

149887

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

**PREFABRİKE KONUT YAPILARINDA
GÖÇME YÜKÜ HESABI**

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Perihan (KARAKULAK) EFE

149887

Balıkesir, Aralık-2004

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

**PREFABRİKE KONUT YAPILARINDA
GÖÇME YÜKÜ HESABI**

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Perihan (KARAKULAK) EFE

Balıkesir, Aralık-2004

**Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri
Birimi tarafından BAP 2002/02 nolu proje ile desteklenmiştir.**

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

**PREFABRİKE KONUT YAPILARINDA
GÖÇME YÜKÜ HESABI**

DOKTORA TEZİ

Yük.Müh. Perihan (KARAKULAK) EFE

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sacit OĞUZ

Sınav Tarihi : 17/02/2005

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Sacit OĞUZ (Danışman-BAÜ)

Prof.Dr. Şerif SAYLAN (BAÜ)

Doç.Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU (OGÜ)

Doç.Dr. Nevzat KIRAC (OGÜ)

Yrd.Doç.Dr. Mehmet TERZİ (BAÜ)

Balıkesir, Aralık-2004

ÖZET

PREFABRİKE KONUT YAPILARINDA GÖÇME YÜKÜ HESABI

Perihan (Karakulak) EFE
Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

(Doktora Tezi / Tez Danışmanı : Prof.Dr.Sacit OĞUZ)

Balıkesir, 2004

Prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarında, bir miktar dönmenin olduğu bilinen bir gerçektir. Birleşim noktalarındaki dönmeler, birleşimlerin elastik dönme redörlerine bağlı olarak bu kesitlerin tam ankastre olarak taşıyabileceği momentin bir miktar azalmasına neden olurlar. Bu tür yapıların analizleri yapılırken, birleşimlerdeki dönmeler nedeni ile oluşan moment taşıma kapasite kayıpları göz önüne alınarak hesap yapılırsa, yapının daha küçük bir yük ile göçeceği söylenebilir.

Bu çalışmada prefabrike betonarme çerçeve ile teşkil edilen konut yapılarının göçme yükü parametrelerine bağlı olarak, göçme yüklerinin belirlenmesi konusunda çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada öncelikle giriş-kolon elemanların birleşiminden teşkil edilmiş prefabrike betonarme çerçeve yapılarıdaki yarı-rijit birleşimlere ait birleşimin dönme redörleri konusunda araştırmalar yapılmıştır. Daha sonra birleşimlerin dönme redörlerine bağlı olarak, birleşim noktalarındaki moment taşıma kapasite kayıplarının göz önüne alındığı bir hesap tarzı geliştirilerek, yarı-rijit birleşimli prefabrike betonarme çerçeve yapıların göçme yükü parametresi belirlenmiş ve aynı tipteki kesitlerden teşkil edilmiş monolitik çerçeve yapıların göçme yükü parametresi ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Ayrıca tam rijit birleşimli monolitik çerçeve yapılar ile yarı-rijit birleşimli prefabrike betonarme çerçeve yapıların taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Son olarak birleşimlerin dönme redörlerine bağlı olarak değişen, farklı taşıma kayıplarının göz önüne alındığı prefabrike betonarme çerçeveler için çözümler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER: göçme yükü / yarı-rijit birleşim / dönme redörü
/ prefabrike betonarme çerçeve / moment taşıma kapasite kaybı

ABSTRACT

CALCULATION OF COLLAPSE LOAD IN PRECAST CONCRETE DWELLING HOUSE STRUCTURES

**Perihan (Karakulak) EFE
Balıkesir University, Institute of Science,
Department of Civil Engineering**

(Ph. D. Thesis / Supervisor: Prof.Dr.Sacit OĞUZ)

Balıkesir, 2004

It is a known fact that small rotations exist in connection regions of precast concrete frame structures. Depending on elastic rotation modules of connections, the rotations in connection regions cause small decrease of moment in the sections of connection regions can carry as rigid connection. In analysing this kind of structures, if the calculations is done taking notice of moment carrying capacity losts occurred by rotations in connection regions, it can be said the structure will collapse with a smaller load.

In this study, depending on collapse load parameters, the collapse load was investigated in dwelling house structures formed by precast concrete frames. Firstly, investigations were made on the elastic rotation modulus of semi-rigid connections in precast concrete frame structures formed by beam-to-column connections. Then, the collapse load parameter of precast concrete frame structures with semi-rigid connection was determined by improving a calculation type by taking notice of moment carrying capacity losts that depend on rotation modules of connections and the collapse load parameter of monolithic frame structure with the same sections and the collapse load parameter of precast concrete frame structure were compared with each other. In addition, carrying capacity losts were compared with monolithic frame structure with rigid connections and precast concrete frame structure with semi-rigid connections. Finally, solutions for precast concrete frames were done according to different carrying capacity losts varying by rotation modules of connections and the results were evaluated.

KEY WORDS: collapse load / semi-rigid connections / rotation modules / precast concrete frame / moment carrying capacity lost

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	ii
ABSTRACT, KEY WORDS	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	11
2. PREFABRİKE BETONARME YAPILAR	13
2.1 Prefabrike Betonarme Taşıyıcı Elemanlar	13
2.2 Prefabrike Betonarme Taşıyıcı Yapı Sistemleri	13
2.2.1 Çerçeve (İskelet) Sistemler	14
2.2.2 Büyük Panolu (Panel veya Yüzeysel Taşıyıcılı) Sistemler	14
2.2.3 Hücre (Kutu) Sistemler	15
2.2.4 Döşeme-Kolon Sistemler	15
2.2.4.1 Kaldırılan Döşemeli ve Perdeli Sistemler	15
2.2.4.2 Öngerilmeli Döşeme-Kolon Sistemleri	16
2.2.5 Karma Sistemler	16
2.3 Prefabrike Betonarme Çerçeve Yapılardaki Birleşimler	16
2.3.1 Birleşimin Yapılış Şekli Yönünden Birleşim Şekilleri	16
2.3.2 Birleşimin Geometrisi Yönünden Birleşim Şekilleri	17
2.3.3 Kesit Tesirlerinin Aktarılma Mekanizması Yönünden Birleşim Şekilleri	17
2.3.3.1 Yapısal Sürekliliğin Sağlanması Önemli Olduğu Birleşimler	18
2.3.3.2 Sürekliliğin Az Önemsendiği Sadece Düşey Kesme Kuvveti Aktarmanın Amaçlandığı Birleşimler	26
2.3.4 Elastik Birleşimler	27
2.3.4.1 Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Olan Mesnet ve Birleşimler	27
2.3.4.2 Çökmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnetler	28
2.4 Prefabrike Betonarme Kesitlerin Kesit Taşıma Momentleri	29
2.4.1 Öngerilmeli Prefabrike Betonarme Kesitlerin Taşıma Momentlerinin Hesabı	29
2.4.1.1 Öngerilmeli Prefabrike Betonarme Kesitlerde Açıklıktaki Kesit Taşıma Momenti	35

2.4.1.2 Öngerilmeli Prefabrikte Betonarme Kesitlerde Mesnetteki Kesit Taşıma Momenti	38
2.4.1.2.1 Eğri Kablolar	40
3. YAPILARIN GÖÇMESİ VE GÖÇME YÜKÜ HESABI	45
3.1 Yapının Göçmesinin Tanımı	45
3.2 Göçme Mekanizmaları	45
3.3 Göçme İncelemede Ana Prensipler ve Teoremler	46
3.4 Göçme Yüğü Hesabı	48
3.4.1 Hesap Tekniğı	48
4. ÖNERİLEN HESAP TEKNİĞİ İLE ÇÖZÜM	52
4.1 Yapı Yüklerinin Belirlenmesi	52
4.1.1 Yapı Düşey Yüklerinin Belirlenmesi	52
4.1.2 Yatay Yüklerin Belirlenmesi	55
4.1.2.1 Binanın Tümüne Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükünün Hesabı	55
4.1.2.2 Katlara Etkiyen Deprem Yüklerinin Hesabı	58
4.2 M_0 Taşıma Momentlerinin Belirlenmesi	60
4.3 Prefabrikte Taşıyıcı Sistemde Çözüm	62
4.3.1 Denge Denklemlerinin Yazılması	62
4.3.2 Denge Denklemlerinin Çözümü	74
4.3.3 Virtüel İş Teoremi İle Hesabın Kontrolü	79
4.4 Monolitik Esas Sistemde Çözüm	83
4.4.1 Denge Denklemlerinin Yazılması	84
4.4.2 Denge Denklemlerinin Çözümü	88
4.4.3 Virtüel İş Teoremi İle Hesabın Kontrolü	96
4.5 Prefabrikte Çerçeve ile Monolitik Çerçevenin Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması	97
5. PREFABRİKE BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN BİRLEŞİM NOKTALARINDA KIRIŞ TAŞIMA MOMENTİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ	98
5.1 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin M_0 Olması Durumunda Çözüm	98
5.2 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin $1.1M_0$ Olması Durumunda Çözüm	107
5.3 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin $1.3M_0$ Olması Durumunda Çözüm	117
5.4 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin $1.4M_0$ Olması Durumunda Çözüm	127
5.5 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin Değişimine ait Çözümlerin Değerlendirilmesi	137
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	142
EK	145
KAYNAKLAR	151

