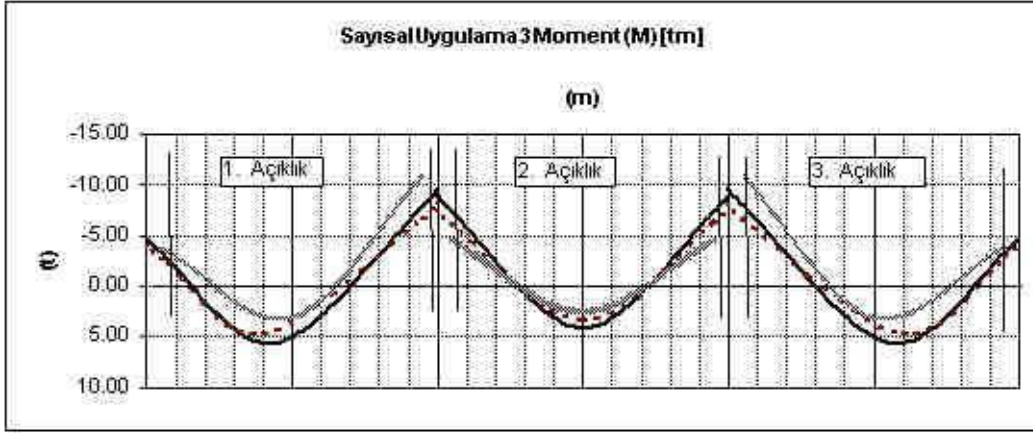
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- - - Moment Katsayılar Yöntemi
- ... Sonlu Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.13 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 2

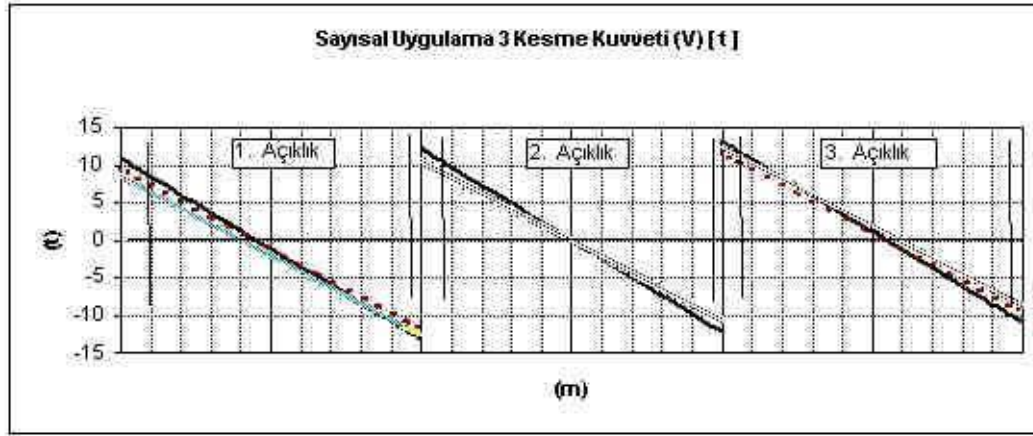


Sistem Açıklaması		Sistem Moment Katsayılar Yöntemine Uygun Olarak Seçilmiştir					
		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (tm)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1. Açıklık	Dış Mesnet	-3.99	-4.66		9.53	10.85	8.64
	Dış Düzeltilmiş	-2.86	-3.35	-3.86	8.47	9.68	7.58
	Açıklık	4.76	5.67	3.09			
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-7.99	-10.86	-10.58	-11.93	-11.47
	İç Mesnet	-8.08	-9.58		-11.64	-13.10	-12.53
2. Açıklık	İç Mesnet 1	-7.46	-8.86		10.58	12.19	10.58
	İç Düzeltilmiş 1	-6.19	-7.39	-4.58	9.53	11.01	9.53
	Açıklık	3.33	4.16	2.55			
	İç Düzeltilmiş 2	-6.19	-7.39	-4.58	-9.53	-11.01	-9.53
	İç Mesnet 2	-7.46	-8.86		-10.58	-12.19	-10.58
3. Açıklık	İç Mesnet	-8.08	-9.58		11.64	13.10	12.53
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-7.99	-10.86	10.58	11.93	11.47
	Açıklık	4.76	5.67	3.09			
	Dış Düzeltilmiş	-2.86	-3.35	-3.86	-8.47	-9.68	-7.58
	Dış Mesnet	-3.99	-4.66		-9.53	-10.85	-8.64

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



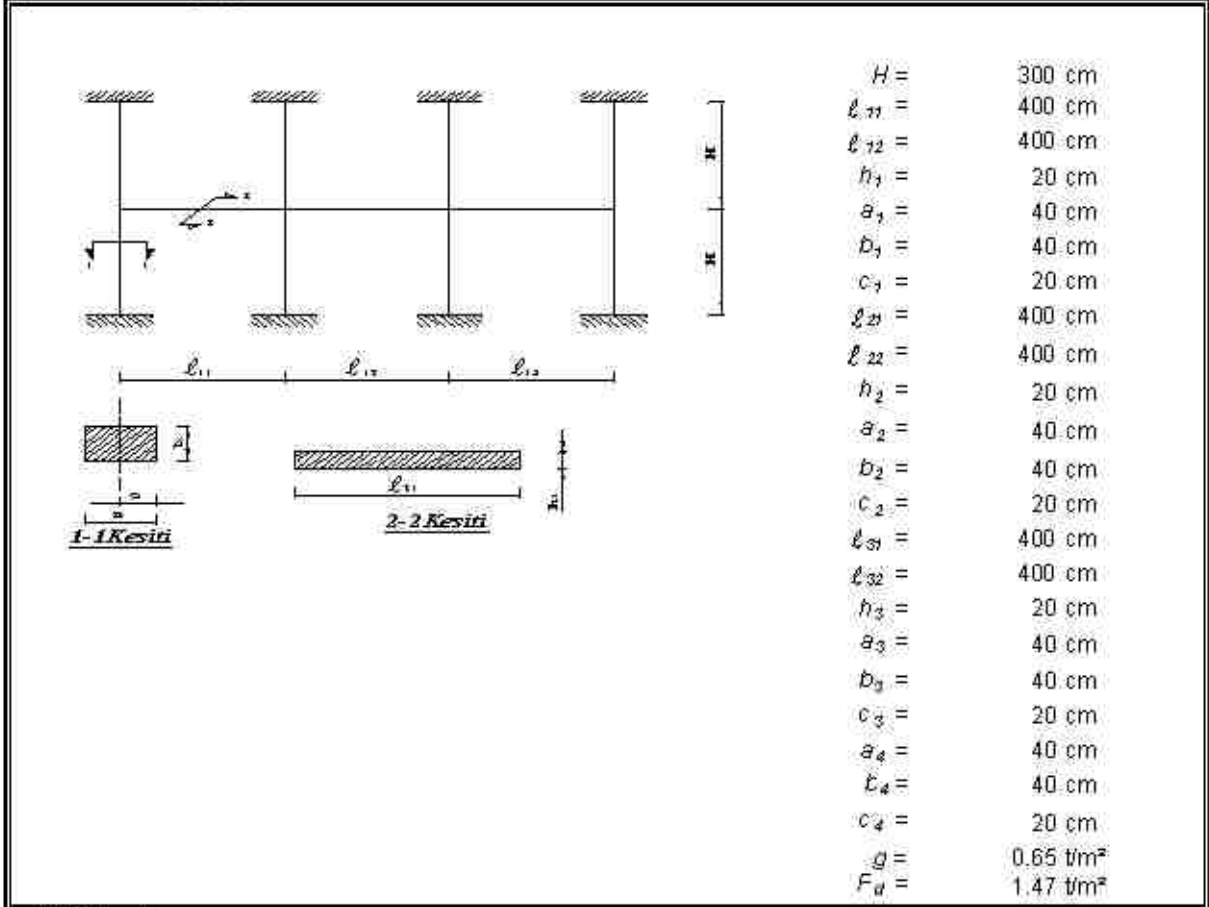
Şekil 4.19 Sayısal Uygulama 1 Moment Grafiği



Şekil 4.20 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1 Kesme Kuvveti Grafiği

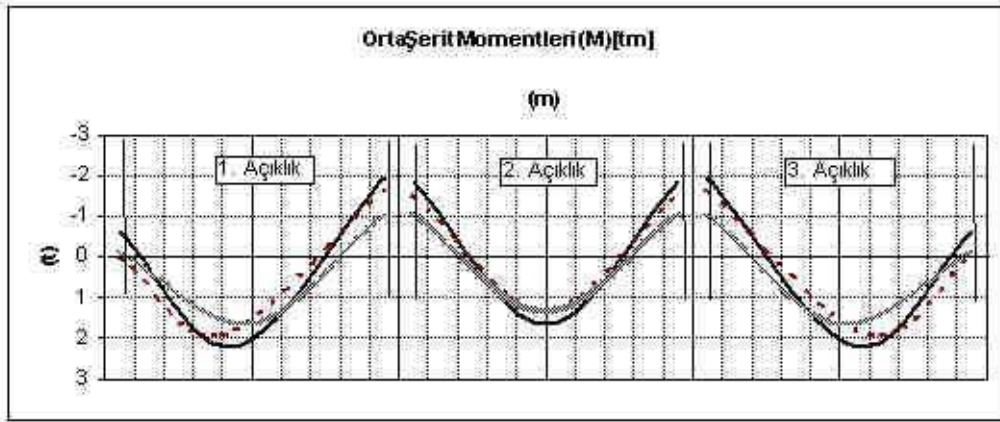
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- Moment Katsayılar Yöntemi
- Sönü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.12 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3

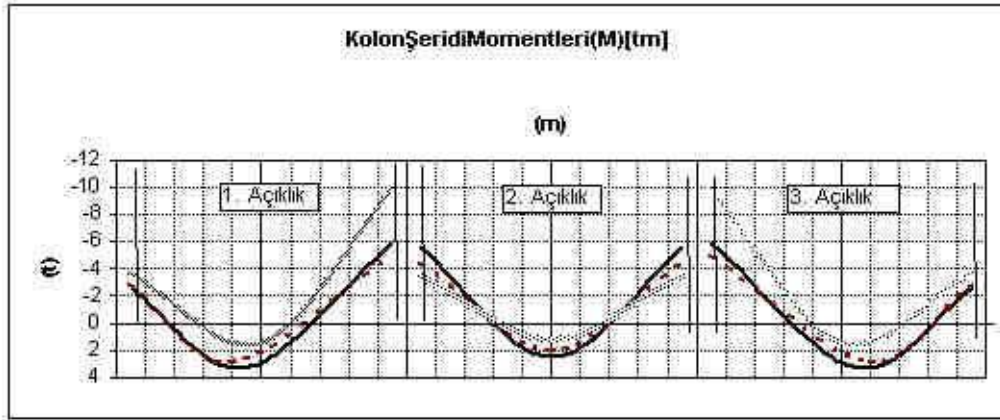


Sistem Açıklaması		Sistem Moment Katsayılar Yöntemine Uygun Olarak Seçilmiştir					
		Yük Kombinasyonu 1		P_d	g_d	P_d	
		Yük Kombinasyonu 2		g_d	P_d	g_d	
		Yük Kombinasyonu 3		P_d	P_d	g_d	
		Yük Kombinasyonu 4		g_d	P_d	P_d	
		MOMENTLER (tm)					
		M.K.Y.		E.Ç.Y.		S.E.Y.	
		Orta Şerit	Kolon Şerit	Orta Şerit	Kolon Şerit	Orta Şerit	Kolon Şerit
1 Açıklık	Dış Mesnet						
	Dış Düzeltilmiş	0.00	-2.86	-0.64	-2.57	-0.15	-3.71
	Açıklık	1.91	2.86	2.20	3.31	1.64	1.45
	İç Düzeltilmiş	-1.67	-5.00	-1.97	-5.92	-1.06	-9.80
2 Açıklık	İç Mesnet 1						
	İç Düzeltilmiş 1	-1.55	-4.46	-1.85	-5.54	-1.08	-3.50
	Açıklık	1.33	2.00	1.66	2.50	1.34	1.21
	İç Düzeltilmiş 2	-1.55	-4.46	-1.85	-5.54	-1.08	-3.50
3 Açıklık	İç Mesnet						
	İç Düzeltilmiş	-1.67	-5.00	-1.97	-5.92	-1.06	-9.80
	Açıklık	1.91	2.86	2.20	3.31	1.64	1.45
	Dış Düzeltilmiş	0.00	-2.86	-0.64	-2.57	-0.15	-3.71
	Dış Mesnet						

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



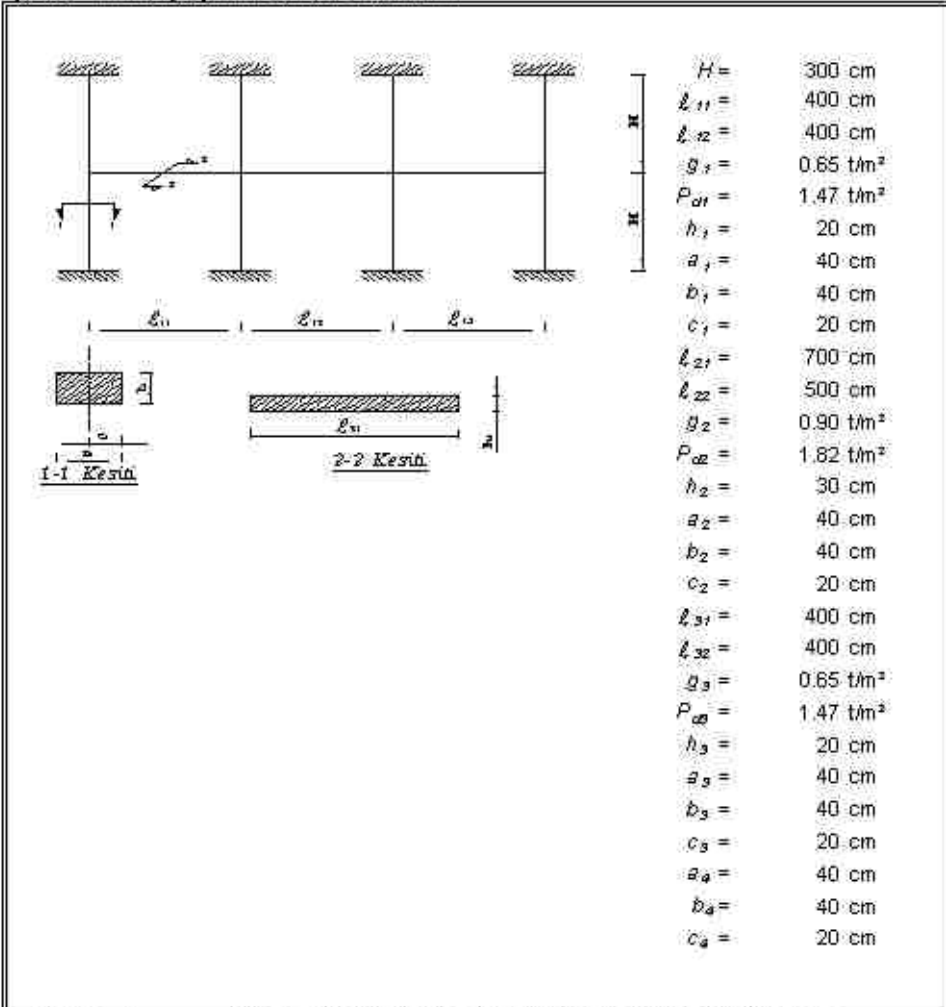
Şekil 4.21 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3 Orta Şerit Moment Grafiği



Şekil 4.22 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3 Kolon Şerit Moment Grafiği

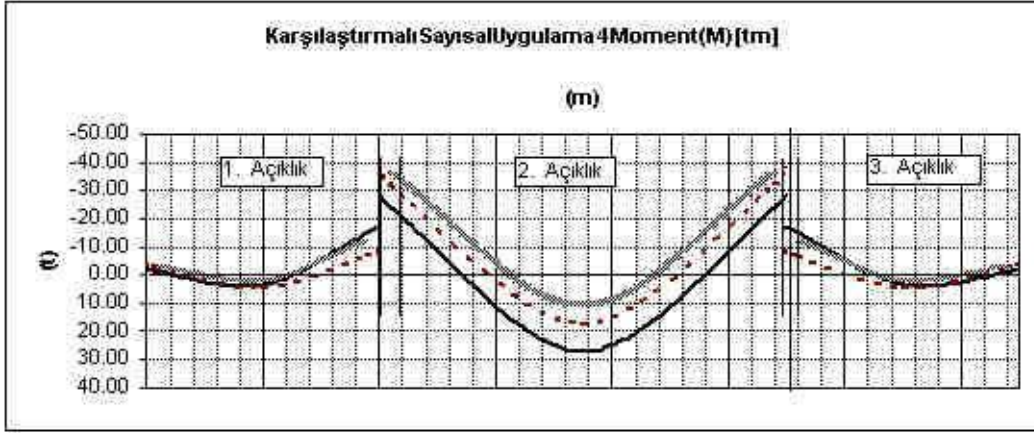
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- Moment Katsayılar Yöntemi
- Sırlı Elemanlar Yöntemi

Cizelge 4.14 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4

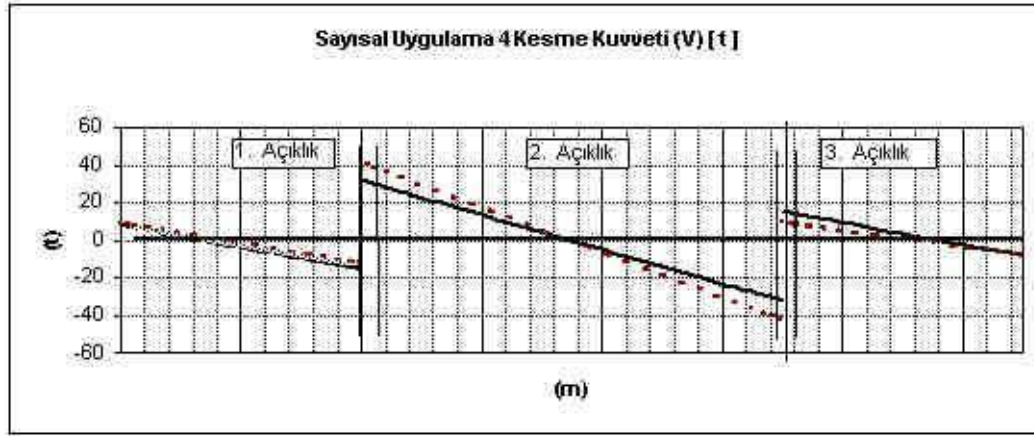


Sistem Açıklaması		1) Komşu Açıklıklar Arasındaki Fark Uzun Açıklığın 1/3' den Fazla 2) Hareketli Yük Tüm Açıklıklara Atandı					
		Yük Kombinasyonu			P_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (tm)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1 Açıklık	Diş Mesnet	-3.99	-1.96		9.53	8.04	8.00
	Diş Düzeltilmiş	-2.86	-1.04	-3.36	8.47	6.87	6.94
	Açıklık	4.76	3.54	1.99			
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-14.92	-12.68	-10.58	-14.30	-12.11
	İç Mesnet	-8.08	-16.82		-11.64	-15.48	-13.17
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-37.49	-26.35		42.04	31.85	42.04
	İç Düzeltilmiş 1	-32.21	-24.35	-36.78	39.64	30.03	39.64
	Açıklık	17.34	27.39	10.72			
	İç Düzeltilmiş 2	-32.21	-24.35	-36.78	-39.64	-30.03	-39.64
	İç Mesnet 2	-37.49	-26.35		-42.04	-31.85	-42.04
3 Açıklık	İç Mesnet	-8.08	-16.82		11.64	15.48	13.17
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-14.92	-12.68	10.58	14.30	12.11
	Açıklık	4.76	3.54	1.99			
	Diş Düzeltilmiş	-2.86	-1.04	-3.36	-8.47	-6.87	-6.94
	Diş Mesnet	-3.99	-1.96		-9.53	-8.04	-8.00

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



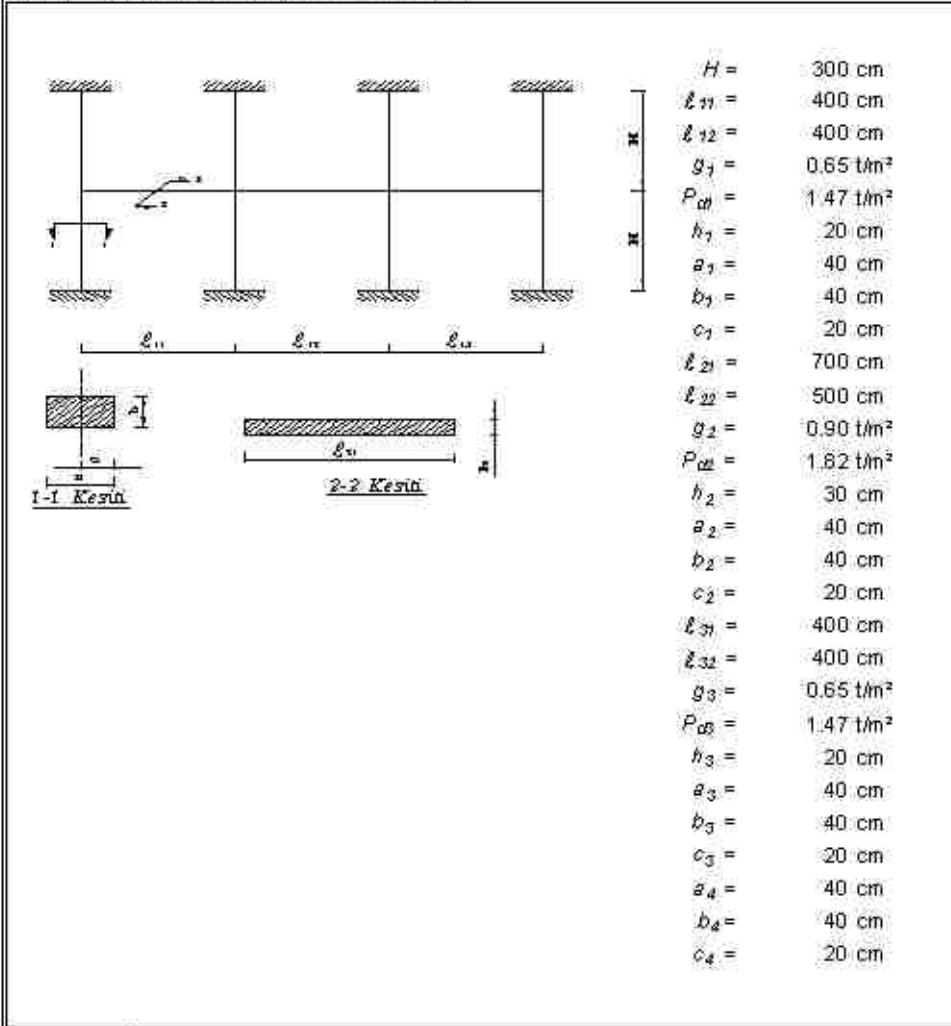
Şekil 4.23 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4 Moment Grafiği



Şekil 4.24 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4 Kesme Kuvveti Grafiği

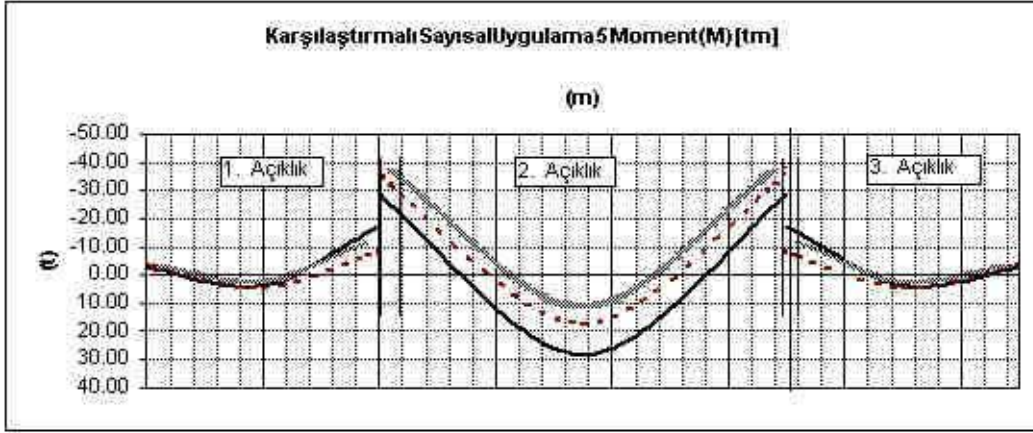
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- - - - - Moment Katsayılar Yöntemi
- Sönü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.15 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 5

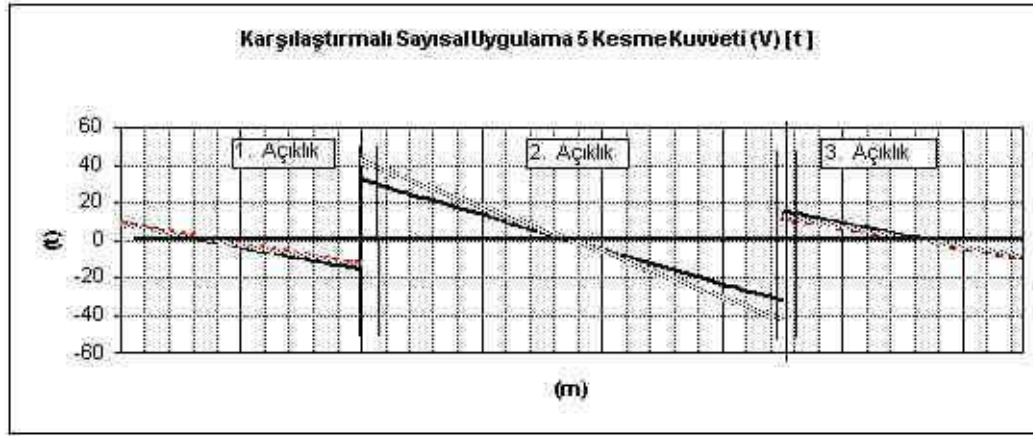


Sistem Açıklaması		Komşu Açıklıklar Arasındaki Fark Uzun Açıklığın 1/3'den Fazla					
		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (t.m)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1 Açıklık	Diş Mesnet	-3.99	-2.80		9.53	8.97	8.28
	Diş Düzeltilmiş	-2.86	-1.76	-3.65	8.47	7.79	7.22
	Açıklık	4.76	4.04	2.42			
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-15.10	-11.96	-10.58	-14.36	-11.83
	İç Mesnet	-8.08	-17.02		-11.64	-15.54	-12.89
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-37.49	-28.87		42.04	32.18	42.04
	İç Düzeltilmiş 1	-32.21	-24.82	-37.46	39.64	30.36	39.64
	Açıklık	17.34	28.66	11.15			
	İç Düzeltilmiş 2	-32.21	-24.82	-37.46	-39.64	-30.36	-39.64
	İç Mesnet 2	-37.49	-28.87		-42.04	-32.18	-42.04
3 Açıklık	İç Mesnet	-8.08	-17.02		11.64	15.54	12.89
	İç Düzeltilmiş	-6.67	-15.10	-11.96	10.58	14.36	11.83
	Açıklık	4.76	4.04	2.42			
	Diş Düzeltilmiş	-2.86	-1.76	-3.65	-8.47	-7.79	-7.22
	Diş Mesnet	-3.99	-2.80		-9.53	-8.97	-8.28

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



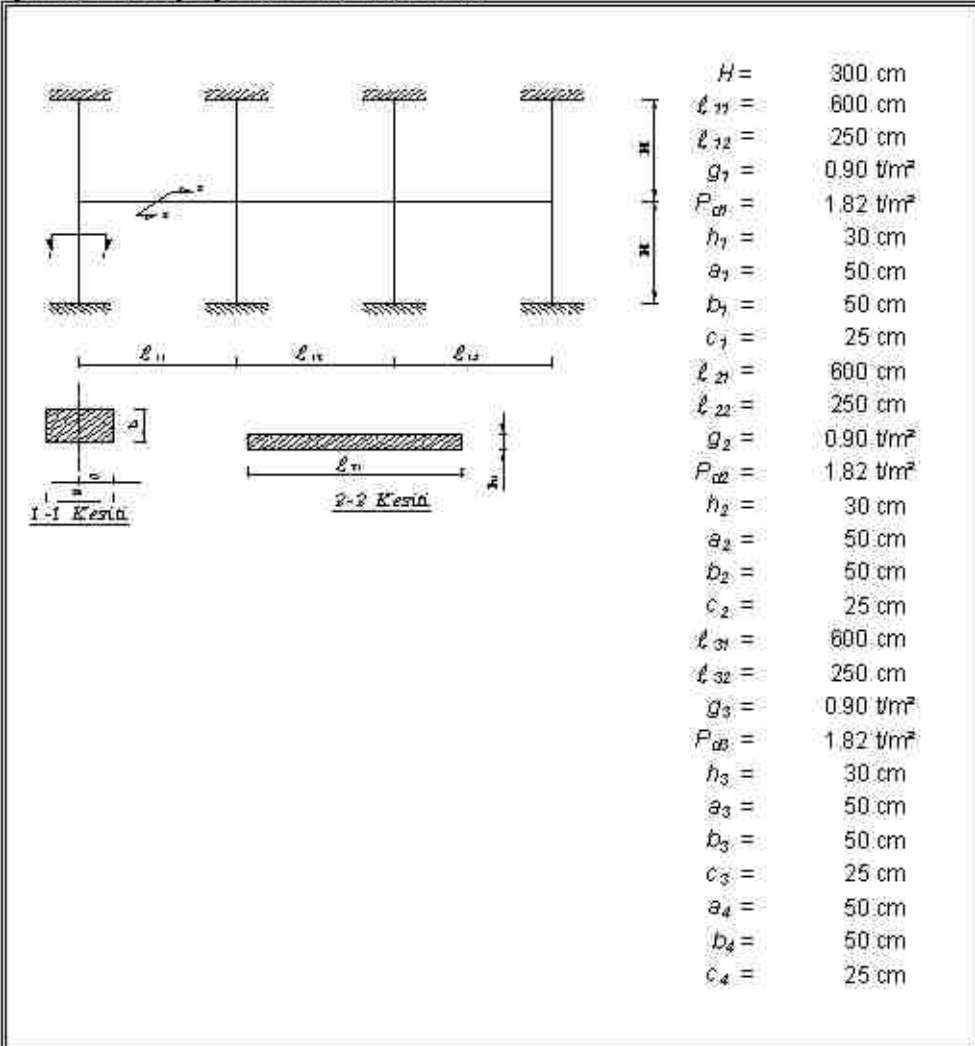
Şekil 4.25 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 5 Moment Grafiği