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Adı</u>	<u>Birimi</u>
Δ_b	Düşey yüklerin etkisi altında kirişte oluşan düşey elastik yer değiştirme (çökme)	cm
P	Kirişe uygulanan tekil yük	ton
L	Kiriş açıklığı	m
E	Elastisite modülü	kg/cm ²
I	Atalet momenti	cm ⁴
Δ_c	Prefabrike birleşimli kirişte oluşan ilave yer değiştirme	cm
θ	Mesnet dönmesi	rad
M	Eğilme momenti	tm
R_θ, k_c	Dönmeye karşı elastik mesnet redörü veya birleşimin dönme rijitliği (Dönme redörü)	tm/rad
Y	Mesnetteki düşey doğrultudaki reaksiyon	ton
v	Mesnetteki düşey doğrultudaki yer değiştirme	cm
R_v	Çökmeye karşı elastik mesnet Redörü	t/cm
ϵ_{cu}	Maksimum beton birim kısalması	
f_{ps}	Öngerilme donatısındaki maksimum çekme gerilmesi	kg/cm ²
f_{se}	Öngerilme donatısındaki etkili gerilme değeri	kg/cm ²
f_{pu}	Öngerilme donatısının karakteristik çekme dayanımı	kg/cm ²
γ_p	Öngerme çeliğinin cinsine bağlı bir katsayı	
β_1	Tarafsız eksen derinliği ile gerilme blok derinliği arasındaki ilişkiyle orantılı bir sabit	
ρ_p	Öngerilmeli donatı oranı	
A_{ps}	Öngerilmeli donatı alanı	cm ²
b	Kesit genişliği	cm
d_p	Öngerilme donatısının ağırlık merkezi ile en dış basınç lifi arasındaki mesafe	cm
f'_c	Betonun karakteristik basınç dayanımı	kg/cm ²
d	Öngerme uygulanmamış çekme donatısının ağırlık merkezi ile en dış basınç lifi arasındaki mesafe	cm
ρ	Öngerilmemiş çekme donatısı oranı	
A_s	Öngerme uygulanmamış çekme donatısı alanı	cm ²
f_y	Öngerme uygulanmamış çekme donatısının karakteristik akma dayanımı	kg/cm ²
ρ'	Basınç donatısı oranı	
A'_s	Basınç donatısı alanı	cm ²
d'	Basınç donatısının ağırlık merkezi ile en dış basınç lifi	

	arasındaki mesafe	cm
f_{py}	Öngerilme kablosunun karakteristik akma dayanımı	kg/cm ²
P_e	Öngerilme kuvveti	ton
H	Öngerilme kuvvetinin yatay bileşeni	ton
V	Öngerilme kuvvetinin düşey bileşeni	ton
α	Kablo ağırlık merkezinin eğilme açısı	rad
a	Gerilme bloğu derinliği	
M_n	Kesit taşıma momenti	tm
ϕ	Dayanım azaltma faktörü	
h_f	Tabla yüksekliği	cm
T	Çekme kuvveti	ton
C	Basınç kuvveti	ton
r	Yarıçap	m
ds	Kablo uzunluğu	m
w	Kablo tarafından betona uygulanan ve birim uzunluğa etki eden yük	t/m
F	Kabloya uygulanan kuvvet	ton
$1/r$	Eğrilik	
M_0	Kesit taşıma momenti	tm
H_N	Yapı toplam yüksekliği	m
$V(t)$	Binanın tümüne etkiyen eşdeğer deprem yükü	ton
W	Yapının toplam ağırlığı	ton
w_i	Kat ağırlıkları	ton
g_i	Sabit yükler	ton
n	Hareketli yük katılım katsayısı	
q_i	Hareketli yükler	ton
$A(T_1)$	Spektral ivme katsayısı	
T_1	Binanın birinci doğal titreşim periyodu	
C_t	Bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak tanımlanan bir katsayı	
A_0	Etkin yer ivmesi katsayısı	
I	Bina önem katsayısı	
$S(T)$	Spektrum katsayısı	
$R_a(T_1)$	Deprem yükü azaltma katsayısı	
F_i	Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükü	ton
ΔF_N	Binanın en üst katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü	ton
H	Kat yüksekliği	m
f	Göçme yükü parametresi	
m_i	Boyutsuz moment ifadesi	
K_i	Her m_i değeri için ait olduğu elemanın moment taşıma kapasitesi katsayısıdır.	

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Monolitik ve prefabrike birleşimle bağlanan kirişlerin deformasyon özellikleri	4
Şekil 2.1	Kirişteki yerinde dökme betonla kolon-kiriş birleşimi	19
Şekil 2.2	Çelik plakaların perçinlerle bağlanması ile kolon-kiriş birleşimi	20
Şekil 2.3	Bulonlarla veya gergi çubukları ile kolon-kiriş birleşimi	21
Şekil 2.4	Çelik plakaların bulonlanması ile kolon-kiriş birleşimi	22
Şekil 2.5	Kaynaklı çelik plakalarla kolon-kiriş birleşimi	23
Şekil 2.6	Beton konsola mesnetlenen kirişlerde ardgermeli kolon-kiriş birleşimi	24
Şekil 2.7	Ardgermeli kolon-kiriş birleşimi	25
Şekil 2.8	Sadece düşey kesme kuvveti aktaran kolon-kiriş birleşimi	26
Şekil 2.9	Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet	28
Şekil 2.10	Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Birleşim	28
Şekil 2.11	Çökmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet	29
Şekil 2.12	Öngerilmeli prefabrike kiriş	34
Şekil 2.13	x-x eksenine kesilen öngerilmeli prefabrike kirişin serbest cisim diyagramı	34
Şekil 2.14	II-II eksenine kesilen öngerilmeli prefabrike kirişin serbest cisim diyagramı	35
Şekil 2.15	Öngerilmeli dikdörtgen bir kiriş kesitinde gerilme-şekil değiştirme dağılımı	36
Şekil 2.16	Öngerilmeli tablalı bir kiriş kesitinde gerilme dağılımı	38
Şekil 2.17	Öngerilmeli dikdörtgen bir kirişin mesnedinde gerilme-şekil değiştirme dağılımı	39
Şekil 2.18	Eğri bir kabloda oluşan kuvvetler	41
Şekil 2.19	Parabolik öngerilme kablolu kiriş	42
Şekil 3.1	Yalın ve karışık mekanizmalar	46
Şekil 3.2	Basit bir çerçevede pozitif momentlerin dönme yönleri	50
Şekil 4.1	Hesapta göz önüne alınan çerçeve	53
Şekil 4.2	Boyutların tek bir parametreye bağlandığı çerçevede yük kabulü	54
Şekil 4.3	Dönüştürülmüş boyut ile ifade edilen çerçeveye etki eden yatay ve düşey yükler	59
Şekil 4.4	Bir açıklığa etki eden düşey tekil yükler ve etki noktaları	60
Şekil 4.5	Çerçeveye etki eden yükler ve hesapta göz önüne alınacak kesit taşıma momentleri	64
Şekil 4.6	Kritik kesitlerde oluşan momentler	65
Şekil 4.7	Prefabrike çerçeveye ait moment diyagramı	80
Şekil 4.8	Prefabrike çerçevede mafsalların olduğu kesitler	81
Şekil 4.9	Prefabrike çerçeveye ait mekanizma durumu	82

Şekil 4.10	Monolitik çerçeveye ait moment diyagramı	93
Şekil 4.11	Monolitik çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	94
Şekil 4.12	Monolitik çerçeveye ait mekanizma durumu	95
Şekil 5.1	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin M_0 olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	108
Şekil 5.2	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.1M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	118
Şekil 5.3	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.3M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	128
Şekil 5.4	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.4M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	138
Şekil 5.5	Birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerinin değişimine bağlı olarak göçme yükü parametresinin değişimi	140
Şekil 5.6	Kiriş taşıma momentlerinin oranına bağlı olarak göçme yükü parametresinin değişimi	140
Şekil 5.7	Birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerine bağlı olarak göçme yükü parametresi ve taşıma kaybının değişimi	141



ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Monolitik ve prefabrike birleşimle bağlanan kirişlerin deformasyon özellikleri	4
Şekil 2.1	Kirişteki yerinde dökme betonla kolon-kiriş birleşimi	19
Şekil 2.2	Çelik plakaların perçinlerle bağlanması ile kolon-kiriş birleşimi	20
Şekil 2.3	Bulonlarla veya gergi çubukları ile kolon-kiriş birleşimi	21
Şekil 2.4	Çelik plakaların bulonlanması ile kolon-kiriş birleşimi	22
Şekil 2.5	Kaynaklı çelik plakalarla kolon-kiriş birleşimi	23
Şekil 2.6	Beton konsola mesnetlenen kirişlerde ardgermeli kolon-kiriş birleşimi	24
Şekil 2.7	Ardgermeli kolon-kiriş birleşimi	25
Şekil 2.8	Sadece düşey kesme kuvveti aktaran kolon-kiriş birleşimi	26
Şekil 2.9	Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet	28
Şekil 2.10	Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Birleşim	28
Şekil 2.11	Çökmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet	29
Şekil 2.12	Öngerilmeli prefabrike kiriş	34
Şekil 2.13	x-x eksenini ile kesilen öngerilmeli prefabrike kirişin serbest cisim diyagramı	34
Şekil 2.14	II-II eksenini ile kesilen öngerilmeli prefabrike kirişin serbest cisim diyagramı	35
Şekil 2.15	Öngerilmeli dikdörtgen bir kiriş kesitinde gerilme-şekil değiştirme dağılımı	36
Şekil 2.16	Öngerilmeli tablalı bir kiriş kesitinde gerilme dağılımı	38
Şekil 2.17	Öngerilmeli dikdörtgen bir kirişin mesnedinde gerilme-şekil değiştirme dağılımı	39
Şekil 2.18	Eğri bir kabloda oluşan kuvvetler	41
Şekil 2.19	Parabolik öngerilme kablolu kiriş	42
Şekil 3.1	Yalın ve karışık mekanizmalar	46
Şekil 3.2	Basit bir çerçevede pozitif momentlerin dönme yönleri	50
Şekil 4.1	Hesapta göz önüne alınan çerçeve	53
Şekil 4.2	Boyutların tek bir parametreye bağlandığı çerçevede yük kabulü	54
Şekil 4.3	Dönüştürülmüş boyut ile ifade edilen çerçeveye etki eden yatay ve düşey yükler	59
Şekil 4.4	Bir açıklığa etki eden düşey tekil yükler ve etki noktaları	60
Şekil 4.5	Çerçeveye etki eden yükler ve hesapta göz önüne alınacak kesit taşıma momentleri	64
Şekil 4.6	Kritik kesitlerde oluşan momentler	65
Şekil 4.7	Prefabrike çerçeveye ait moment diyagramı	80
Şekil 4.8	Prefabrike çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	81
Şekil 4.9	Prefabrike çerçeveye ait mekanizma durumu	82

Şekil 4.10	Monolitik çerçeveye ait moment diyagramı	93
Şekil 4.11	Monolitik çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	94
Şekil 4.12	Monolitik çerçeveye ait mekanizma durumu	95
Şekil 5.1	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin M_0 olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	108
Şekil 5.2	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.1M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	118
Şekil 5.3	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.3M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	128
Şekil 5.4	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.4M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler	138
Şekil 5.5	Birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerinin değişimine bağlı olarak göçme yükü parametresinin değişimi	140
Şekil 5.6	Kiriş taşıma momentlerinin oranına bağlı olarak göçme yükü parametresinin değişimi	140
Şekil 5.7	Birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerine bağlı olarak göçme yükü parametresi ve taşıma kaybının değişimi	141



ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u> <u>Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1	Birleşimin dönme rijitlik değerleri (Dönme redörleri)	5
Çizelge 5.1	Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentlerinin değişimine ait çözüm sonuçları	139



ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca bana her konuda destek olan, değerli fikirleriyle yol gösteren, hiçbir zaman bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof.Dr. Sacit OĞUZ'a, değerli fikirleriyle beni yönlendiren Tez İzleme Komitesinde bulunan hocalarım Sayın Prof.Dr. Şerif SAYLAN ve Doç.Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım da kullanmış olduğum LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer) bilgisayar programının serbest versiyonunun bir CD'sini hiçbir ücret talep etmeksizin gönderen ve bana bu konuda yardımcı olan LINDO System Inc. Şirketinin Teknik Destek Bölümüne teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmalarım sırasında maddi ve manevi desteği ile her zaman yanımda olan sevgili eşim Güner EFE'ye ilgi, sabır, anlayış ve hoş görüsünden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Balıkesir, 2004

Perihan (Karakulak) EFE

1. GİRİŞ

Birleştiklerinde bir taşıyıcı sistemi meydana getiren ve atölyelerde önceden imal edilmiş olan betonarme veya öngerilmeli beton kısımlara prefabrike betonarme eleman, bu elemanlarla inşa edilen yapılara da prefabrike betonarme yapılar denir [1,2].

Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrası, yıkılan Avrupa kentlerinin yeniden yapımı sırasında, ortaya çıkan büyük miktardaki konut, sosyal ve endüstri yapısı açığı tasarımcıları ve inşaat sektöründe çalışan insanları yeni yapım tekniklerine ve özellikle de prefabrikasyona yönelmeyi zorunlu kılmıştır. Ülkemizde ise ancak 1960'lı yıllarda prefabrikasyon uygulamalarına başlanılabilmektedir. Son yıllardaki sanayileşme hızına paralel olarak artan endüstriyel yapı ihtiyacının hemen hemen tümü, artık prefabrikasyon tekniği ile karşılanmaktadır. Bu olgu, prefabrikasyonun Türkiye'de benimsenmesinde ve yaygınlaşmasında önemli rol oynamıştır. Endüstriyel yapılarda, elektrik, telefon ve çit direklerinde, kanal ve kanaletlerde yoğun bir şekilde rakipsiz olarak uygulanmakta olan prefabrikasyon, son yıllarda konut, idari, eğitim ve sağlık yapılarında, köprü, menfez gibi altyapı işlerinde, bordür, parke taşı v.b kent mobilyaları gibi elemanlarda ciddi boyutlarda uygulanmaktadır.

Prefabrikasyon, betonarme yapımın endüstrileşmesinde atılan önemli bir adımdır. Prefabrikasyonla, yapının önemli bir bölümü hava koşullarından etkilenmeyen, daha etkin kalite denetiminin yapılabildiği fabrikalara taşınmıştır.

Betonarme çok katlı yapılarda, önceden fabrikalarda üretilen yapı elemanların, yapı yerinde birleştirilmesine dayanan prefabrikasyon teknolojisine yönelişin sebebi, bu teknolojinin sağlamış olduğu avantajlardır. Prefabrike betonarme yapı sistemlerinin tasarımcı ve yapımcılara sağladığı belli başlı avantajlar kısaca aşağıda maddeler halinde verilmiştir [3,4,5,6,7].

- a) Üretim fabrikada yapıldığından titiz, yüksek dayanımlı betonlardan elemanlar yapılmaktadır.
- b) Prefabrike elemanlar sıkı kalite kontrolünden geçirilmekte, böylece kusurlu imalat minimuma indirilmektedir.
- c) Üretim iklime ve hava şartlarına bağlı olmadan devam edebilmektedir.
- d) Yüksek mukavemetli betondan (BS25-BS50) imal edilen yüksek mukavemetli betonarme elemanlar sayesinde, büyük açıklıklar daha küçük kesitlerle geçilebilmektedir.
- e) Üretimin büyük bir bölümünün fabrikada yapılması, şantiye alanındaki çalışma süresini kısaltarak, ekonomi, işgücü ve zaman tasarrufu sağlamaktadır.
- f) Üretimin fabrikalarda yapılması nedeniyle çevre üzerindeki meydana gelebilecek olumsuz etkiler denetlenebilmekte ve önlenebilmektedir.
- g) İnşaat yapım süresi kısalmaktadır.
- h) Bakım ve onarım ihtiyacı daha az olmaktadır.

Prefabrikasyonun bu avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlardan en önemlisi Prefabrike yapıların birleşim noktalarında karşılaşılan sorunlardır. Prefabrike yapılarda, monolitik yapılardaki birleşim rijitliğinin sağlanması güçtür. Uygulamada prefabrike yapılardaki ek yerlerinin şantiyede yapılması zorunluluğundan dolayı, birleşimlerin eğilme momentini aktaracak şekilde rijit olarak teşkil edilmesinde büyük zorluklarla karşılaşılmaktadır. Ek yerlerinde rijitliğin tam anlamı ile sağlanamaması ise, depreme dayanıklılıkta bir takım sorunlar yaratmaktadır.

1.1 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Prefabrike betonarme çerçevelerdeki birleşimler üzerine yapılan deneysel ve teorik çalışmalar kronolojik sıra halinde aşağıda verilmektedir.

1981 yılında Pillai tarafından “Ductile Beam-Column Connections in Precast Concrete” isimli bir çalışma yapılmıştır [8]. Bu çalışmada 2’si monolitik 11 adet

gerçek ölçekli kiriş-kolon birleşimi, tekrarlı yatay yükler altında test edilerek birleşimlerin dayanım, rijitlik, duktilite ve enerji dağılımları incelenerek, birleşimlerin performansı deneysel olarak araştırılmıştır.

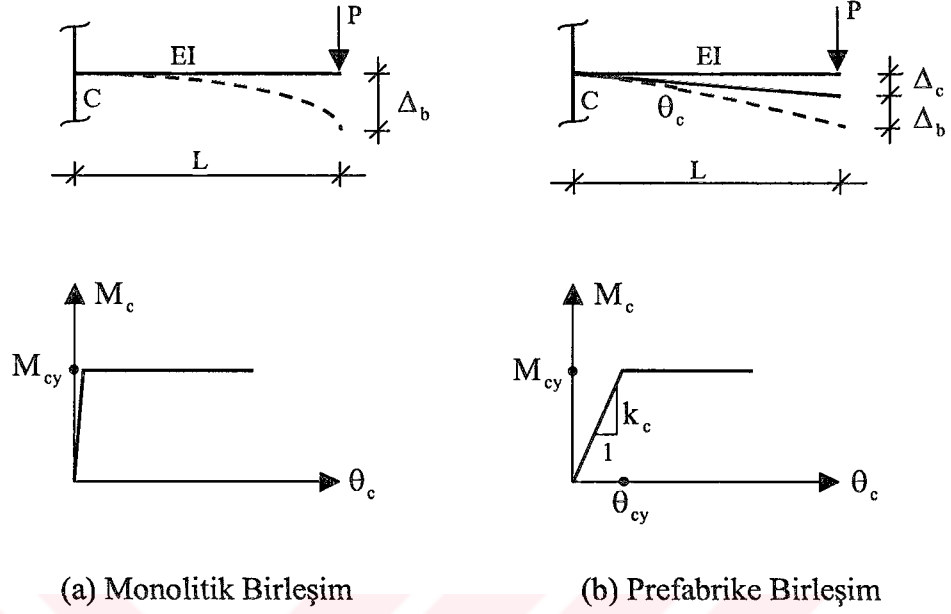
1989 yılında French, Hafner ve Jayashankar, “Connection Between Precast Elements-Failure Within Connection Region” isimli bir çalışma yapmışlardır [9]. Bu çalışmada Öngerilmeli, Threaded Rebar (Dişli-nervürlü donatılı), Kompozit, Kaynaklı ve Bulonlu olarak teşkil edilmiş 7 adet kiriş-kolon birleşimlerinin tekrarlı yanal yükler altındaki davranışları incelenmiş ve birleşimlerin dayanım, duktilite ve enerji dağılım kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

1993 yılında Sucuoğlu ve Kuş “Prefabrike Kiriş-Kolon Birleşim Rijitliğinin Çerçeve Deprem Davranışına Etkisi” isimli bir çalışma yapmışlardır [10]. Bu çalışmada, birleşim rijitliğinin çerçeve deprem davranışı üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Çalışmada birleşim rijitliğinin deneysel olarak belirlenmesi konusuna da değinilmektedir. Birleşim dönme rijitliği (dönme redörü) k_c 'nin tanımı ancak kiriş özelliklerine bağlı olarak deneysel bir yöntemle yapılabilmektedir. Bu amaçla mesnet ucundan ilkinde monolitik yani sonsuz rijit birleşimle bağlı, ikincisinde ise prefabrike birleşimle bağlı iki ayrı konsol kiriş deney elemanı göz önüne alınmıştır. Göz önüne alınan monolitik ve prefabrike birleşimli kirişlerin deformasyon ve Moment-dönme ilişkileri Şekil 1.1’de gösterilmektedir.

Monolitik elemanın ucuna bir P yükü uygulandığında, bu yükün etkisi ile serbest uçta (Δ_b) kadar düşey elastik yer değiştirme (çökme) oluşacaktır. Tamamen kiriş eğilmesi nedeniyle oluşan yer değiştirme

$$\Delta_b = \frac{PL^3}{3EI} \quad (1.1)$$

olarak ifade edilir. Aynı yük prefabrike birleşimli elemana uygulandığında, mesnet dönmesi nedeniyle Δ_c kadar ilave bir yer değiştirme olacaktır. Mesnet dönmesi θ nin ifadesi



Şekil 1.1 Monolitik ve prefabrike birleşimle bağlanan kirişlerin deformasyon özellikleri

$$\theta_c = \frac{M}{k_c} = \frac{PL}{k_c} \quad (1.2)$$

şeklindedir. Bu durumda Δ_c ilave çökmesi,

$$\Delta_c = \theta_c L = \frac{PL^2}{k_c} \quad (1.3)$$

bağıntısından hesaplanır. Denklem (1.1) ve (1.2) kullanılarak P yükü yok edilirse, birleşim dönme rijitliği için

$$k_c = \frac{3EI \Delta_b}{L \Delta_c} \quad (1.4)$$

ilişkisi elde edilir. Şayet Δ_c / Δ_b oranı deneysel olarak belirlenebilirse, birleşim dönme rijitliği k_c hesaplanmış olacaktır. Prefabrikasyona ait deney literatüründe monolitik ve prefabrike birleşimli konsol kiriş çiftlerini içeren deneyler yapılmış olmasına rağmen yayınların pek çoğunda sınır dayanım hedeflendiğinden, elastik durumdaki yük-çökme ilişkileri verilmemiş, tüm deney sonuç setini elde etmek mümkün olamamıştır. Bu nedenle sunulan çalışmada Δ_c / Δ_b oranı için pratik sınırlar içerisinde 0.375 ve 0.75 büyüklüğünde iki değer seçilmiş, seçilen bu değerlere bağlı olarak örnek prefabrike çerçevenin birleşim dönme rijitlikleri hesaplanarak çerçeve deprem davranışına olan etkileri incelenmiştir. Hesaplanan birleşim dönme rijitlik değerleri (Dönme redörleri) Çizelge 1.1 de verilmektedir.