Şekil 4.26 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 5 Kesme Kuvveti Grafiği

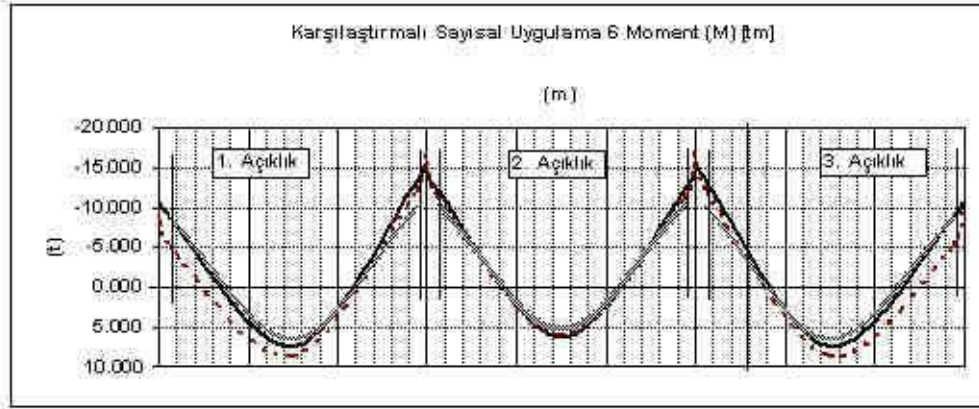
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- Moment Katsayılar Yöntemi
- Sönü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.16 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6

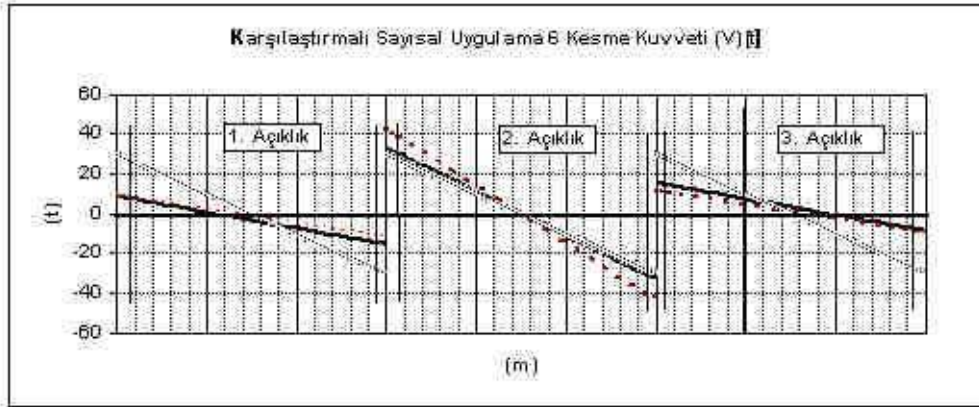


Sistem Açıklaması		1) M.K.Y. Kurallarından Uzun Kenarın Kısa Kenara \geq Oranı 2.00'dan 2) Hareketli Yük Tüm Açıklıklara Atandı					
		Yük Kombinasyonu			P_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (tm)			KESME KUWETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1 Açıklık	Dış Mesnet	-9.541	-10.747		28.779	12.873	29.805
	Dış Düzeltilmiş	-5.161	-8.791	-8.670	26.276	11.735	27.302
	Açıklık	8.602	7.463	6.490			
	İç Düzeltilmiş	-12.043	-13.195	-9.910	-28.779	-13.290	-27.753
2 Açıklık	İç Mesnet1	-15.771	-14.190		30.030	13.650	30.030
	İç Düzeltilmiş1	-11.183	-12.104	-10.360	27.528	12.512	27.528
	Açıklık	6.022	6.285	5.280			
	İç Düzeltilmiş2	-11.183	-12.104	-10.360	-27.528	-12.512	-27.528
3 Açıklık	İç Mesnet2	-15.771	-14.190		-30.030	-13.650	-30.030
	İç Mesnet	-16.840	-15.410		31.281	14.427	30.255
	İç Düzeltilmiş	-12.043	-13.195	-9.910	28.779	13.290	27.753
	Açıklık	8.602	7.463	6.490			
	Dış Düzeltilmiş	-5.161	-8.791	-8.670	-26.276	-11.735	-27.302
	Dış Mesnet	-9.541	-10.747		-28.779	-12.873	-29.805

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP 2000 Çözümü)



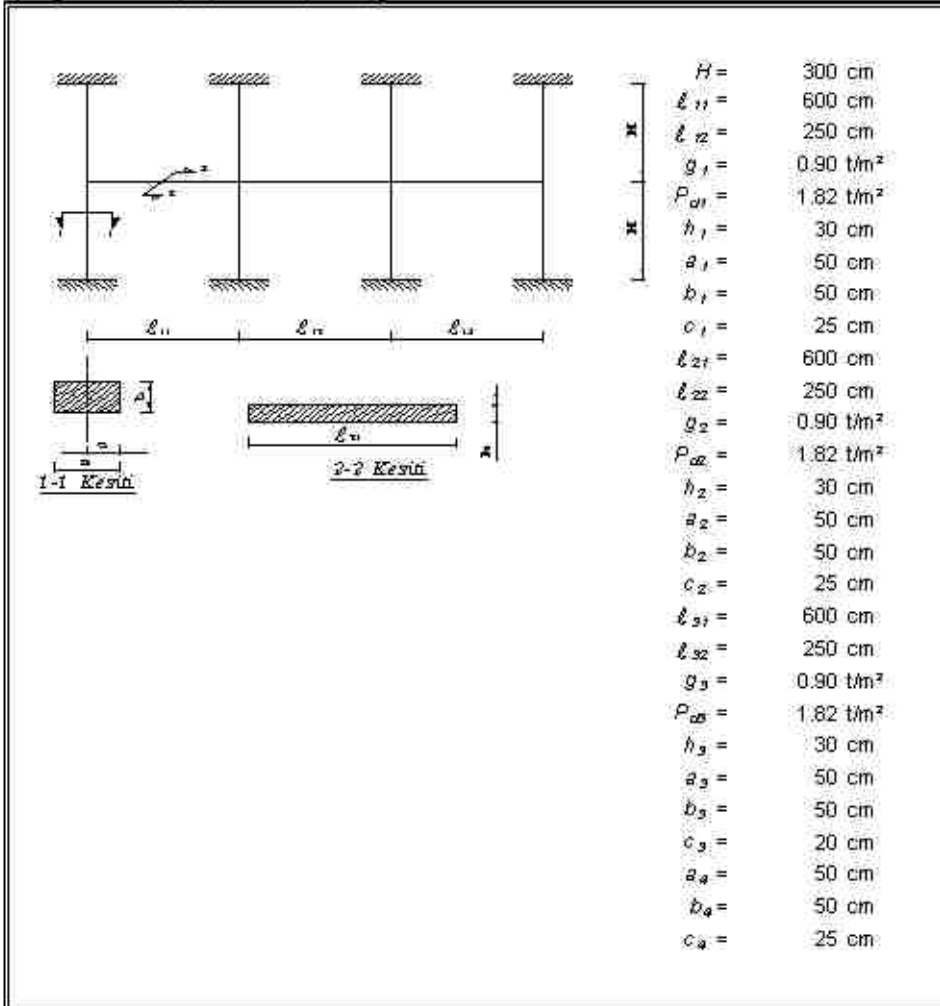
Şekil 4.27 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6 Moment Grafiği



Şekil 4.28 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6 Kesme Kuvveti Grafiği

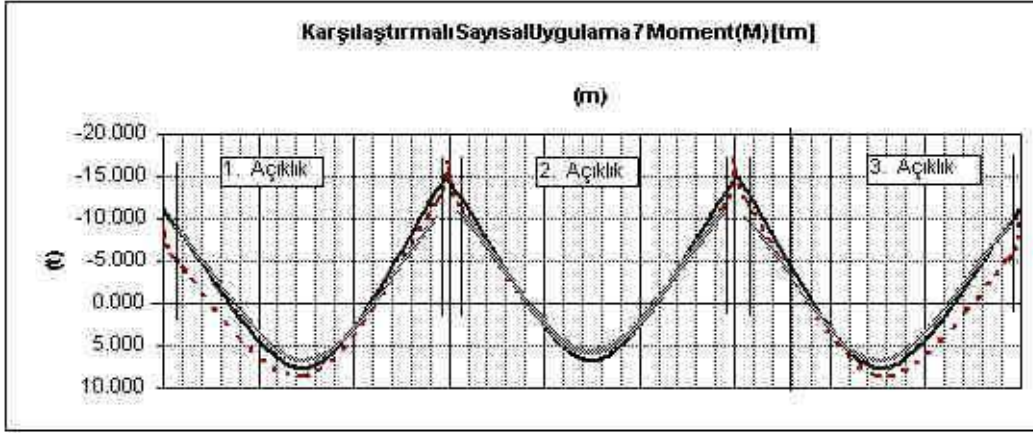
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- Moment Katsayılar Yöntemi
- - - - - Sonlu Elemanlar Yöntemi

Cizelge 4.17 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 7

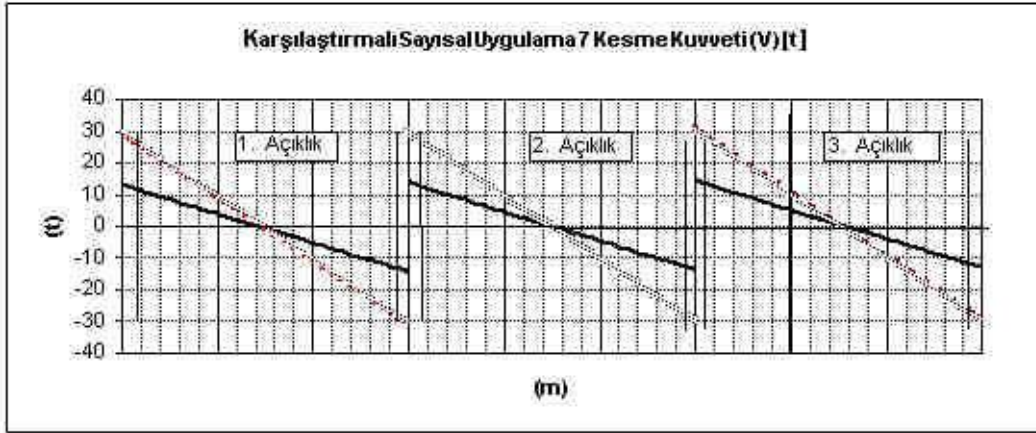


Sistem Açıklaması		M.K.Y. Kurallarından Uzun Kenarın Kısa Kenara > =Oranı 2.00'dan					
		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P_d
		MÖMENTLER (t.m)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1 Açıklık	Dış Mesnet	-9.541	-11.123		28.779	13.084	29.83
	Dış Düzeltilmiş	-5.161	-9.132	-8.88	26.276	11.946	27.33
	Açıklık	8.602	7.689	6.72			
	İç Düzeltilmiş	-12.043	-13.285	-9.97	-28.779	-13.312	-27.73
	İç Mesnet	-16.840	-15.504		-31.281	-14.449	-30.23
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-15.771	-14.596		30.030	13.871	30.03
	İç Düzeltilmiş 1	-11.183	-12.474	-10.52	27.528	12.734	27.53
	Açıklık	6.022	6.800	5.80			
	İç Düzeltilmiş 2	-11.183	-12.474	-10.52	-27.528	-12.734	-27.53
	İç Mesnet 2	-15.771	-14.596		-30.030	-13.871	-30.03
3 Açıklık	İç Mesnet	-16.840	-15.504		31.281	14.449	30.23
	İç Düzeltilmiş	-12.043	-13.285	-9.97	28.779	13.312	27.73
	Açıklık	8.602	7.689	6.72			
	Dış Düzeltilmiş	-5.161	-9.132	-8.88	-26.276	-11.946	-27.33
	Dış Mesnet	-9.541	-11.123		-28.779	-13.084	-29.83

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



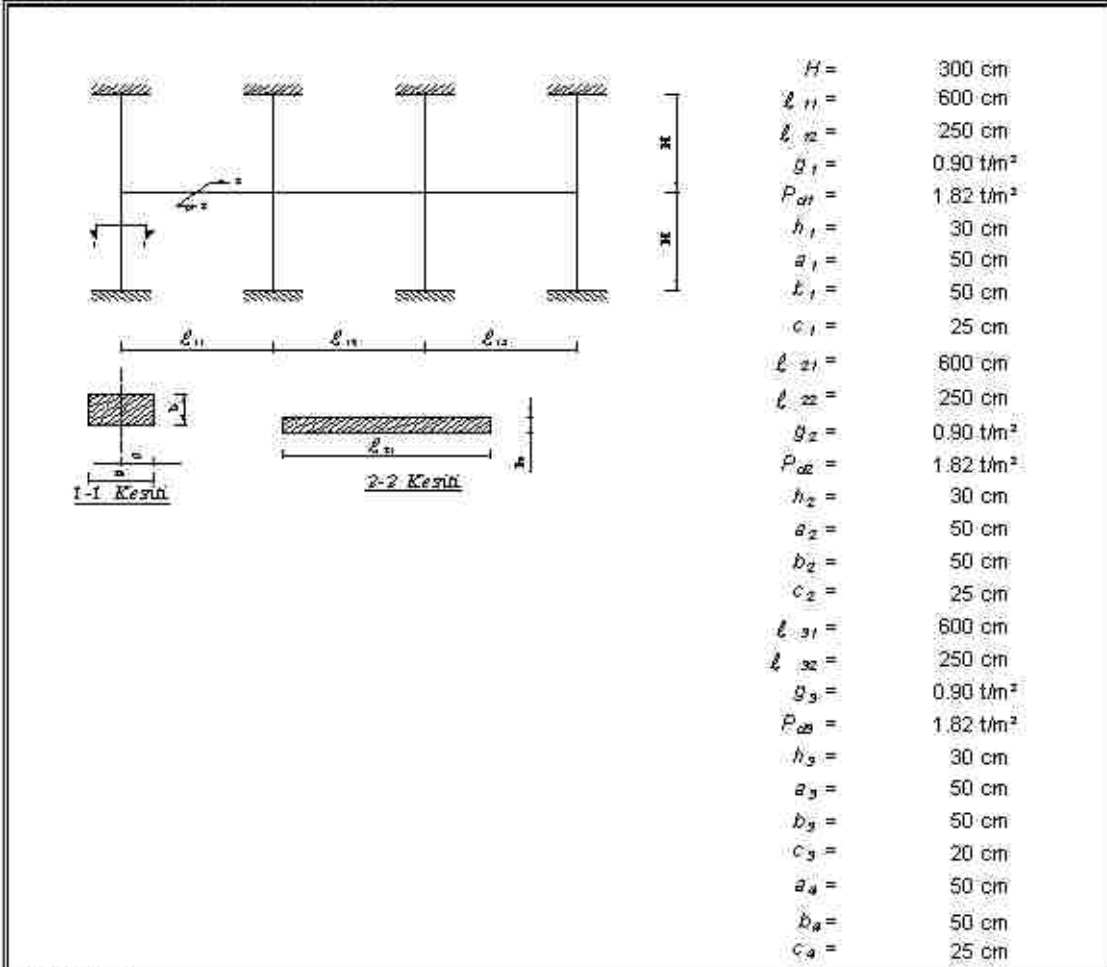
Şekil 4.29 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 7 Moment Grafiği