Çizelge 1.1 Birleşimin dönme rijitlik değerleri (Dönme redörleri)

Monolitik Birleşim	Prefabrike Birleşim I.Durum $\Delta_c / \Delta_b = 0.375$	Prefabrike Birleşim II.Durum $\Delta_c / \Delta_b = 0.75$
$k_c = \infty$	$k_c = 400000 \text{ kNm}$	$k_c = 200000 \text{ kNm}$

1994 yılında Elliott, Davies ve Görgün “The Determination of Moment-Rotation in Semirigid Precast Concrete Connections Using the Component Method” isimli bir çalışma yapmışlardır [11]. Bu çalışmada prefabrike betonarme birleşimler içerisinde ana yapısal birleştiricilerin birleşimde gözükmemesi nedeniyle popüler bir birleşim türü olan ve gizli konsol (Hidden Corbel) adı verilen birleşimler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Mahdi tarafından yapılan tam ölçekli, üç boyutlu deneylerden elde edilen sonuçlar ile bu çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tam ölçekli deneylerden ve bu çalışmada kullanılan, basitleştirilmiş modellerle yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara dayanılarak birleşimlerin başlangıç rijitlikleri yaklaşık olarak tahmin edilmiş ve her

iki çalışmadan elde edilen veriler yardımıyla birleşimlerin moment-dönme eğrileri karşılaştırılmıştır.

1995 yılında Ersoy, Tankut ve Özcebe “Prefabrike Betonarme Yapı Birleşimlerinin Deprem Davranışı” isimli Tübitak destekli bir araştırma projesi yapmışlardır [12]. Bu projede, ülkemizde prefabrike çerçeve türü yapılarda yaygın olarak kullanılmakta olan prefabrike kiriş-kolon birleşimleri, depremi benzeştiren yükler altında test edilerek bunların deprem davranışları araştırılmıştır. Bu projede ülkemizde yaygın olarak kullanılan çok katlı prefabrike bir çerçevenin kenar kiriş-kolon birleşimi ile çerçevenin üst katından alınan orta ve kenar kiriş-kolon birleşimleri olmak üzere üç tür bağlantı göz önüne alınmıştır. Her tür bağlantı için bir veya iki monolitik referans elemanı yapılarak aynı tür yükleme altında test edilerek, prefabrike deney elemanları ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

1995 yılında Sucuoğlu tarafından “Öndökümlü Beton yapı Birleşimlerinin Deprem Dayanımı” isimli Tübitak destekli, INTAG 501 nolu bir proje yapılmıştır [13]. Bu çalışmada Türkiye Prefabrik Birliğine üye olan ve moment aktaran kiriş-kolon birleşimleri kullanılarak prefabrike betonarme çerçeve üretimi yapan NİĞBAŞ, SET-BETOYA, FE-GA ve AFA firmalarının uyguladıkları birleşimler ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında yürütülen INTAG 504 projesi kapsamında test edilerek değerlendirilmişlerdir. Bu değerlendirmelerin ışığında prefabrike (öndöküm) birleşimlerinin, monolitik (birdöküm) birleşimlerden iki önemli davranış farkı olduğu saptanmıştır. Birincisi; doğrusal elastik sınırdaki öndökümlü birleşimlerin birleşim rijitliği birdöküm birleşimler gibi tam olarak sağlanamamakta, öndökümlü birleşimler yarı-rijit birleşim özellikleri sergilemektedir. İkincisi ise; doğrusal sınırların ötesinde kiriş ucunda plastik mafsal oluşmaya başlayınca, birleşim ile plastik mafsal bölgesinin rastlaşması öndökümlü birleşimleri olumsuz yönde etkilemekte, birdökümlü birleşimlere oranla daha erken dayanım kaybına uğramakta, deprem yükleri altında eşdeğer sünek davranış özelliklerini gösterememektedirler.

Yapılan genel değerlendirmeler ve deneysel sonuçlar ışığında öndökümlü betonarme çerçevelerin birleşimlerinden kaynaklanan bu sorunların analitik olarak irdelenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla tipik, çok katlı ve çok açıklıklı bir

çerçeve seçilmiş ve yapım yönetmeliklerine uygun olarak projelendirilmiştir. Tüm kesit özellikleri belirlenen çerçeve, doğrusal olmayan bir dinamik analiz programı yardımıyla modellenmiştir. Çerçeve modeli önce yarı-rijid kiriş kolon birleşimlerinin çerçeve davranışına olan etkilerini irdelemek amacıyla kullanılmıştır. Değişik dönme rijitliklerine sahip birleşimler modelde analitik olarak tanımlanarak çerçeve davranışı deprem etkileri altında hesaplanmış, yarı-rijit öndökümlü çerçeve birleşimlerinin gerek çerçeve davranışına, gerekse eleman iç kuvvetlerine olan etkileri elde edilmiştir. Çalışmanın sonucunda birleşime uygulanan moment M_c , birleşim rijitliği k_c , yarı-rijit birleşim dönmesi θ_c ve ankastrelik faktörü p arasındaki ilişkiyi gösteren eğriler çizilmiştir.

1996 yılında Elliott, Davies ve Görgün “Component Method Validation Test in Precast Concrete Semi-Rigid Connections”, isimli bir çalışma yapmışlardır [14]. Bu çalışmada eşit eğilme momentleri ve kesme kuvvetine maruz çift yönlü birleşimlerin üç farklı metot kullanılarak moment-dönme eğrilerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Çalışmada tam ölçekli deneylerden elde edilen direkt ölçümler, tam ölçekli deneylerden hesaplanan ve ölçülen birleşim deformasyonları, Component metoduna göre hesaplanan ve ayrı deneylerden ölçülen birleşim deformasyonları göz önüne alınarak üç farklı metottan elde edilen moment-dönme verileri grafik olarak verilmiştir. Sonuç olarak moment-dönme verilerinin elde edilmesinde Component metodunun mantıklı sonuçlar verdiği gösterilmiştir.

1996 yılında Çolak, tarafından “Prefabrike Kolon Kiriş Birleşiminin Elastik Dönme Redörünün Hesabı” isimli Yüksek Lisans Tezi yapılmıştır [15]. Bu çalışmada sanayi yapılarında yaygın olarak kullanılan Lamda çerçeve sistemlerine ait kolon kiriş birleşiminin bulonlu ve moment aktarabilecek şekilde uygulanmasına örnek teşkil eden birleşim bölgesi, analitik olarak incelenerek, birleşimin elastik dönme redörü hesaplanmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar İTÜ laboratuvarlarında aynı birleşim için yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

1997 yılında Elliott, Davies, Görgün, “Semi-Rigid Connections in Precast Concrete Frames”, isimli bir çalışma yapmışlardır [16]. Bu çalışmada çerçevelerdeki kolon uzunluk faktörünün parametrik çalışmalarından elde edilen

sonuçlar ve dört tane tam ölçekli kiriş-kolon birleşiminden elde edilen moment-dönme verileri açıklanmaktadır. Çalışmada, öncelikle kolon uzunluk faktörleri üzerine yapılan çalışmalardan bahsedilmiş daha sonra ise birleşimlerin rijitliğinin belirlenebilmesi için deneysel çalışmalara değinilmiştir. Çalışmada iki farklı şekilde birleştirilmiş dört adet tam ölçekli ereve birleşimleri üzerinde deneysel çalışmalar yapılmış ve üç farklı metot ölçümleri kullanılarak birleşimlerin moment-dönme verileri elde edilmiş ve diyagramları çizilmiştir. Çalışmanın sonucunda prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşimlerinin eğilme mukavemetinin, birleştiricinin cinsine ve çerçevedeki konumuna bağlı olduğu görülmüştür.

1998 yılında Christopher ve Bjorhovde “ Response Characteristics of Frames with Semi-Rigid Connections” isimli bir çalışma yapmışlardır [17]. Bu çalışmada, eleman boyutları, uygulanan yük ve boyutlar açısından aynı olan fakat sadece birleşim özelliklerinin farklı olduğu bir seri yarı-rijit çerçevelerin analizlerinde kullanılmak üzere tipik yarı-rijit birleşimlere ait moment-dönme eğrilerileri verilmektedir.

1998 yılında Viridi, Ragupathy, Elliott, Davies, ve Görgün “Semi-Rigid frame Analysis using Rigorous and Simplified Methods”, isimli bir çalışma yapmışlardır [18]. Bu çalışmada yarı-rijit birleşimlerin dayanım ve rijitliğini kapsayan prefabrike betonarme çerçevelerin dizaynı için basitleştirilmiş bir metot önerilmiştir. Bu metot sürekli kolonlu, iki katlı, prefabrike betonarme ereve üzerinde yapılan sekiz deneysel çalışma ile geçerliliği sağlanmış olan SWANSA bilgisayar programına dayanmaktadır. Yarı-rijit birleşimlerin limit dayanımını ve dönme rijitliğini kapsayan bu metot da SEMICAST olarak isimlendirilen bir program kullanılmıştır. Çalışmada nerilen metodun doğruluğunu göstermek için gerçeğe uygun iki ereve kullanılmıştır. Her iki ereve ilk önce birleşim davranışı için deneysel moment-dönme eğrisi ile birlikte SWANSA bilgisayar programı kullanılarak, daha sonra idealize edilen birleşim karakteristiği ile birlikte SEMICAST programı kullanılarak analiz edilmişlerdir. Yeni dizayn metodunun geçerliliği, her iki çerçevedeki birleşim noktaları için SWANSA bilgisayar programından elde edilen eğilme momentleri ile karşılaştırılarak sağlanmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda, birleşimlerin nonlinear moment dönme eğrilerinin bilinear elastik-plastik karakteristiğinin de idealize edilebileceği önemli bir gelişmedir. Bu çalışmada önerilen metottan elde edilen birleşim momentlerinin geçerliliği sağlanan SWANSA bilgisayar programı ile yapılan nonlinear analize mükemmel bir uyum sağladığı gösterilmiştir. Kısaca bu çalışmada önerilen metodun yarı-rijit birleşimli prefabrike betonarme çerçevelerin dizaynı için emniyetli ve basit bir metod olduğu sonucuna varılmıştır.