Şekil 4.30 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 7 Moment Grafiği

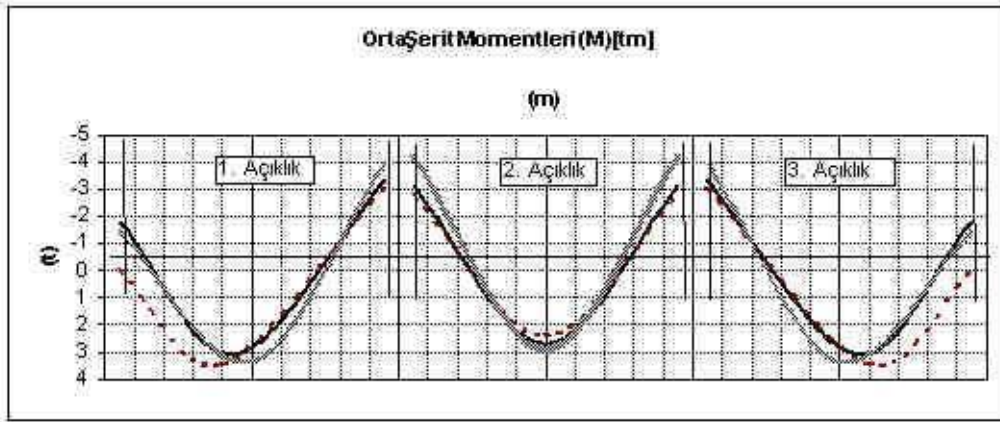
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- - - - - Moment Katsayılar Yöntemi
- Sönü Elemanlar Yöntemi

Cizelge 4.18 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8

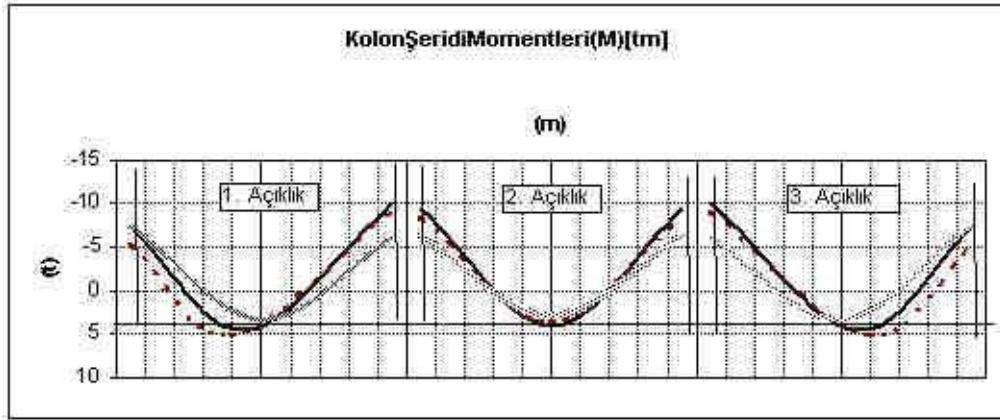


Sistem Açıklaması		M.K.Y. Kurallarından Uzun Kenarın Kısa Kenara > =Oranı 2.00'dan					
		Yük Kombinasyonu 1		P_d	g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 2		g_d	P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 3		P_d	P_d	g_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4		g_d	P_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (tm)					
		M.K.Y.		E.Ç.Y.		S.E.Y.	
		Orta Şerit	Kolon Şerit	Orta Şerit	Kolon Şerit	Orta Şerit	Kolon Şerit
1 Açıklık	Dış Mesnet						
	Dış Düzeltilmiş	0.00	-5.16	-1.83	-7.31	-1.43	-7.45
	Açıklık	3.44	5.16	3.08	4.61	3.36	3.36
	İç Düzeltilmiş	-3.01	-9.03	-3.32	-9.96	-3.95	-6.02
2 Açıklık	İç Mesnet 1						
	İç Düzeltilmiş 1	-2.79	-8.39	-3.12	-9.36	-4.18	-6.34
	Açıklık	2.41	3.61	2.72	4.08	2.90	2.90
	İç Düzeltilmiş 2	-2.79	-8.39	-3.12	-9.36	-4.18	-6.34
3 Açıklık	İç Mesnet						
	İç Düzeltilmiş	-3.01	-9.03	-3.32	-9.96	-3.95	-6.02
	Açıklık	3.44	5.16	3.08	4.61	3.36	3.36
	Dış Düzeltilmiş	0.00	-5.16	-1.83	-7.31	-1.43	-7.45
	Dış Mesnet						

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



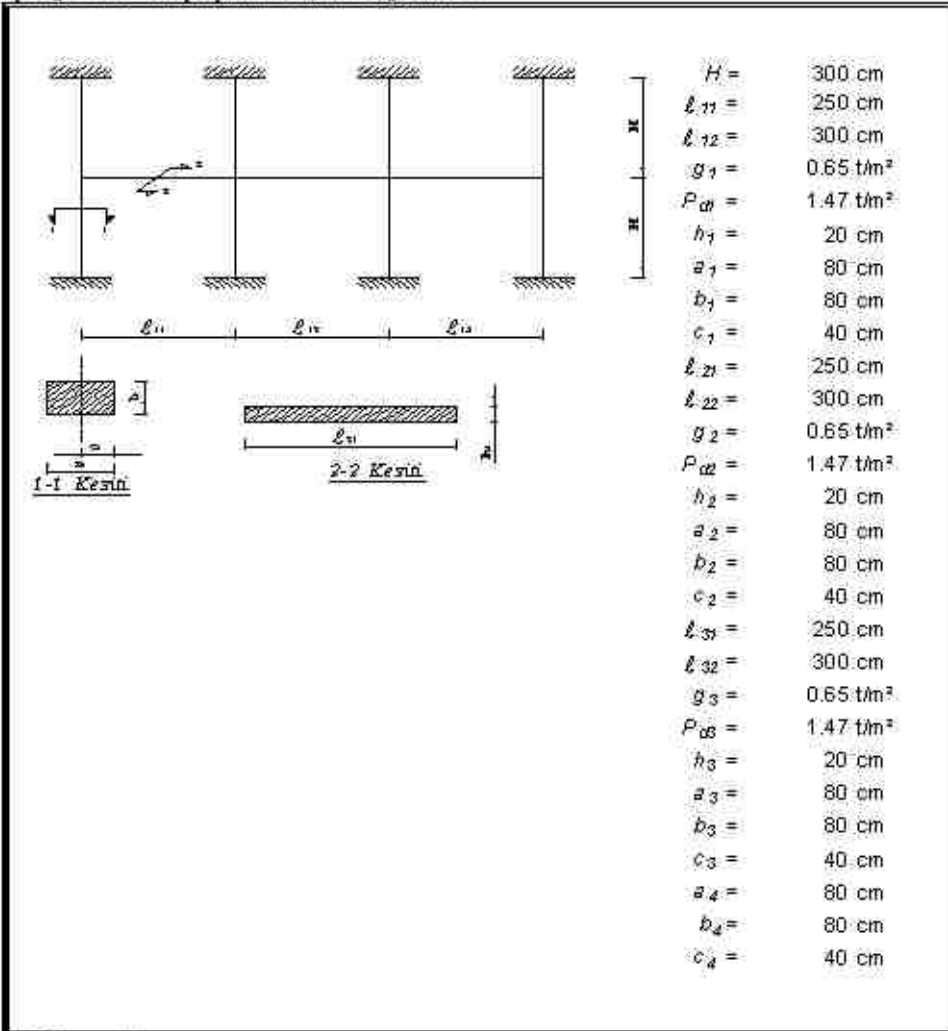
Şekil 4.31 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8 Orta Şerit Moment Grafiği



Şekil 4.32 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8 Kolon Şerit Moment Grafiği

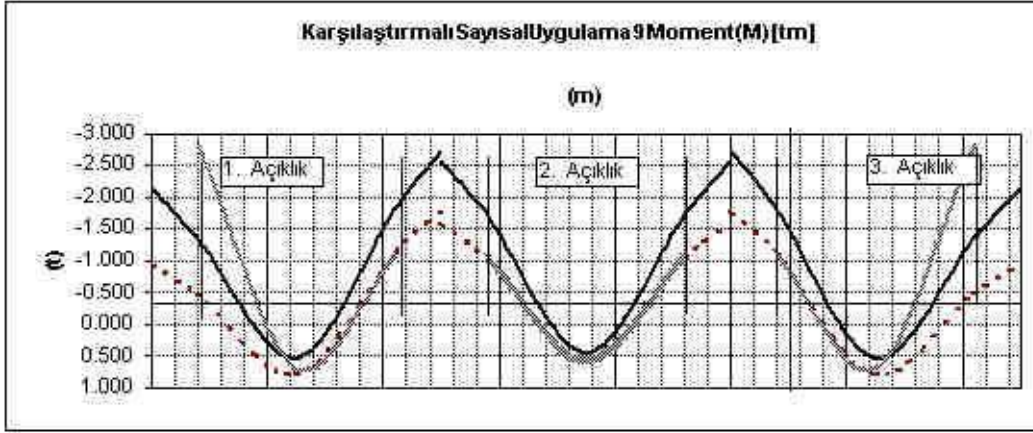
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- - - Moment Katsayılar Yöntemi
- ... Sönümlü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.19 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9

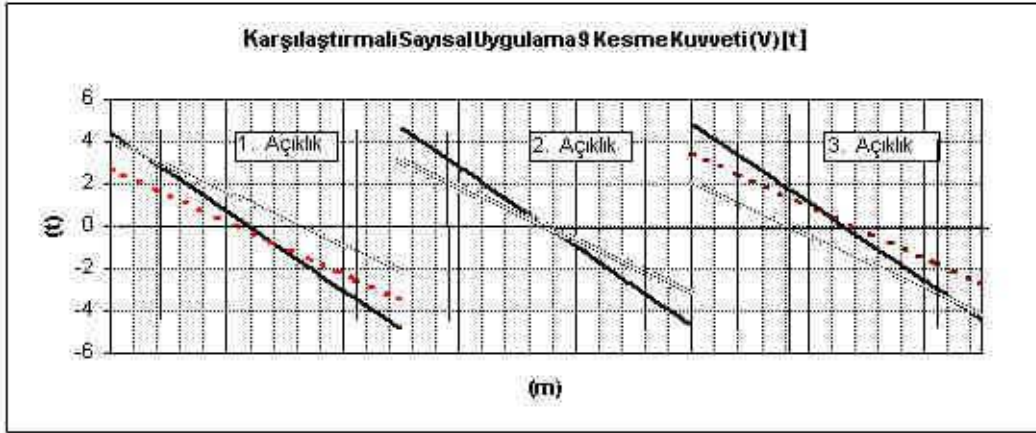


Sistem Açıklaması		M.K.Y. Kurallarından Kolon Dışmerkezliği Hesap. Açıklığının 1/10'dan Fazla					
		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (t.m)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1. Açıklık	Dış Mesnet	-0.944	-2.13		2.749	4.427	4.14
	Dış Düzeltilmiş	-0.478	-1.34	-2.80	1.749	2.957	3.14
	Açıklık	0.797	0.53	0.69			
	İç Düzeltilmiş	-1.115	-1.81	-1.07	-2.499	-3.390	-1.11
	İç Mesnet	-1.782	-2.71		-3.499	-4.860	-2.11
2. Açıklık	İç Mesnet 1	-1.602	-2.576		3.124	4.687	3.12
	İç Düzeltilmiş 1	-1.036	-1.718	-1.06	2.124	3.217	2.12
	Açıklık	0.558	0.448	0.58			
	İç Düzeltilmiş 2	-1.036	-1.718	-1.06	-2.124	-3.217	-2.12
3. Açıklık	İç Mesnet 2	-1.602	-2.576		-3.124	-4.687	-3.12
	İç Mesnet	-1.782	-2.713		3.499	4.860	2.11
	İç Düzeltilmiş	-1.115	-1.809	-1.07	2.499	3.390	1.11
	Açıklık	0.797	0.533	0.69			
	Dış Düzeltilmiş	-0.478	-1.344	-2.80	-1.749	-2.957	-3.14
Dış Mesnet	-0.944	-2.133		-2.749	-4.427	-4.14	

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



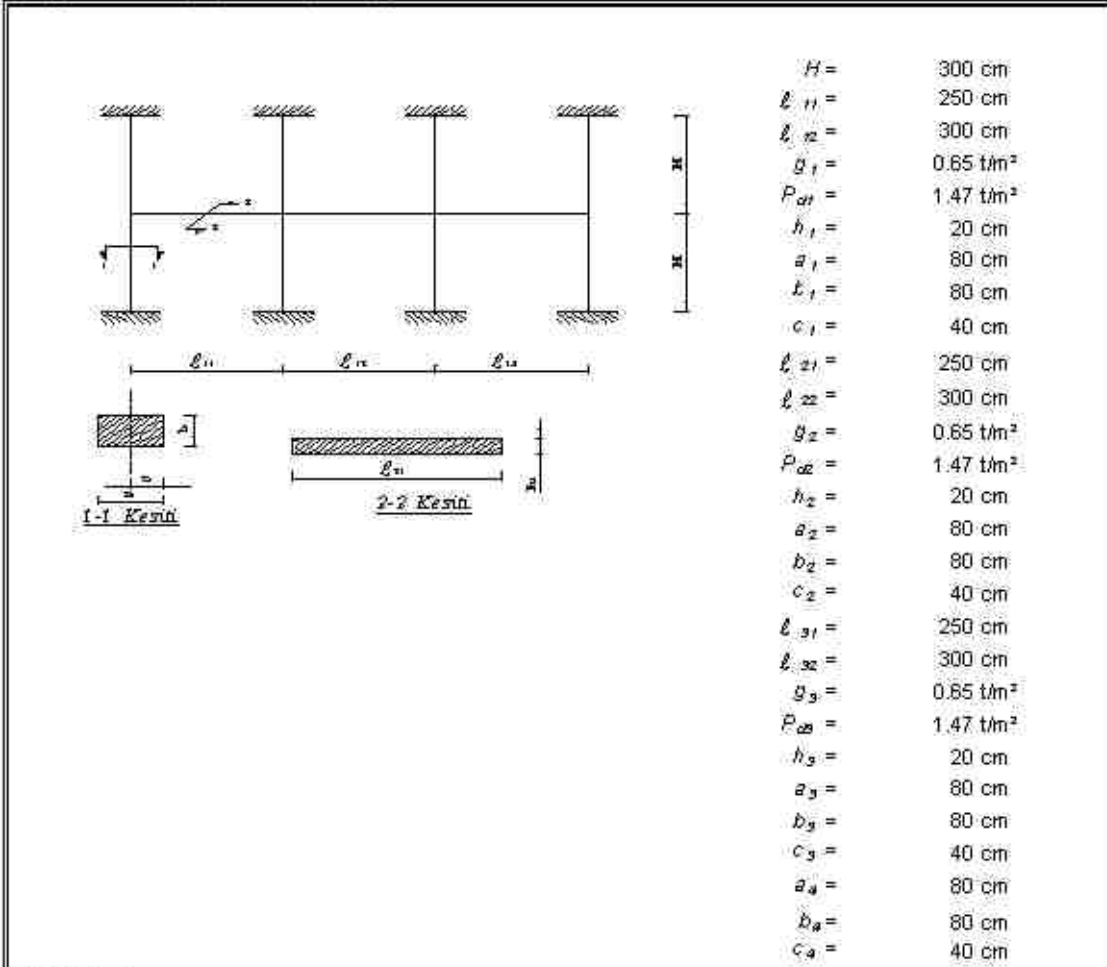
Şekil 4.33 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9 Moment Grafiği