1998 yılında Elliott, Davies, Mahdi ve Görgün “Precast Concrete Semi-Rigid Beam to Column Connections in Skeletal Frames”, isimli bir çalışma yapmışlardır [19]. Bu çalışmada çeşitli birleşim malzemeleri ile birleştirilmiş tam ölçekli yirmi üç adet prefabrike betonarme kiriş kolon birleşimleri üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneysel çalışmaların sonucunda birleşimlerin moment-dönme eğrileri çizilmiştir. Birleşimlerin moment-dönme eğrilerinden yararlanılarak, prefabrike betonarme kiriş-kolon birleşimlerinin eğilme mukavemeti ve rijitliğine , birleşimde kullanılan birleştiricinin tipinin, çerçevenin geometrisinin ve yükleme modlarının etkileri gösterilmiştir.

1998 yılında Cheok, Stone ve Kunnath, “Seismic Response of Precast Concrete Frames with Hybrid Connections” isimli bir çalışma yapmışlardır [20]. Bu çalışmada yumuşak çelik ve arderme çeliğinin birleşiminden teşkil edilen Hybrid birleşimli prefabrike betonarme kiriş ve kolon birleşimlerinin deprem yükleri etkisi altındaki performansları deneysel olarak araştırılmıştır.

1999 yılında Nakaki, Stanton ve Sritharon “An Overview of the Press Five-Story Precast Test Building”, isimli bir çalışma yapmışlardır [21]. Bu çalışmada %60 ölçekli beş katlı prefabrike bir yapı tekrarlı deprem yükleri altında test edilmiştir. Test programının amacı değişik sismik bölgelerde kullanım için uygun olan, prefabrike betonarme sismik sistemler için dizayn şartlarını geliştirmektir.

2000 yılında Alcocer, Carranza ve Perez-Navarrete, “Behaviour of a Precast Concrete Beam-Column Connection” isimli bir çalışma yapmışlardır [22]. Bu çalışmada çelik donatı ve öngerilme halatı kullanılarak teşkil edilen 2 adet kiriş

kolon birleşimlerinin, rasgele ve iki yönlü tekrarlı yükler altındaki davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

2000 yılında El-Sheikh, Pessiki, Sause, ve Le-Wu Lu, “Moment Rotation Behavior of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Beam-Column Connections” isimli bir çalışma yapmışlardır [23]. Bu çalışmada PRESS (Prefabrik Sismik Yapı Sistemleri) programının geliştirdiği kiriş ve kolon birleşiminde arderme çelik çubuğunun kullanıldığı prefabrike betonarme çerçeveler göz önüne alınarak, kiriş kolon birleşimleri üzerinde deneysel ve analitik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada arderme ile teşkil edilen kiriş kolon birleşimlerinin yapısal davranışını ifade eden analitik bir model geliştirilmiş ve birleşimlerin moment-dönme davranışları idealize edilmiştir.

2000 yılında Elliott tarafından “Research and Development in Precast Concrete Frame Structures”, isimli bir çalışma yapılmıştır [24]. Bu çalışma prefabrike betonarme çerçeve yapılar üzerinde son 20 yıldır devam eden araştırma çalışmaları, US-Japon işbirliği ile yapılan PRESS projesindeki 5 katlı çerçeve üzerindeki büyük ölçekli deneysel çalışmaları ve çerçeve birleşimlerinin yapısal davranışları üzerine yapılan Avrupa projeleri göz önüne alınarak yapılmış geniş kapsamlı bir çalışmadır. Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan birleşimlerin söz konusu olduğu 23 adet deneysel çalışma sonucunda, yarı-rijid kiriş ve kolon birleşimlerinin gerçek moment-dönme eğrileri verilmiştir.

2001 yılında Pampanin, Priestley ve Sriharan “Analytical Modelling of the Seismic Behaviour of Precast Concrete Frames Designed with Ductile Connections” isimli bir çalışma yapmışlardır [25]. Bu çalışmada şantiyede hazırlanan beton için uygun olan ve “monolitik kiriş anolijisi” olarak adlandırılan çözüm tekniğine, elemanların global yer değiştirmelerinin de ilave edildiği bir yaklaşım ile prefabrike elemanlar için uygun bir kesit analizi metodu önerilmektedir. Önerilen metot, ilk olarak hibrid birleşimli kiriş-kolon birleşimleri üzerine yapılan deneylerden elde edilen verilerle geçerli kılınmıştır. Analitik ve deneysel çalışmaların sonuçlardan, önerilen metodun geçerliği konusunda tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Prefabrike betonarme yapı sistemleri yurdumuzda son yıllarda özellikle de endüstri yapılarında çok yaygın olarak uygulanmaktadır. Bilindiği gibi bu tip yapıların analizi yapılırken, çözüm kolaylığı açısından prefabrike elemanların birleşim noktaları genellikle ya tam rijit yada mafsallı olarak kabul edilmektedirler [26]. Halbuki bu kabul gerçeği yansıtmayan bir kabüldür. Şöyle ki, geleneksel sistemlerin monolitik olmasından kaynaklanan rijitliğini, prefabrike eleman bileşenleri ile sağlamak gerçekten zordur. Ayrıca prefabrike betonarme çerçevelerdeki kiriş-kolon eleman birleşimlerinin eğilmede sanki yarı rijit birleşmiş gibi davrandığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, bu tip yapıların analizi yapılırken, birleşim noktalarını tam rijit yerine yarı-rijit veya elastik birleşim olarak, göz önüne alarak çözüm yapmak daha gerçekçidir. Bu durumda yarı-rijit birleşim noktalarındaki, birleşimlerin elastik dönme redörü (birleşimin dönme rijitliği) değerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, kiriş-kolon elemanlarının birleşiminden teşkil edilmiş prefabrike betonarme çerçeve yapılar göz önüne alınarak, bu yapıların göçme yüklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarındaki kesitlerde oluşan dönmeler, bu kesitlerin tam ankastre olarak taşıyabileceği momentin bir miktar azalmasına neden olurlar. Bu azalma miktarı birleşimin elastik dönme redörü (birleşimin dönme rijitliği) ile ilgilidir. Prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarına ait dönme redörleri bilinirse, moment etkisi altında kaybedecekleri moment taşıma kapasiteleri de hesaplanabilir. Bu amaçla, çalışmada öncelikle kiriş-kolon elemanlarının birleşiminden teşkil edilmiş prefabrike betonarme çerçeve yapılarıdaki yarı-rijit birleşimlerin dönme redörleri konusunda araştırmalar yapılmış ve birleşimlerin dönme redörlerine bağlı olarak, birleşim noktalarındaki moment taşıma kayıplarının göz önüne alındığı bir hesap tekniği ile yarı-rijit birleşimli prefabrike betonarme çerçeve yapıların göçme yükü parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra çalışmada göz önüne alınan hesap tekniği ile aynı kesitlerden yapılmış monolitik çerçeve yapıların göçme yükü parametreleri belirlenmiştir. Ayrıca tam rijit birleşimli monolitik çerçeve yapıların göçme yükü parametreleri ile yarı-rijit birleşimli prefabrike betonarme çerçeve

yapıların göçme yükü parametreleri karşılaştırılarak aralarında oluşan taşıma kayıpları belirlenmiştir. Çalışmanın sonunda birleşim noktalarında, birleşimin dönme redörlerine bağlı olarak değişen farklı taşıma momentleri göz önüne alınarak çözümler yapılmış ve bu çözümlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.



2. PREFABRİKE BETONARME YAPILAR

2.1 Prefabrike Betonarme Taşıyıcı Elemanlar

Prefabrike betonarme taşıyıcı elemanların başlıca üç grupta incelenmesi mümkündür [1,4].

a) Çubuk Elemanlar : Bir boyutu diğer boyutlarına oranla büyük olan yapı elemanlarıdır. Prefabrike yapı sistemlerinde kiriş, kolon, çerçeve, kemer vb. elemanlar çubuk eleman olarak göz önüne alınır.

b) Düzlem Elemanlar : İki boyutu üçüncüye oranla büyük olan yapı elemanlarına düzlem taşıyıcı eleman denir. Prefabrike yapı sistemlerinde döşeme panoları, duvar panoları vb. elemanlar düzlem eleman olarak göz önüne alınır.

c) Kabuk Elemanlar: Bu elemanlar düşünülen kabuk örtüyü meydana getirmek üzere teşkil edilmiş kabuk parçalarıdır.

Bu elemanlar yerinde dökme betonla veya çelik elemanlarla ve birbirleriyle çeşitli kombinasyonlarla bağlanarak, taşıyıcı sistemi teşkil ederler.

2.2 Prefabrike Betonarme Taşıyıcı Yapı Sistemleri

Prefabrike betonarme yapı elemanlarını içeren çeşitli taşıyıcı yapı sistemleri mevcuttur. Prefabrike betonarme taşıyıcı yapı sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir [1,27].

- a) Çerçeve (İskelet) Sistemler
- b) Büyük Panolu (Panel veya Yüzeysel Taşıyıcı) Sistemler

- c) Hücre (Kutu) Sistemler
- d) Döşeme-Kolon Sistemler
- e) Karma Sistemler (Birden fazla sistemin bir arada kullanılması)

2.2.1 Çerçeve (İskelet) Sistemler

Prefabrike çerçeve sistemler konutlarda ve bilhassa az sayıda bölme duvarı içeren ofis ve endüstri yapılarında kullanılırlar. Bu sistemlerin temel özelliği, taşıma ve bölme işlevlerinin ayrı ayrı elemanlarca yerine getirilmesi, duvarların taşıyıcı olmaması, taşıyıcı strüktürün kolon, kiriş, çerçeve gibi doğrusal elemanlarla oluşturulmasıdır. Çerçeve sistemler, birleşim noktalarında kiriş ve kolon elemanların birbirleriyle birleştirilmeleri ile teşkil edilirler. Düşey yükler kolonlar tarafından, yatay yükler ise çerçevelerin teşkil tarzına bağlı olarak bir veya iki doğrultuda ya prefabrike veya yerinde dökme perdeler ya da çekirdeklerle karşılanırlar.

2.2.2 Büyük Panolu (Panel veya Yüzeysel Taşıyıcı) Sistemler

Büyük panolu sistemler esas itibariyle çok katlı konut yapılarında kullanılırlar. Büyük duvar panoları düşey kenarlarında diğer duvar panoları ile, yatay kenarlarında ise yine diğer duvar panoları ve döşeme panoları ile birleşerek istenilen büyüklükte odaları, hacimleri ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi meydana getirirler. Panolar genel olarak bir kat yüksekliğindedirler.