Şekil 4.34 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9 Kesme Kuvveti Grafiği

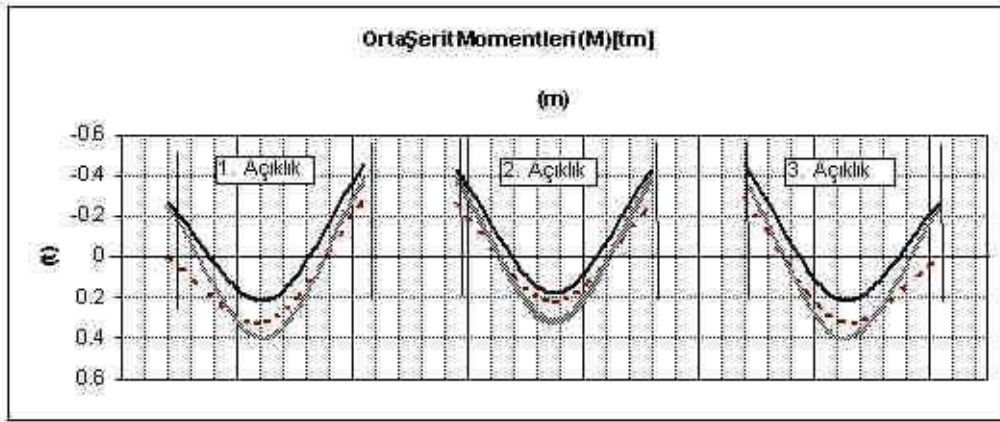
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- Moment Katsayılar Yöntemi
- - - - - Sönü Elemanlar Yöntemi

Cizelge 4.20 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 10

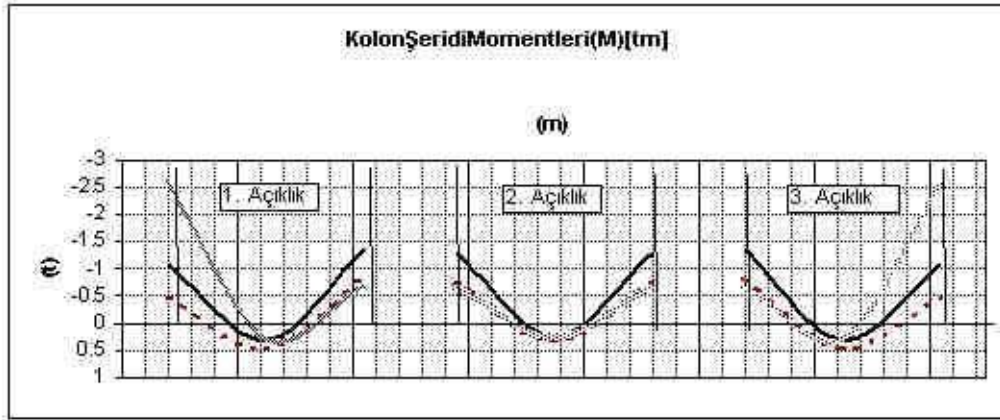


Sistem Açıklaması		M.K.Y. Kurallarından Kolon Dışmerkezliği Hesap Açıklığının 1/10'dan Fazla					
		Yük Kombinasyonu 1		P_d	g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 2		g_d	P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 3		P_d	P_d	g_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4		g_d	P_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (tm)					
		M.K.Y.		E.Ç.Y.		S.E.Y.	
		Orta Şerit	Kolon Şerit	Orta Şerit	Kolon Şerit	Orta Şerit	Kolon Şerit
1 Açıklık	Dış Mesnet						
	Dış Düzeltilmiş	0.00	-0.48	-0.27	-1.08	-0.24	-2.56
	Açıklık	0.32	0.48	0.21	0.32	0.40	0.29
	İç Düzeltilmiş	-0.28	-0.84	-0.45	-1.36	-0.38	-0.69
2 Açıklık	İç Mesnet 1						
	İç Düzeltilmiş 1	-0.26	-0.78	-0.43	-1.29	-0.38	-0.68
	Açıklık	0.22	0.34	0.18	0.27	0.32	0.26
	İç Düzeltilmiş 2	-0.26	-0.78	-0.43	-1.29	-0.38	-0.68
3 Açıklık	İç Mesnet						
	İç Düzeltilmiş	-0.28	-0.84	-0.45	-1.36	-0.38	-0.69
	Açıklık	0.32	0.48	0.21	0.32	0.40	0.29
	Dış Düzeltilmiş	0.00	-0.48	-0.27	-1.08	-0.24	-2.56
	Dış Mesnet						

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



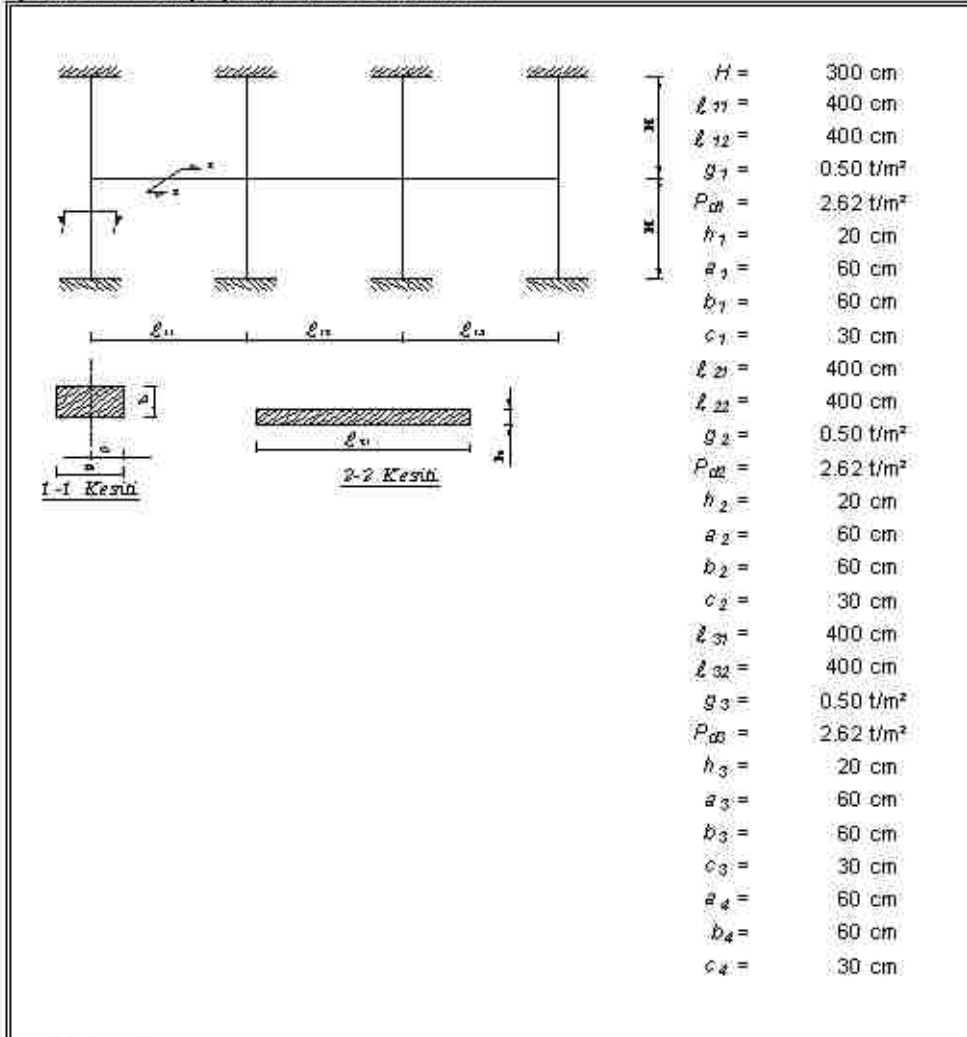
Şekil 4.35 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 10 Orta Şerit Moment Grafiği



Şekil 4.36 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 10 Kolon Şerit Moment Grafiği

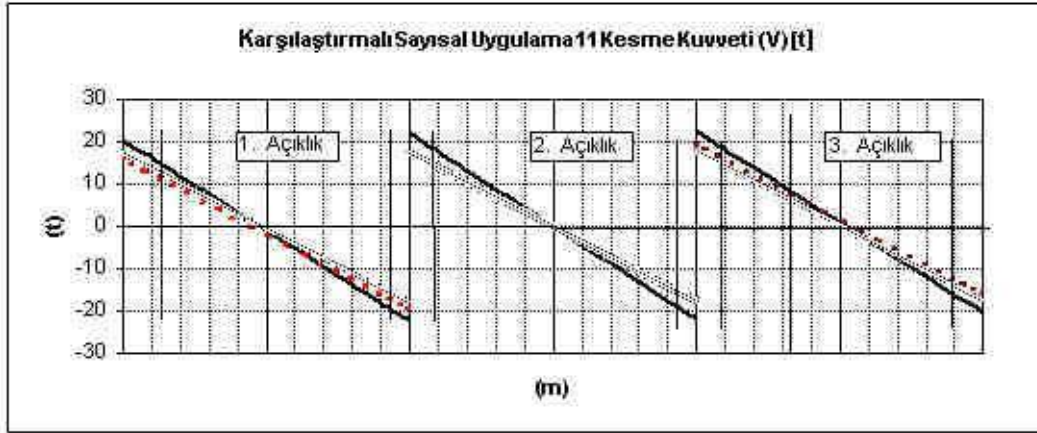
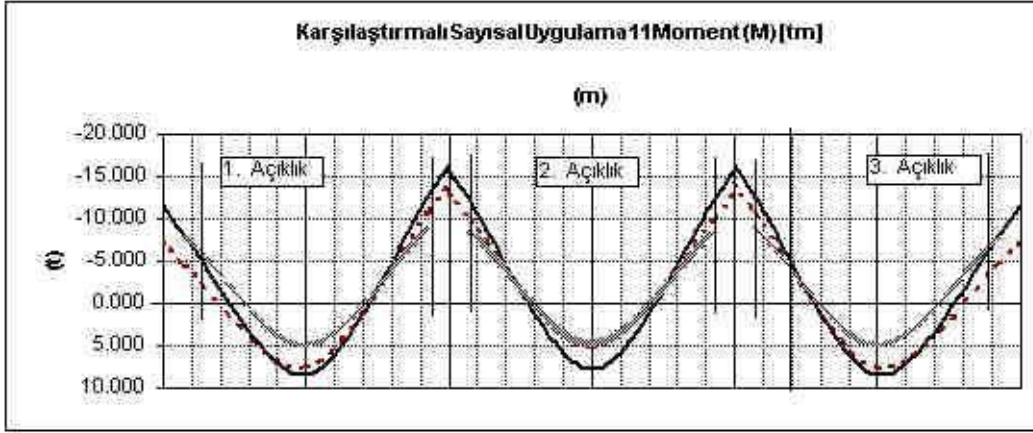
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- - - Moment Katsayılar Yöntemi
- ... Sönü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.21 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 11.



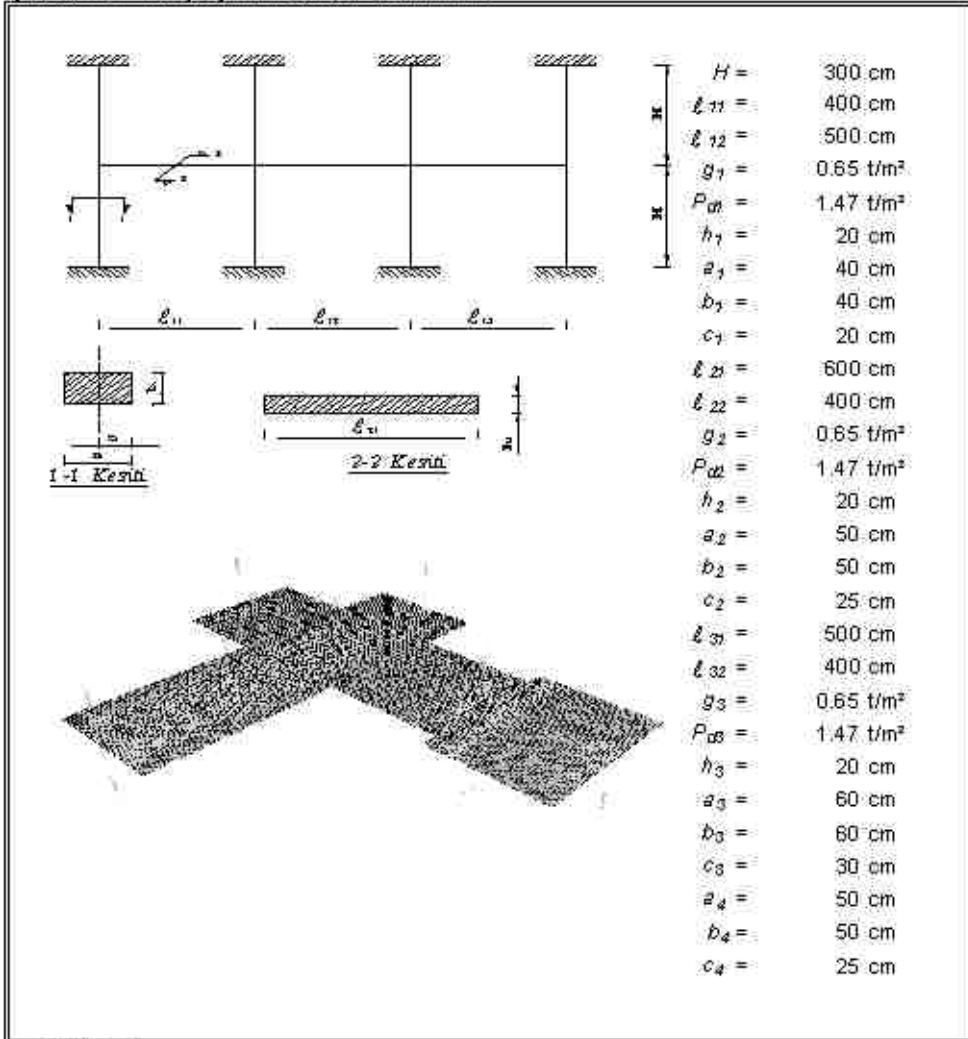
Sistem Açıklaması		M.K.Y. Kurallarından Hareketli Yükün Kalıcı Yüke Oranı > 2					
		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (t.m)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1. Açıklık	Dış Mesnet	-7.215	-11.466		16.034	20.452	17.542
	Dış Düzeltilmiş	-4.543	-8.004	-7.840	13.362	17.308	14.870
	Açıklık	7.572	8.491	4.930			
	İç Düzeltilmiş	-10.601	-12.417	-8.770	-16.925	-19.303	-15.417
	İç Mesnet	-13.986	-16.278		-19.598	-22.447	-18.090
2. Açıklık	İç Mesnet 1	-12.872	-15.720		17.816	21.890	17.816
	İç Düzeltilmiş 1	-9.843	-11.971	-8.470	15.144	18.746	15.144
	Açıklık	5.300	7.833	4.820			
	İç Düzeltilmiş 2	-9.843	-11.971	-8.470	-15.144	-18.746	-15.144
3. Açıklık	İç Mesnet 2	-12.872	-15.720		-17.816	-21.890	-17.816
	İç Mesnet	-13.986	-16.278		19.598	22.447	18.090
	İç Düzeltilmiş	-10.601	-12.417	-8.770	16.925	19.303	15.417
	Açıklık	7.572	8.491	4.930			
	Dış Düzeltilmiş	-4.543	-8.004	-7.840	-13.362	-17.308	-14.870
	Dış Mesnet	-7.215	-11.466		-16.034	-20.452	-17.542

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



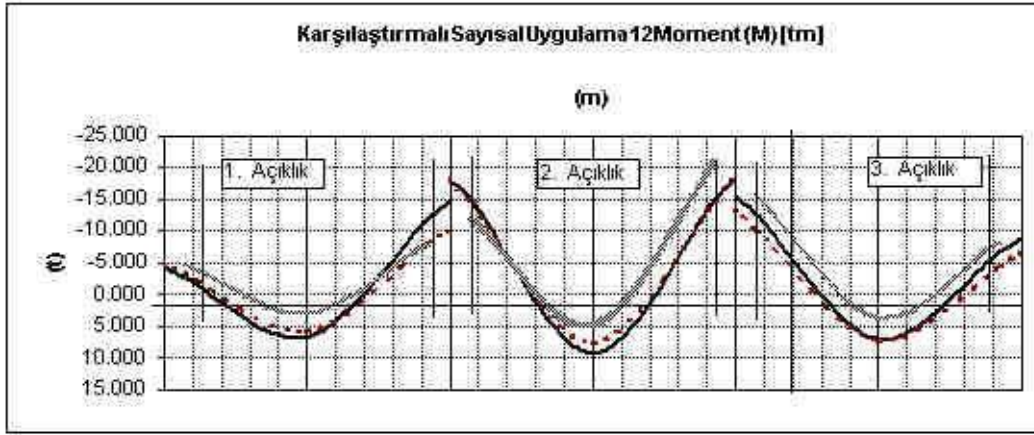
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- Moment Katsayılar Yöntemi
- Sönü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.22 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12

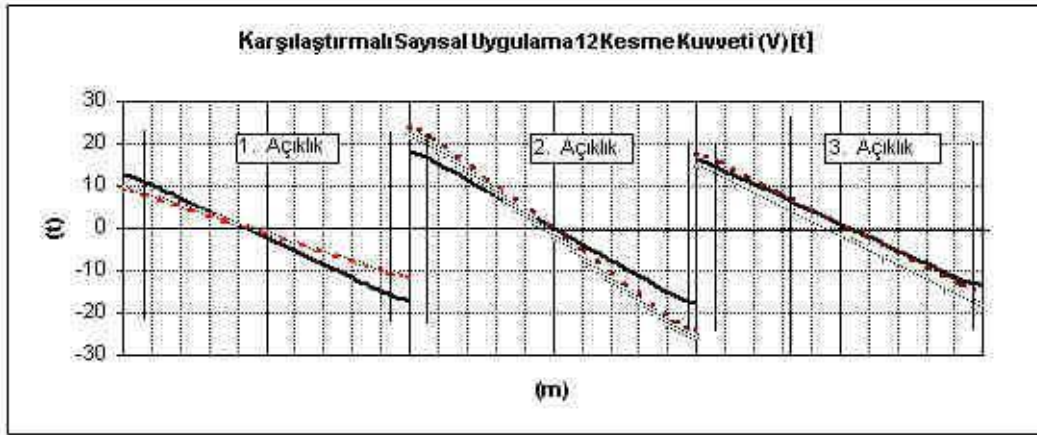


Sistem Açıklaması		Simetrik Olmayan Sistemler Üzerinde Hesap					
		Yük Kombinasyonu 1			P _d	g _d	P _d
		Yük Kombinasyonu 2			g _d	P _d	g _d
		Yük Kombinasyonu 3			P _d	P _d	g _d
		Yük Kombinasyonu 4			g _d	P _d	P _d
		MOMENTLER (tm)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1 Açıklık	Dış Mesnet	-4.53	-4.08		9.00	12.61	9.39
	Dış Düzeltilmiş	-3.47	-2.60	-4.86	7.96	11.14	8.35
	Açıklık	5.79	6.74	2.95			
	İç Düzeltilmiş	-8.10	-11.97	-8.11	-10.57	-15.61	-10.18
	İç Mesnet	-9.87	-14.57		-11.87	-17.45	-11.48
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-17.83	-17.78		23.83	17.79	22.23
	İç Düzeltilmiş 1	-14.19	-15.06	-11.94	21.83	16.32	20.23
	Açıklık	7.64	9.34	4.91			
	İç Düzeltilmiş 2	-14.19	-14.94	-20.69	-21.83	-16.14	-23.44
	İç Mesnet 2	-18.56	-18.16		-24.23	-17.91	-25.84
3 Açıklık	İç Mesnet	-13.36	-15.38		17.50	16.14	14.62
	İç Düzeltilmiş	-10.19	-12.50	-15.41	15.86	14.37	12.99
	Açıklık	7.28	7.14	3.57			
	Dış Düzeltilmiş	-4.37	-6.71	-8.43	-13.25	-12.20	-16.12
	Dış Mesnet	-6.57	-8.75		-15.21	-13.67	-18.09

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



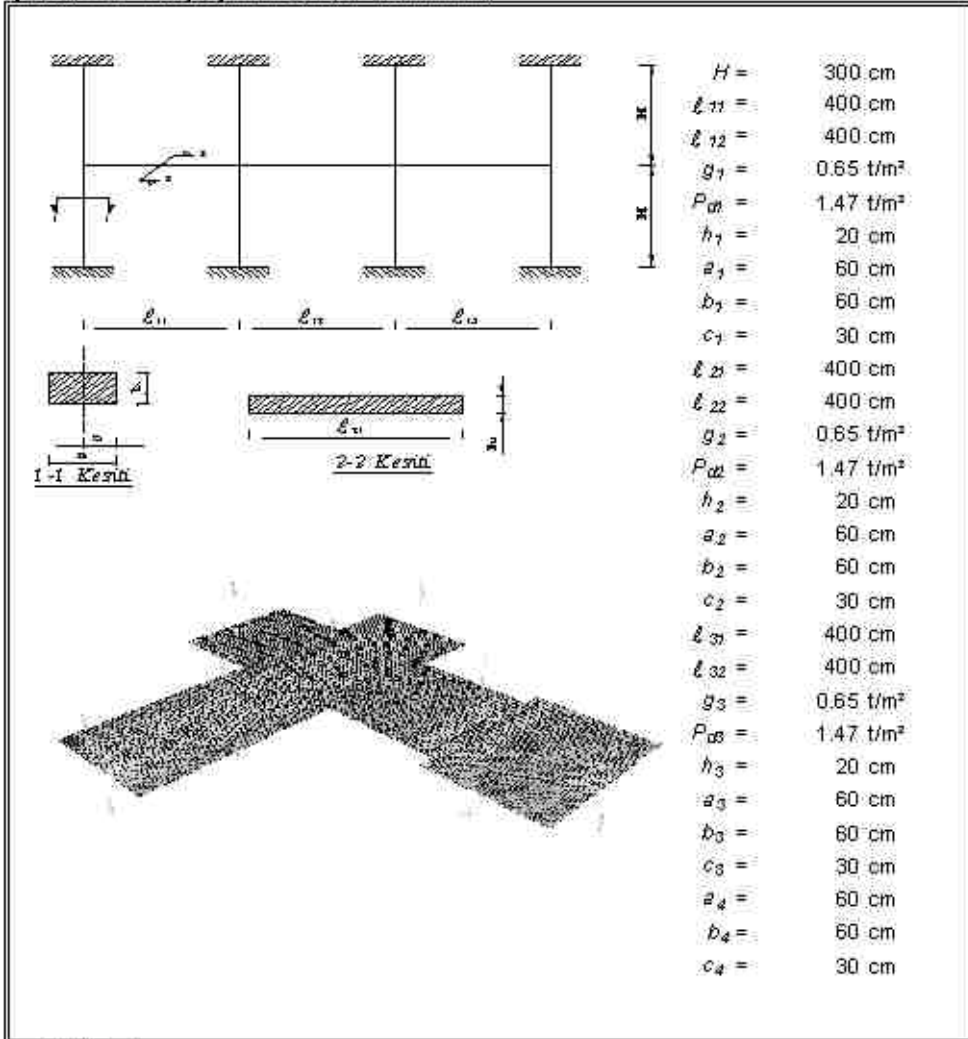
Şekil 4.39 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12 Moment Grafiği



Şekil 4.40 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12 Kesme Kuvveti Grafiği

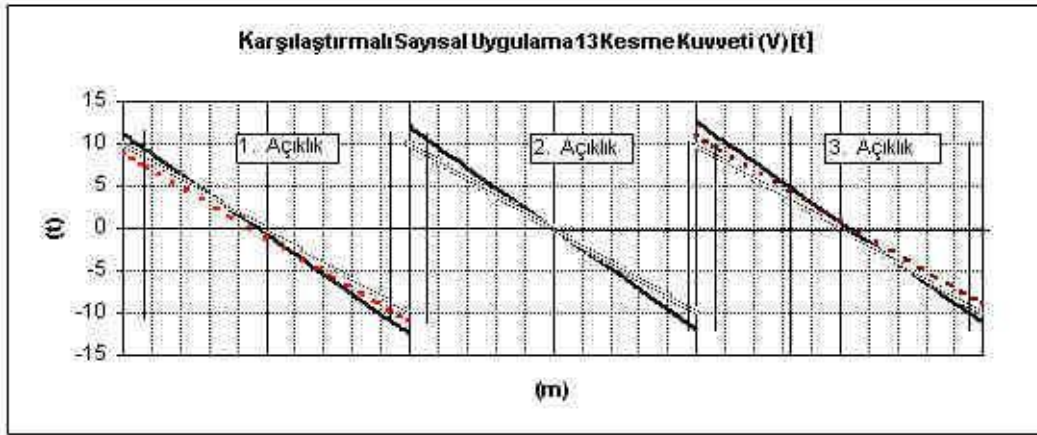
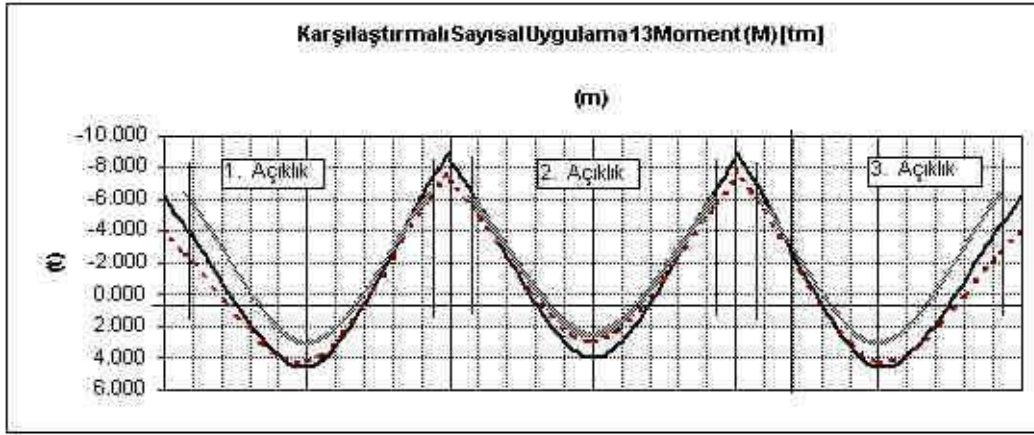
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- - - - - Moment Katsayılar Yöntemi
- Sönü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.24 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama.13