Büyük panolu sistemler bina uzun kenarı veya kısa kenarına paralel duvarların veya her iki doğrultudaki duvarların taşıyıcı olmalarına göre sırasıyla boyuna panolu sistemler, enine panolu sistemler ve iki yönlü panolu sistemler olarak adlandırılırlar.

2.2.3 HÜCRE (Kutu) Sistemler

Hücre sistemler oda hacimlerinin, duvar ve döşemelerinin beraber dökülmesi sonucu, bir birim olarak imal edilen sistemlerdir. Birimler yan yana, üst üste konularak ve gerekli birleşimler yapılmak suretiyle bütün yapı, taşıyıcı sistemi, bölme duvar ve döşemeleri ile meydana gelmiş olur. Hücre sistemler işlevsel açıdan;

- a) Yaşama mekanı hücreleri
- b) Tesisat hücreleri

olarak iki guruba ayrılmaktadır.

2.2.4 Döşeme-Kolon Sistemler

Döşeme-kolon sistemler genel olarak çok katlı yapılarda kullanılmakta ve daha küçük açıklıklar geçilebilmektedir. Prefabrike döşeme-kolon sistemleri özel yapım metotlarını gerektiren sistemlerdir. Bu tip sistemler iki kategoride sınıflandırılmaktadırlar.

2.2.4.1 Kaldırılan Döşemeli ve Perdeli Sistemler

Bu sistemler genellikle çok katlı konut, ofis ve endüstri yapılarında kullanılmaktadırlar. Bu tip sistemlerde bütün kat döşemeleri en alta zemin kat tavan döşemesi olacak şekilde kat alanında, yekpare olarak üst üste döküldükten sonra bütün döşemeler bir paket halinde beraber kaldırılır. Zemin kat döşemesinden bir kat yüksekliğine gelince, prefabrike kolonlar yerine yerleştirilir ve döşemeler kolonların üzerine oturtulur. Bu şekilde bütün katlar bitirilinceye kadar devam edilir. Prefabrike kolonların boyları kat temiz yüksekliği kadardır. Bunlar yalnız düşey yükleri taşıyacak şekilde boyutlandırılırlar. Yatay yükler yerinde dökme betonarme perdeler, merdiven ve asansör kovalarında teşkil edilen çekirdeklerle karşılanırlar.

2.2.4.2 Öngerilmeli Döşeme-Kolon Sistemleri

Bu sistemler sürekliliğin sağlanması için öngerilmeli prefabrike döşeme ve prefabrike kolon elemanlardan teşkil edilen sistemlerdir. Bu sistemlerde prefabrike döşeme plakları kolonlarda yapılan guselere oturtulduktan sonra, kat seviyelerinde kolonların içinden ve döşemelerin arasındaki boşluklardan geçen kablolarla öngerilme verilmek suretiyle kat monolitik şekle getirilir. Daha sonra döşemelerin arasına beton dökülür ve kablolarla da aderans temin edilmiş olur.

2.2.5 Karma Sistemler

Karma sistemler yukarıda sınıflandırılan taşıyıcı sistemlere girmeyen sistemlerdir. Bu sistemlerde iskelet, yüzeysel ve hücre sistemlerinin ikisi veya üçü birden birlikte kullanılabilir. (Panel+İskelet, Hücre+Panel, Hücre+İskelet veya Hücre+Panel+İskelet vb.).

2.3 Prefabrike Betonarme Çerçeve Yapılardaki Birleşimler

Prefabrike betonarme sistemler daha önceden imal edilmiş çeşitli yapısal veya yapısal olmayan elemanların şantiyede birbirleriyle birleştirilmeleri ile teşkil edilen sistemlerdir. Prefabrike betonarme yapılardaki birleşimler, birleşim noktalarındaki birleşme biçimlerine göre çeşitli açılardan gruplandırılmaktadırlar [1,4,28]. Bu gruplandırmaların bazıları aşağıda verilmektedir.

2.3.1 Birleşimin Yapılış Şekli Yönünden Birleşim Şekilleri

Prefabrike taşıyıcı elemanların birleştirilmesinde birleşimlerin yapılış şeklinin ana unsur olarak alındığı bir gruplandırma türüdür. Bu gruplandırma kendi içinde ikiye ayrılmaktadır.

a) Kuru Birleşimler: Prefabrike taşıyıcı elemanların kaynak, bulon vb. metal birleşim malzemeleri ile birleştirilmesiyle teşkil edilen birleşimlerdir.

b) Islak Birleşimler: Prefabrike taşıyıcı elemanların donatıları kaynakla veya bindirme yada fiyonkla bindirme suretiyle birleştirildikten sonra, birleşim bölgesine yerinde dökme beton enjekte edilmesi ile teşkil edilen birleşimlerdir.

2.3.2 Birleşimin Geometrisi Yönünden Birleşim Şekilleri

Prefabrike taşıyıcı elemanların geometrik formlarının (Doğrusal çubuk eleman, eğrisel çubuk eleman, düzlem yada uzay yüzey elemanı vb.) ana unsur olarak alındığı bir gruplandırma türüdür. Bu gruplandırma aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

- a) Doğrusal ve düzlemsel eleman birleşmesi durumu
- b) Eğrisel yüzey ve çubuk elemanları ile doğrusal çubuk elemanlarının birleşme kombinezonları.

2.3.3 Kesit Tesirlerinin Aktarılma Mekanizması Yönünden Birleşim Şekilleri

Prefabrike taşıyıcı elemanların birleştirilmesi ile birleşim bölgesinde karşılanan ve aktarılan kesit tesirlerinin ana unsur olarak alındığı bir gruplandırma türüdür.

Birleşme bölgeleri komple taşıyıcı bir iskeletin ayrı ayrı elemanları arasında yük taşıma ve aktarma mekanizmasının işlevini sağlarlar. Başka bir ifadeyle ise birleşme bölgeleri kendilerine bağlanan düşey, yatay veya eğimli ayrı ayrı yapı elemanlarının uçlarında oluşmuş kesit tesirlerinin (düşey, yatay, eğimli aksel yükler, kesme kuvvetleri, eğilme ve oluşabilirse burulma momentlerinin) dengelendiği ve aktarıldığı yerlerdir. Yapısal süreklilik ve taşıyıcı sistemin genel

stabilitesi ve bir bütün olarak dayanımı bu dengeli aktarımla sağlanır. Kesit tesirlerinin aktarılma mekanizmaları göz önüne alınarak yapılan bu gruplandırma kendi içinde ikiye ayrılmaktadır.

- a) Yapısal süreklilik sağlanmasının önemli olduğu birleşimler
- b) Yapısal sürekliliğin az önemsendiği sadece düşey kesme kuvveti aktarmanın amaçlandığı birleşimler

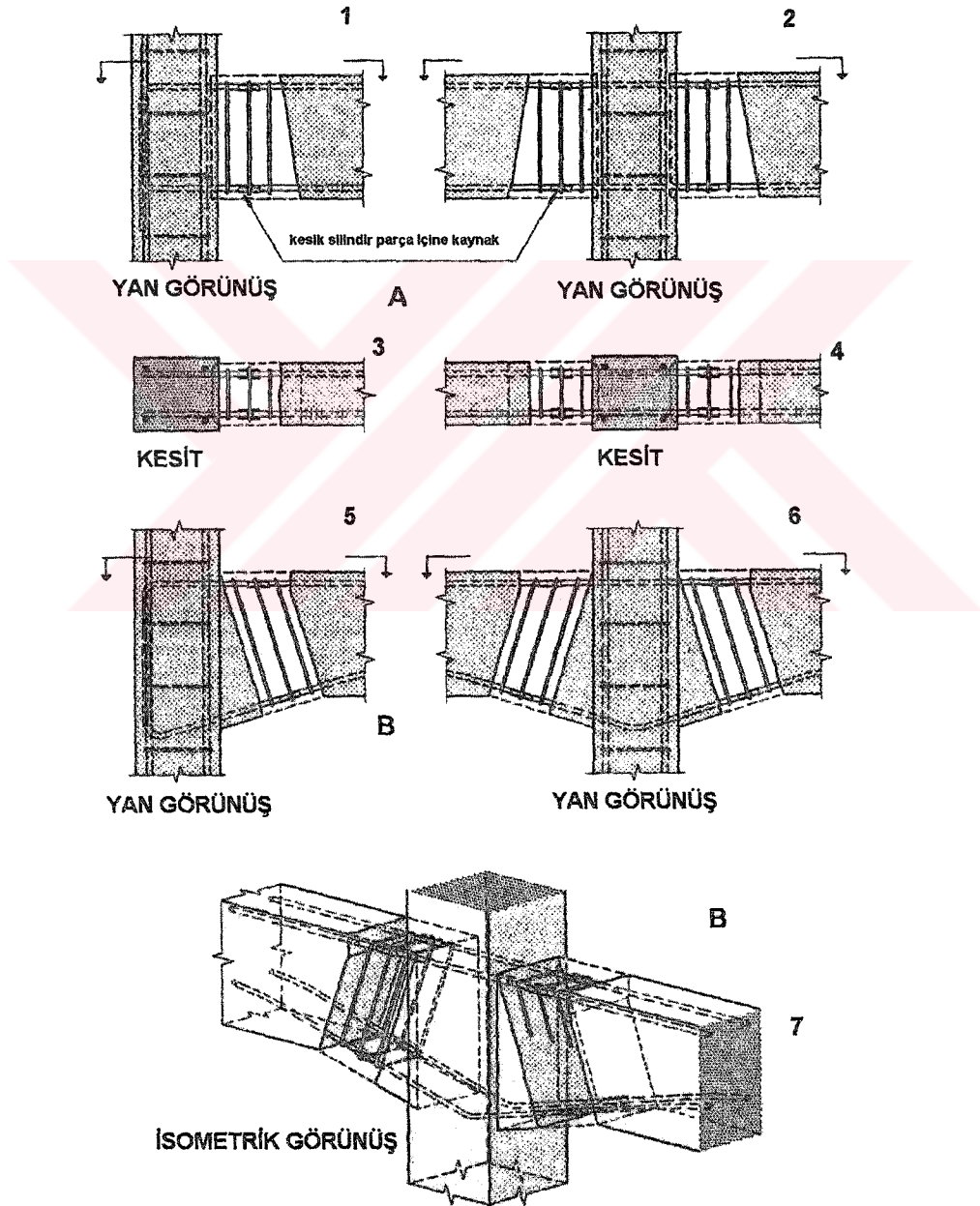
2.3.3.1 Yapısal Süreklilik Sağlanmasının Önemli Olduğu Birleşimler

Bu tip birleşimler özellikle eğilme momenti aktarmanın amaçlandığı birleşimlerdir. Pratikte birleşim yerlerinde yalnız eğilme momenti taşıyan kesitlerin nadir olması nedeniyle bu tip birleşimler, eğilme momenti ile birlikte birleşimlerde oluşan iç kuvvetlerinde aktarılmasını sağlamaktadır. Eğilme momenti aktaran bu tip birleşimlere rijit birleşimlerde denilmektedir.