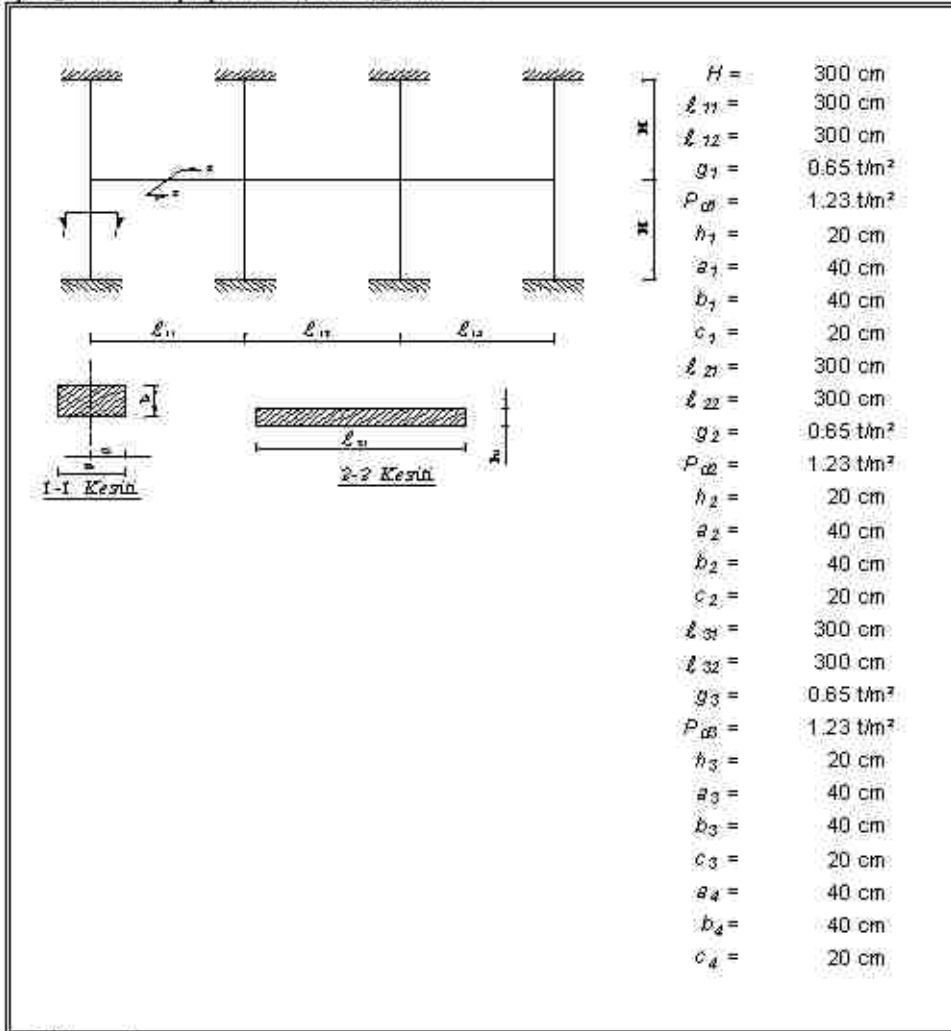
Sistem Açıklaması		Diğer Yönde Hesap					
		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P_d
		MOMENTLER (tm)			KESME KUVVETİ (t)		
		M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.	M.K.Y.	E.Ç.Y.	S.E.Y.
1 Açıklık	Diş Mesnet	-4.05	-6.16		9.00	11.24	10.01
	Diş Düzeltilmiş	-2.55	-4.27	-6.32	7.50	9.48	8.51
	Açıklık	4.25	4.58	3.05			
	İç Düzeltilmiş	-5.95	-6.89	-6.26	-9.50	-10.80	-8.48
	İç Mesnet	-7.85	-9.05		-11.00	-12.57	-9.98
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-7.22	-8.52		10.00	12.03	10.00
	İç Düzeltilmiş 1	-5.52	-6.46	-5.95	8.50	10.27	8.50
	Açıklık	2.97	4.00	2.54			
	İç Düzeltilmiş 2	-5.52	-6.46	-5.95	-8.50	-10.27	-8.50
	İç Mesnet 2	-7.22	-8.52		-10.00	-12.03	-10.00
3 Açıklık	İç Mesnet	-7.85	-9.05		11.00	12.57	9.98
	İç Düzeltilmiş	-5.95	-6.89	-6.26	9.50	10.80	8.48
	Açıklık	4.25	4.58	3.05			
	Diş Düzeltilmiş	-2.55	-4.27	-6.32	-7.50	-9.48	-8.51
	Diş Mesnet	-4.05	-6.16		-9.00	-11.24	-10.01

M.K.Y.	Moment Katsayılar Yöntemi
E.Ç.Y.	Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
S.E.Y.	Sonlu Elemanlar Yöntemi (SAP2000 Çözümü)



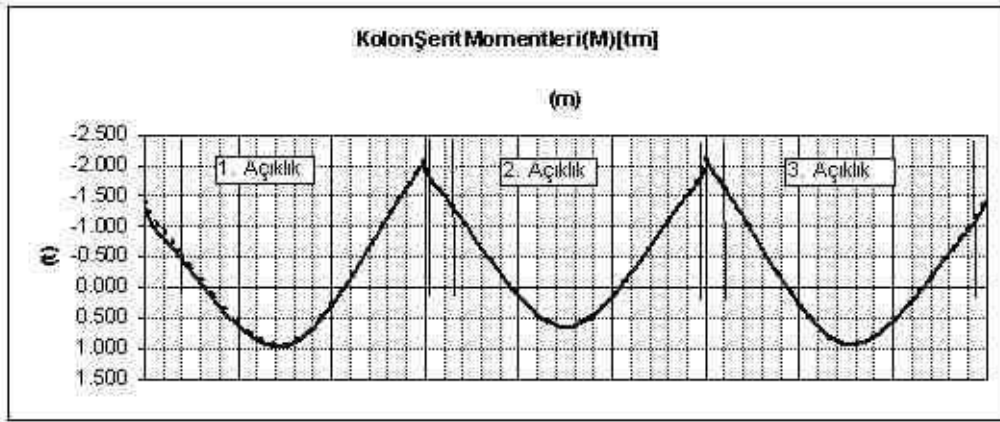
- Eşdeğer Çerçeve Yöntemi
- Moment Katsayılar Yöntemi
- Sönü Elemanlar Yöntemi

Çizelge 4.24 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14

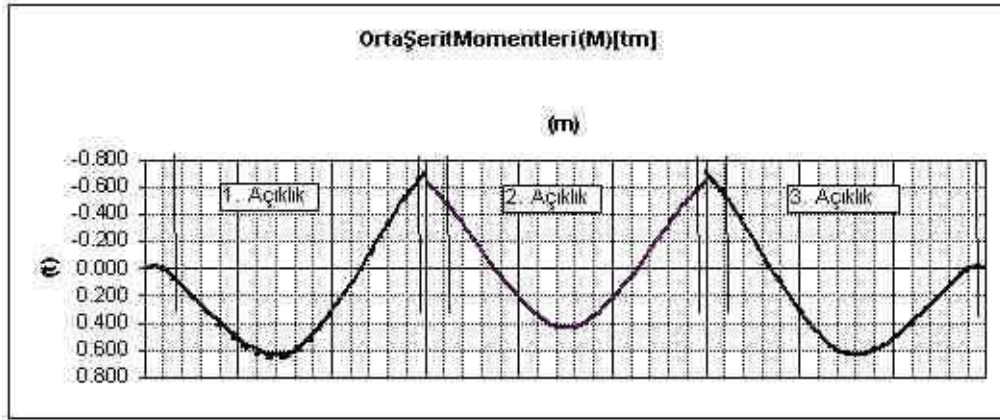


Sistem Açıklaması		ACI 318 Doğrudan Dizayn TS 500 Moment Katsayılar Yönteminin Karşılaştırılması					
Kombinasyonlar		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P
Moment (tm)		TS 500 MKY	TS500 KOLON ŞERİT	TS500 ORTA ŞERİT	ACI 318 DDY	ACI 318 KOLON ŞERİT	ACI 318 ORTA ŞERİT
1 Açıklık	Dış Mesnet	-1.426	-1.426	0.000	-1.295	-1.295	0.000
	Dış Düzeltilmiş	-0.935	-0.935	0.000	-0.811	-0.811	0.000
	Açıklık	1.559	0.935	0.624	1.621	0.973	0.649
	İç Düzeltilmiş	-2.183	-1.637	-0.546	-2.183	-1.637	-0.546
	İç Mesnet	-2.801	-2.101	-0.700	-2.807	-2.105	-0.702
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-2.581	-1.936	-0.645	-2.581	-1.936	-0.645
	İç Düzeltilmiş 1	-2.027	-1.520	-0.507	-2.027	-1.520	-0.507
	Açıklık	1.091	0.655	0.437	1.091	0.655	0.437
	İç Düzeltilmiş 2	-2.027	-1.520	-0.507	-2.027	-1.520	-0.507
	İç Mesnet 2	-2.581	-1.936	-0.645	-2.581	-1.936	-0.645
3 Açıklık	İç Mesnet	-2.801	-2.101	-0.700	-2.801	-2.101	-0.700
	İç Düzeltilmiş	-2.183	-1.637	-0.546	-2.183	-1.637	-0.546
	Açıklık	1.559	0.935	0.624	1.559	0.935	0.624
	Dış Düzeltilmiş	-0.935	-0.935	0.000	-0.935	-0.935	0.000
	Dış Mesnet	-1.426	-1.426	0.000	-1.426	-1.426	0.000

MKY	Moment Katsayılar Yöntemi
DDY	Doğrudan Dizayn Yöntemi



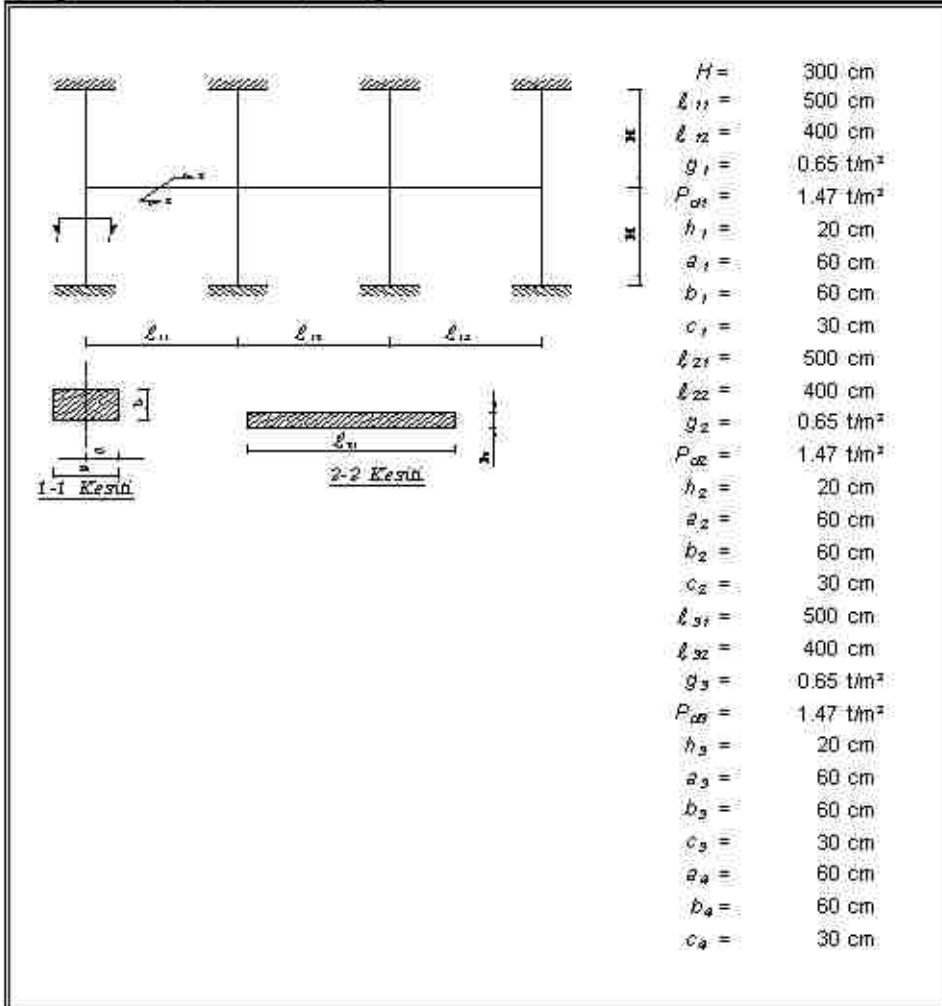
Şekil 4.43 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14 Kolon Şerit Momentleri



Şekil 4.44 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14 Orta Şerit Momentleri

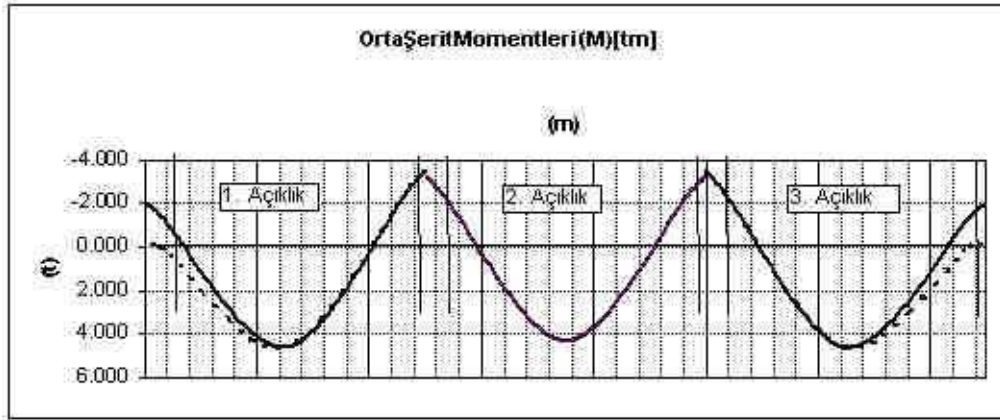
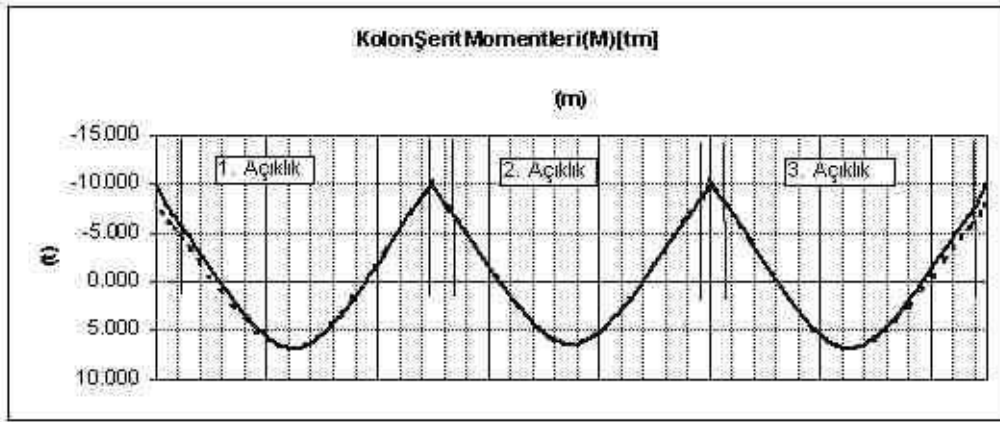
— Moment Katsayılar Yöntemi
 - - - Doğrudan Dizayn Yöntemi

Çizelge 4.25 Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 15



Sistem Açıklaması		ACI 318 ve TS 500 Eşdeğer Çerçeve Yöntemlerinin Karşılaştırılması					
Kombinasyonlar		Yük Kombinasyonu 1			P_d	g_d	P_d
		Yük Kombinasyonu 2			g_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 3			P_d	P_d	g_d
		Yük Kombinasyonu 4			g_d	P_d	P
Moment (tm)		TS500 Eşdeğer	TS500 KOLON ŞERİT	TS500 ORTA ŞERİT	ACI 318 Eşdeğer	ACI 318 KOLON ŞERİT	ACI 318 ORTA ŞERİT
1 Açıklık	Diş Mesnet	-10.09	-8.07	-2.02	-10.09	-10.09	0.00
	Diş Düzeltilmiş	-6.96	-5.57	-1.39	-6.96	-6.96	0.00
	Açıklık	11.54	6.92	4.62	11.54	6.92	4.62
	İç Düzeltilmiş	-10.47	-7.86	-2.62	-10.47	-7.86	-2.62
	İç Mesnet	-13.88	-10.41	-3.47	-13.88	-10.41	-3.47
2 Açıklık	İç Mesnet 1	-13.14	-9.85	-3.28	-13.14	-9.85	-3.28
	İç Düzeltilmiş 1	-9.85	-7.39	-2.46	-9.85	-7.39	-2.46
	Açıklık	10.83	6.50	4.33	10.83	6.50	4.33
	İç Düzeltilmiş 2	-9.85	-7.39	-2.46	-9.85	-7.39	-2.46
	İç Mesnet 2	-13.14	-9.85	-3.28	-13.14	-9.85	-3.28
3 Açıklık	İç Mesnet	-13.88	-10.41	-3.47	-13.88	-10.41	-3.47
	İç Düzeltilmiş	-10.47	-7.86	-2.62	-10.47	-7.86	-2.62
	Açıklık	11.54	6.92	4.62	11.54	6.92	4.62
	Diş Düzeltilmiş	-6.96	-5.57	-1.39	-6.96	-6.96	0.00
	Diş Mesnet	-10.09	-8.07	-2.02	-10.09	-10.09	0.00

l_2/l_1	0.8	Kolon Şerit Ara Mesnet Yüzdesi	75	Kolon Şerit Kenar Mesnet Yüzdesi	100
βt	0	α_1	0	Kolon Şerit Pozitif Moment Yüzdesi	60



— Eşdeğer Çerçeve Yöntemi (TS 500)
 - - - Eşdeğer Çerçeve Yöntemi (ACI 318)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında iki doğrultuda çalışan kirişsiz döşemeler için; TS 500`de verilen Moment Katsayılar Yöntemi, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi, ACI 318-02`de önerilen Doğrudan Dizayn ve Eşdeğer Çerçeve Yöntemleri incelenmiştir.

Yöntemlerin daha iyi kavranması amacıyla, Vusial Basic programlama dili ile Kirişsiz Döşeme V.Beta ve MKY Kirişsiz V.1.00 isimli verilen programlar Vusial Basic ile programlar yazılmıştır. Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi`ni kullanan SAP2000 statik analiz paket programı ile kirişsiz döşemelerin statik analizi yapılmıştır.

Sonlu elemanlar hesap yöntemini kullanan bir yazılım ile çalışılması için gereken temel bilgiler araştırıldı.

ACI 318-02`de kirişsiz döşemeler için önerilen hesap yöntemleri ile TS 500`de önerilen yöntemler karşılaştırılmıştır.

Çok sayıda sayısal uygulama yapılarak, hesap yöntemler arasında oluşan farklar incelenmiştir. Moment Katsayılar Yöntemi için kullanılabilirlik şartları haricinde yapılan örneklerle, yöntemin vereceği hatalı sonuçlar izlenmiştir. Yapılan örneklemelemlerde toplam statik moment yanında kolon ve orta şeritlere ait momentler de bulunmuştur. Maksimum kesit tesirlerini bulmak için farklı kombinasyonların uygulanması yanında, hesap yükü açıklıklara da atanmıştır. Sayısal uygulamalarda sadece düşey yükler dikkate alınmıştır.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1`de sistem Moment Katsayılar Yöntemine göre uygun seçilmiştir. Faktörlü hesap yükü tüm açıklıklara atanmıştır.

Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam pozitif moment (açıklık momenti) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 6.68'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 37.95'lik daha büyük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 41.83'lük daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 11.95'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 32.05'lik daha büyük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 39.30'lük daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 2'de, Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 1'deki seçilen sistemde açıklık sayısından bir fazla yükleme yapılarak maksimum mesnet ve açıklık momentleri hesaplanmıştır.

Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam pozitif moment (açıklık momenti) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 20.53'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 32.11'lik daha büyük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 43.67'lik daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 19.11'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 22.79'lük daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 3.09'lük daha küçük sonuç verdiği görüşmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 3'de, Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 2'deki seçilen sistemde kolon ve orta şerit için hesap yapılmıştır.

Orta şerit için; Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 38.59'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 28.88'lik daha büyük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 48.68'lik daha büyük sonuç verdiği görülmüştür.

Kolon şeridi için; Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 13.89'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 38.07'lik daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 21.23'lük daha küçük sonuç verdiği görülmüştür.

Orta şerit için; Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 19.36'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 8.02'lük daha büyük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 22.94'lük daha büyük sonuç verdiği görülmüştür.

Kolon şeridi için; Moment Katsayılar Yöntemi'nin toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 19.36'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 45.26'lük daha büyük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 54.14'lük daha büyük sonuç verdiği görülmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 4'de, Moment Katsayılar Yöntemi'ne uygun olmayan bir sistem seçilmiştir. Uygulama 5'de de seçilen sistemde açıklık sayısından bir fazla yükleme yapılarak maksimum mesnet ve açıklık momentleri hesaplanmıştır. Moment Katsayılar Yöntemi'ne göre; komşu açıklıklar arasındaki fark büyük açıklığın üçte birinden fazla olamaz. Tüm moment değerleri incelendi. Uygulanamaz kuralının nedenleri araştırılmıştır.

Komşu açıklıklardan küçük olanı ile büyük oranı arasındaki mesnette, küçük açıklık yüzündeki mesnet momentinin Moment Katsayılar Yöntemi'ne göre çok farklı ve hatalı olduğu görüşmüştür.

Moment Katsayılar Yöntemi'nin yukarıda tarif edilen noktadaki toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 123.71'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 90.16'luk daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 14.99'lük daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Uygulama 5'deki gibi en gayri müsait kesit tesirlerini bulmak için yapılan yük kombinasyonları sonucunda ise; Moment Katsayılar Yöntemi'nin yukarıda tarif edilen noktadaki toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 126.46'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 79.37'luk daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 20.80'lük daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6'da, Moment Katsayılar Yöntemi'ne uygun olmayan bir sistem seçilmiştir. Uygulama 7'de de seçilen sistemde açıklık sayısından bir fazla yükleme yapılarak maksimum mesnet ve açıklık momentleri hesaplanmıştır. Uygulama 8'de ise aynı sistemin kolon ve orta şerit tesirleri hesaplandı. Moment Katsayılar Yöntemi'ne göre; bir açıklıkta uzun kenarın kısa kenara oranı 2'den fazla olamaz. Tüm moment değerleri incelenerek, uygulanamaz kuralının nedenleri araştırılmıştır.

Moment katsayılar yöntemine göre iki noktada sonuçun diğer yöntemlere göre saptığı gözlemlendi. Birinci hatalı sonuç kenar mesnet momentlerinde gözlemlendi. İkincisi ise; orta şerit kolon şerit momentlerinin dağılımının, yöntemde tarif edilen yüzdelere göre farklılık göstermesi oldu.

Moment Katsayılar Yöntemi'nin kenar açıklık dış mesnet momentte ki toplam negatif moment hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 70.34'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 67.98'lik daha

küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 1.38'lik daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Uygulama 7'deki gibi en gayri müsait kesit tesirlerini bulmak için yapılan yük kombinasyonları sonucunda ise; Moment Katsayılar Yöntemi'nin yukarıda tarif edilen noktadaki toplam negatif moment (mesnet) hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 76.92'lik daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 72.05'lik daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 2.76'lık daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 8'de, Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 6'daki seçilen sistemde kolon ve orta şerit için hesap yapılmıştır. Oluşan hatanın özellikle orta şerit kesit tesirlerinde oluştuğu gözlenmiştir.

Orta Şerit için, kenar açıklık dış mesnet momenti, kenar kirişi olmadığı için, Moment Katsayılar Yöntemi ile herhangi bir değer almadığı halde, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'ne göre -1.83 tm, Sonlu Elemanlar Yöntemi'ne göre -1.43 tm'lik bir negatif moment değeri almıştır.

Orta Şerit için, kenar açıklık iç mesnet momentinde ise; Moment Katsayılar Yöntemi ile toplam negatif moment hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 10.22'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 31.09'lik daha küçük sonuç verdiği görüşmüştür.

Orta Şerit için, orta açıklık mesnet momentinde ise; Moment Katsayılar Yöntemi'nin göre negatif moment hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 11.65'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 49.65'lik daha küçük sonuç verdiği görüşmüştür.

Orta Şerit için, orta açıklıkta toplam pozitif moment sonlu elemanlar ve eşdeğere göre daha küçük değer almıştır. Yöntemin, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 12.78'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 20.25'lik daha küçük sonuç verdiği görüşmüştür.

Kenar şerit için, kenar açıklık dış mesnet momentinde ise; Moment Katsayılar Yöntemi ile toplam negatif moment hesaplandığında, Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 42.58`lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 44.38`lik daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi`nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi`ne göre % 1.97`lik daha küçük sonuç verdiği görüşmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 9`da, Moment Katsayılar Yöntemi`ne uygun olmayan bir sistem seçilmiştir. Uygulama 10`da ise aynı sistemin kolon ve orta şerit tesirleri hesaplanmıştır. Moment Katsayılar Yöntemi`ne göre; kolonun dışmerkezliliği hesap açıklığının 1/10`dan fazla olamaz. Tüm moment değerleri incelendi. Uygulanamaz kuralının nedenleri araştırılmıştır.

Moment katsayılar yöntemine göre kenar açıklık dış mesnet momentinin yanlış olarak hesaplandığı anlaşılmıştır. Söz konusu noktadaki negatif toplam moment; Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 181.313`lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 485.86`lık daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi`nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi`ne göre % 108.26`lık daha küçük sonuç verdiği görüşmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 11`de, Moment Katsayılar Yöntemi`ne uygun olmayan bir sistem seçilmiştir. Moment Katsayılar Yöntemi`ne göre; hareketli yükün kalıcı yüke oranı 2`den fazla olamaz. Tüm moment değerleri incelendi. Uygulanamaz kuralının nedenleri araştırılmıştır.

Moment katsayılar yöntemine göre kenar açıklık dış mesnet momentinin yanlış olarak hesaplandığı anlaşılmıştır. Söz konusu noktadaki negatif toplam moment; Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre % 76.184`lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 72.57`lik daha küçük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi`nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi`ne göre % 2.05`lik daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Moment katsayılar yöntemine göre kenar açıklık toplam pozitif momentini yanlış olarak hesaplandığı anlaşılmıştır. Eşdeğer Çerçeve Yöntemine göre %

12.14'lük daha küçük, Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemine göre % 34.89'lük daha büyük, Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de Sonlu Elemanlar Hesap Yöntemi'ne göre % 41.94'lük daha büyük sonuç verdiği görüşmüştür.

Hareketli yükün kalıcı yüke oranı 2'den fazla olduğu durumlarda Eşdeğer Çerçeve Yöntemi'nin de toplam pozitif moment hesaplamasında sonlu elemanlar yöntemine göre büyük sonuçlar verdiği görüşmüştür.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12 ve 13 aynı sistemden alınmış iki şerittir. Uygulamaların orta açıklıkları kesişmektedir. Orta açıklıkta Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 12'den gelen değerler; $I_{21} = 600$ cm, $I_{22} = 400$ cm, Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 13'den gelen değerler; $I_{21} = 400$ cm, $I_{22} = 400$ cm'dir. Kısa doğrultuda momentlerin daha büyük çıkması beklenirken, her üç yöntemde de daha büyük değerler uzun doğrultuda oluşmuştur.

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 14'de TS 500 Moment Katsayılar Yöntemi ile ACI 318-02 Doğrudan Dizayn Yöntemi karşılaştırılmıştır. Toplam negatif kenar açıklık dış mesnet momenti TS 500'de ACI 318-02'e göre % 13.33 daha büyük değer aldığı, kenar açıklık toplam pozitif momentinin TS 500'de ACI 318-02'e göre % 4 daha küçük değer aldığı saptanmıştır (Şekil 4.46 ve Şekil 4.47).

Karşılaştırmalı Sayısal Uygulama 15'de TS 500 ve ACI 318-02'deki Eşdeğer Çerçeve Yöntemleri Karşılaştırıldı. Orta Şerit için, toplam negatif kenar açıklık dış mesnet momenti ACI 318-02'de herhangi bir değer almazken, TS 500'de -2.02 tm'lik bir değer almıştır. Kolon Şeridi için toplam negatif kenar açıklık dış mesnet momenti TS 500'de ACI 318-02'e göre % 25 daha küçük bir değer aldığı saptanmıştır (Şekil 4.48 ve Şekil 4.49).

KAYNAKLAR

- [1] Atımtay, E., "Betonarme Sistemlerin Tasarımı", Ankara, Birsen Yayınevi (2000) .
- [2] Coşkun, E., "Betonarme Kirişsiz Döşemeli Yapıların Zımbalama Kayma Mukavemetlerinin ve Yatay Ötelemeleri İçin Birer Yöntem", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1990).
- [3] Başar, F., "Kirişsiz Döşemelerin Sonlu Farklar Metodu İle Çözümü", Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (1987).
- [4] TS 500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", Türk Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2000).
- [5] Doğangün, A., "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı", İstanbul, Birsen Yayınevi, (2005).
- [6] Bedel, O., "Sonlu Elemanlar Yönteminin Elle Hesap Edilmesi", OB Mühendislik, <http://obmuhendislik.tripod.com>, Bursa, (2003).
- [7] Aydoğan, M., "Taşıyıcı Elemanlarda Sonlu Elemanlar Yöntemi", Kurs Notları, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, <http://www.imoistanbul.org.com>, İstanbul, (2004).
- [8] Köksal, T., "Sonlu Elemanlar Metodu", İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, (1995).
- [9] Kasumov, A. A., "Yapı Statiği Sonlu Elemanlar Metodu Bilgisayar Destekli Sistem Analizi", Beta Yayınları, İstanbul, (1997).
- [10] Kesen, İ., "Betonarme Yapıların Boyutlandırılmasında EC-2 Standardının Türkiye Koşullarında Uygulanabilirliğinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (1998).
- [11] Taşkent, Z., "TS 500, DIN 1045 ve EC 2 Yönetmeliklerine Göre Kirişsiz Betonarme Plakların Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1997).
- [12] Ünlüoğlu, E., "Kirişsiz Döşemeli Sistemlerde Yatay Kuvvetler Etkisi Altında Rijitlik Değerlendirilmesinin Araştırılması", Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Yayınları No: 47, Eskişehir, (1985).

- [13] ACI318-02, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary ", Reported By ACI Committee 318, A.B.D. (2002).
- [14] Aktaş, H., "Betonarme Kirşsiz Döşemelerde Zımbalama Dayanımı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1981).
- [15] Celep, Z., Kumbasar N., "Betonarme Yapılar", Sema Matbaacılık, İstanbul, (1998).
- [16] Halvorson, M., "Microsoft Vusial Basic Professional", Microsoft Press, A.B.D., (2002).
- [17] Özmen, G., Orakdöğen, E., Darılmaz, K., "Örneklerle Sap2000", Birsen Yayınları, İstanbul, (2002)
- [18] Ersoy, U., "Betonarme 2 Döşeme ve Temeller", Evrim Yayınları, İstanbul, (1995)
- [19] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi No: 25, İzmir, (1998)
- [20] Çivici, F., "Kirişsiz Plak Sistemler", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (1997).
- [21] Chen, W. F., "Handbook of Structural Engineering", CRC Press, New York, (1997)
- [22] Nison, A. H., Winter, G., "Desing of Concrete", McGraw- Hill International Editions Civil Engineeering Series, Cornell University, (1991)
- [23] Demirhan, M., "Sonlu Elemanlar Yöntemi, Sap90 ve Sap2000", İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Ankara, (2003).