Eğilme momenti aktaran birleşimler kuru ve ıslak birleşim şeklinde olabilmektedir. Ayrıca bu tip birleşimler, birleşimde kullanılan birleşim araçlarının çeşitliliğine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadırlar.

a) Donatının Süreklilik Sağlamada Ağırhklı Rol Oynadığı Birleşimler:

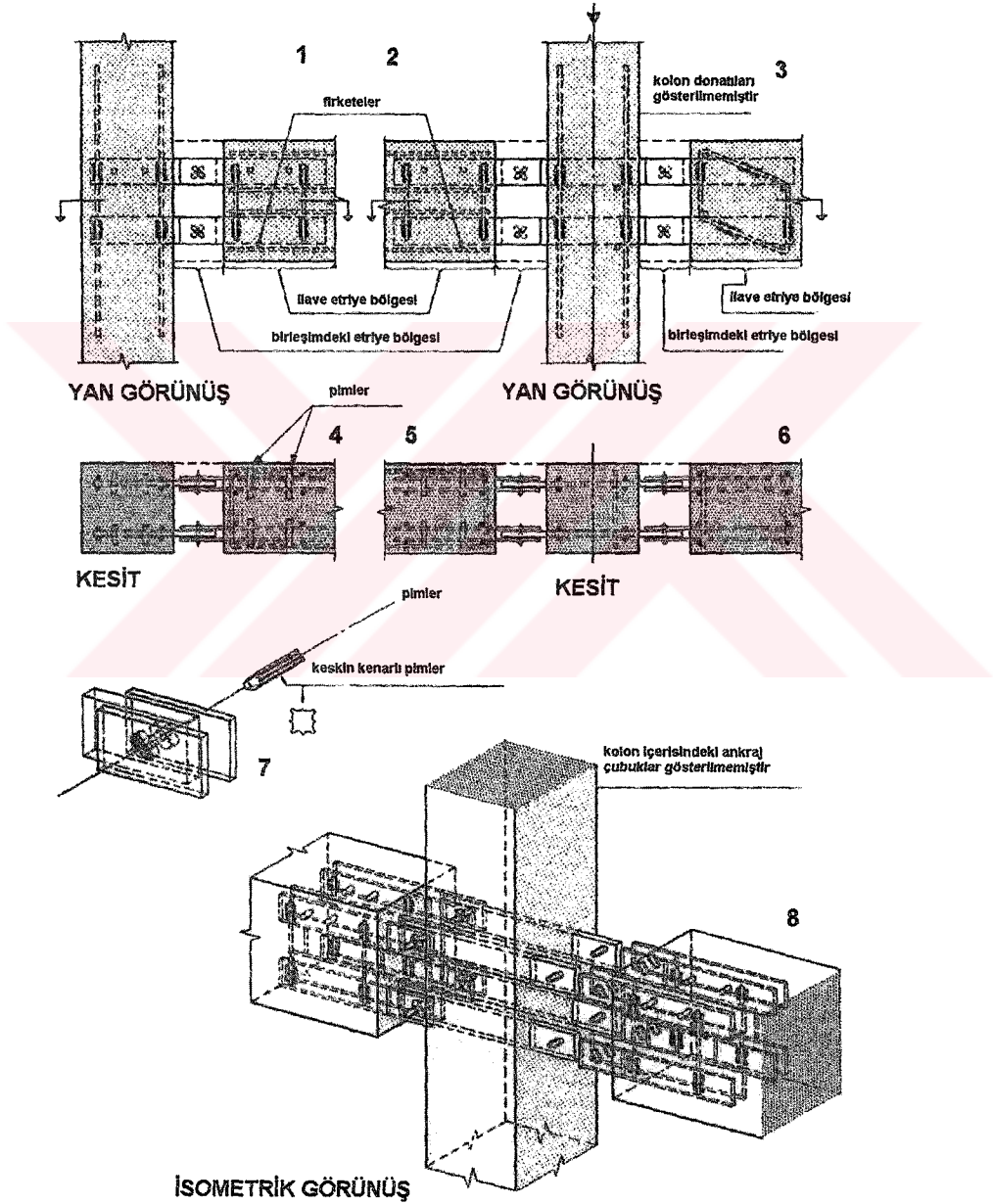
Bu tip birleşimlerde, prefabrike kirişin boyu açıklıktan daha kısadır ve kiriş uçlarından donatılar çıkmaktadır. Kolonlardan çıkan filizler kiriş uçlarından çıkan bu donatılara kaynaklandıktan sonra, birleşim bölgesinin yerinde dökme beton tekniği ile doldurulmasıyla gerçekleştirilen birleşim şeklidir [29].



Şekil 2.1 Kirişteki yerinde dökme betonla kolon-kiriş birleşimi

b) Süreklilik Sağlanmasında Perçin (pim vb.) Kullanılmış Birleşimler:

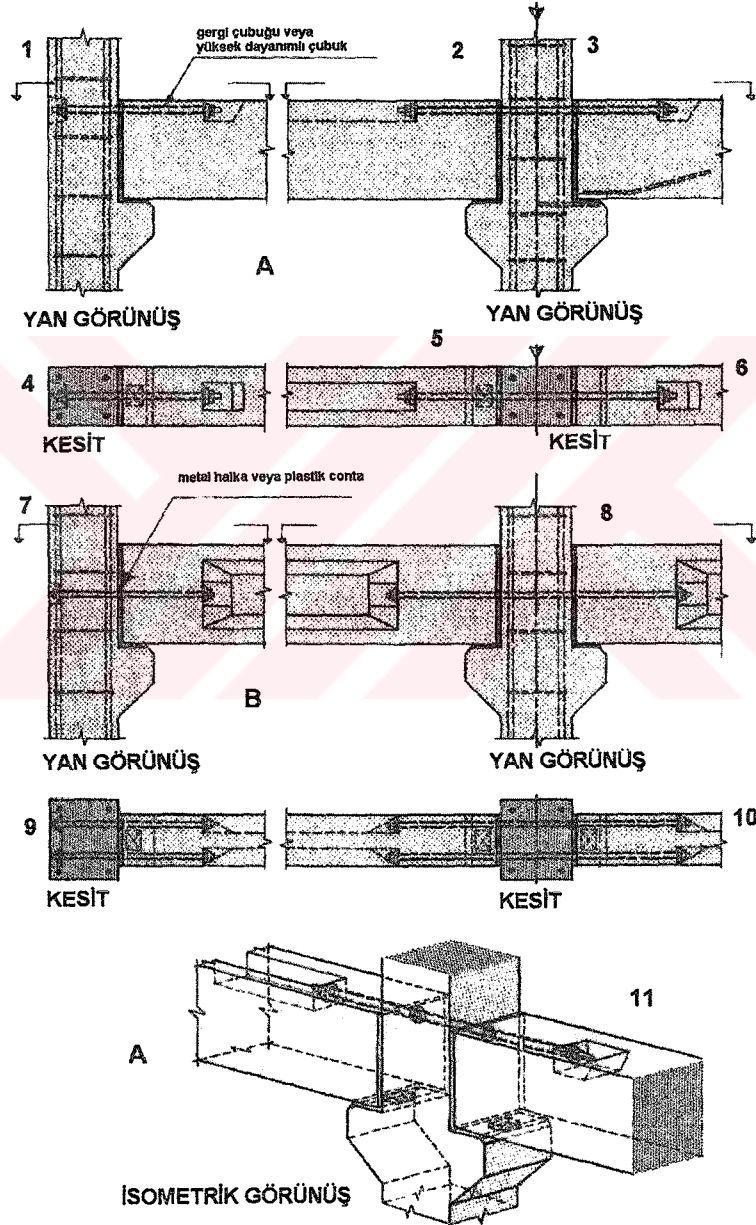
Bu tip birleşimlerde kiriş uçlarından çıkan dikey plaka çiftlerinin arasına kolondan çıkan dikey plakalar sokularak bu çelik plakalar perçinlerle birbirlerine bağlanır. Daha sonra birleşim bölgesinin yerinde dökme beton ile doldurulmasıyla birleşim gerçekleştirilir [29].



Şekil 2.2 Çelik plakaların perçinlerle bağlanması ile kolon-kiriş birleşimi

c) Süreklilik Sağlanmasında Bulon Kullanılmış Birleşimler:

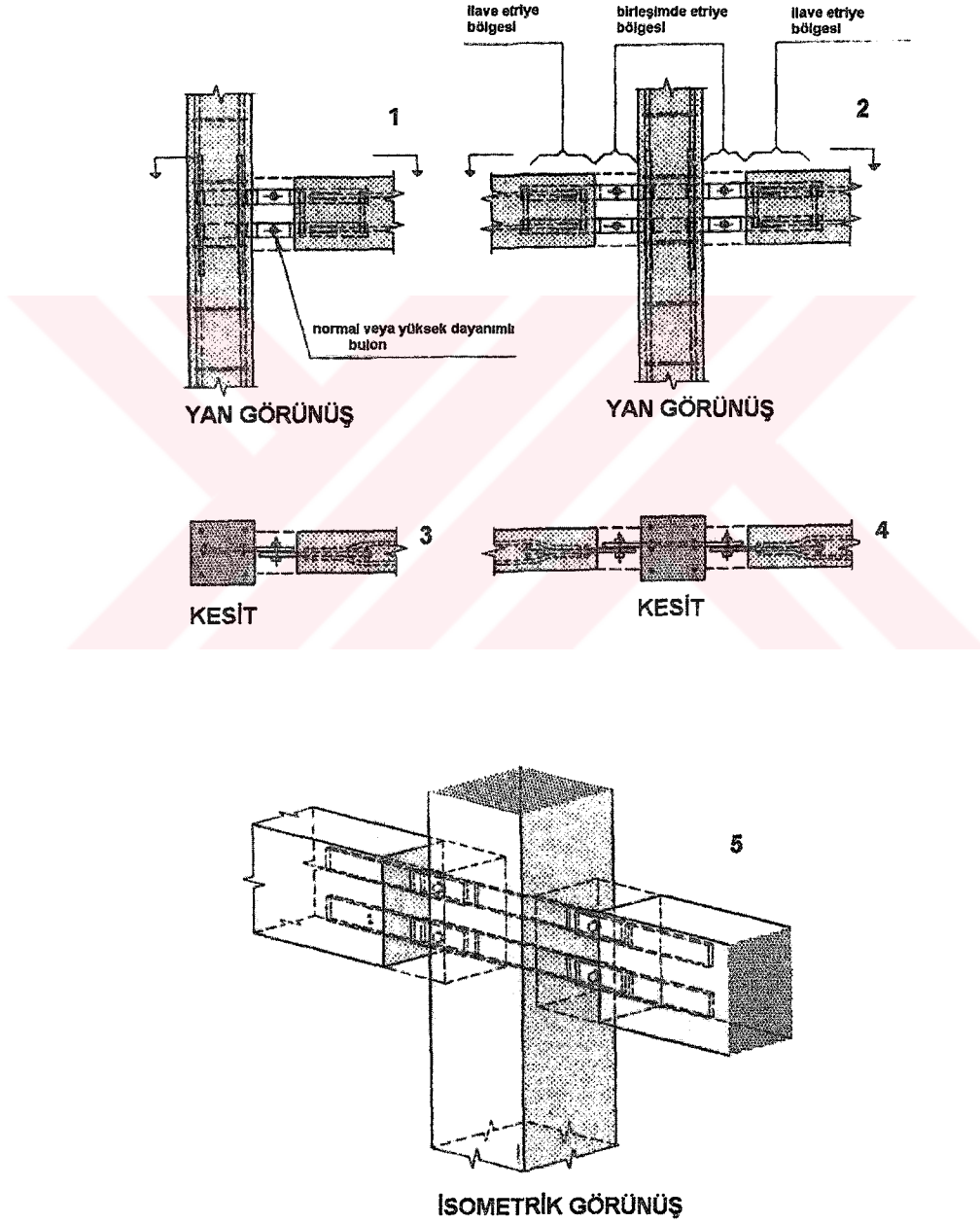
Bu tip birleşimlerde kirişler kolonlardaki beton konsollar üzerine oturtularak kolona veya kolonun içinden geçerek karşı kirişe ulaşan yüksek dayanımlı bulonlar veya gergi çubukları ile karşı kirişe bağlanarak birleşim teşkil edilir [29].



Şekil 2.3 Bulonlarla veya gergi çubukları ile kolon-kiriş birleşimi

d) Beton İçine Srekliplik Sağlayıcı eşitli Elemanların Ankre Edildiği Birleşimler:

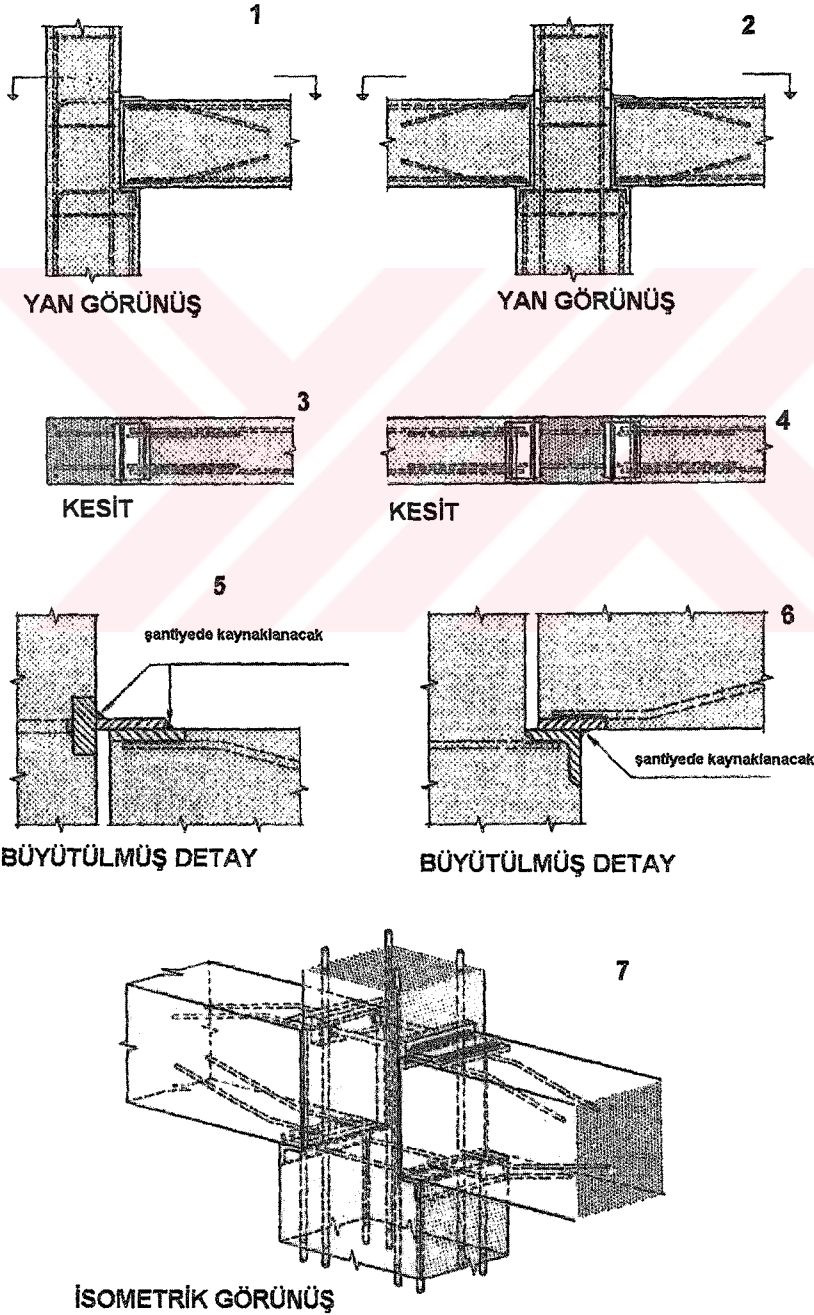
Bu tip birleşimlerde kiriş uçlarından ve kolonlardan uzatılan elik plakalar, profil parçaları vb. birbirleri ile bulonlanarak veya kaynaklanarak elemanlar arasında bağlantı sağlanır ve birleşim bölgesi yerinde dökme beton ile tamamlanır [29].



Şekil 2.4 elik plakaların bulonlanması ile kolon-kiriş birleşimi

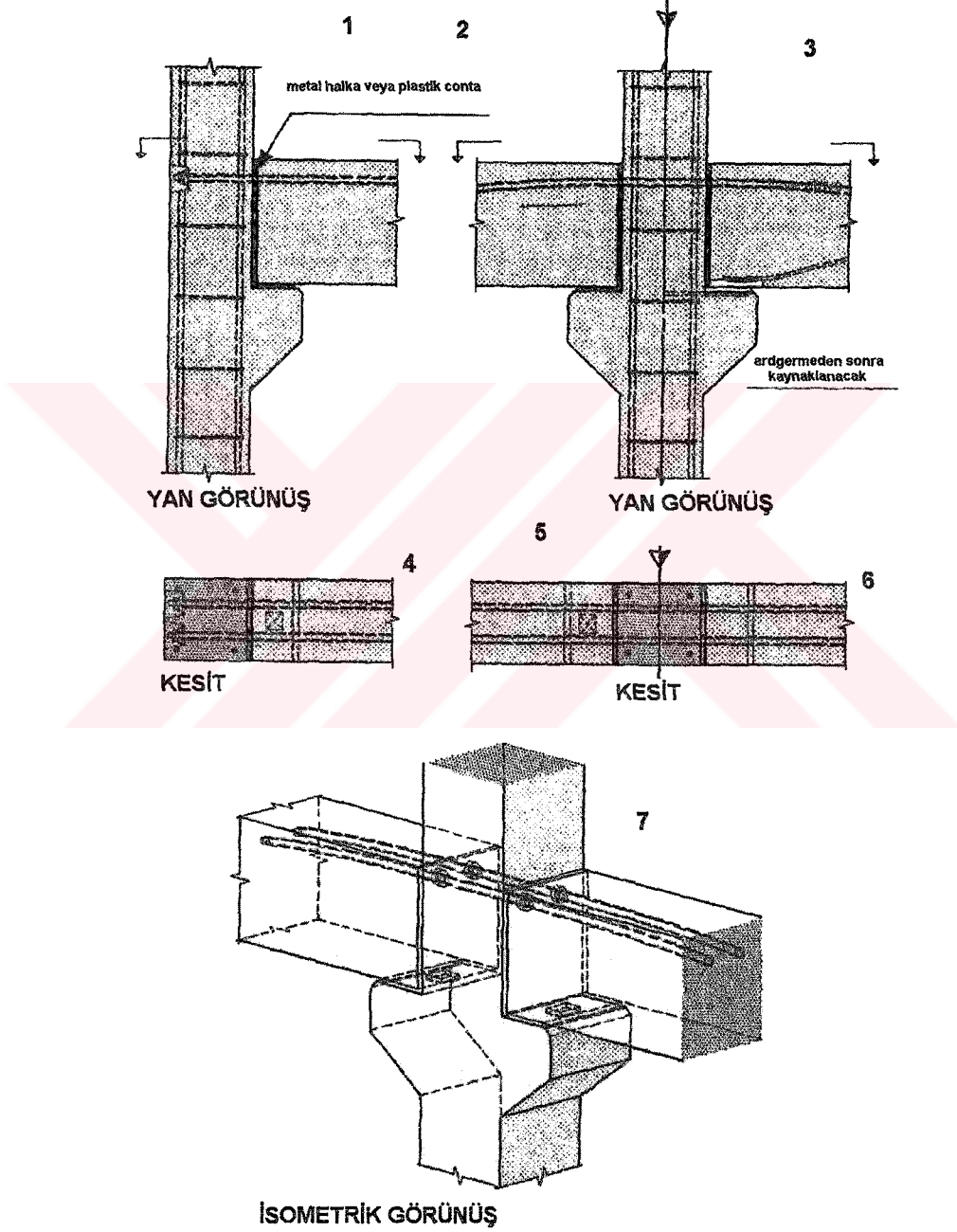
e) Plaka Elemanlarının Ağırlıklı İşleve Sahip Bulunduğu Birleşimler:

Bu tip birleşimlerde kiriş elastomerli plaka veya çelik plaka ile kaplanmış kolon yüzeylerine oturtularak, birleşimin sürekliliği kirişin alttan ve üstten kaynaklanarak kolona bağlanması ile teşkil edilir [29].

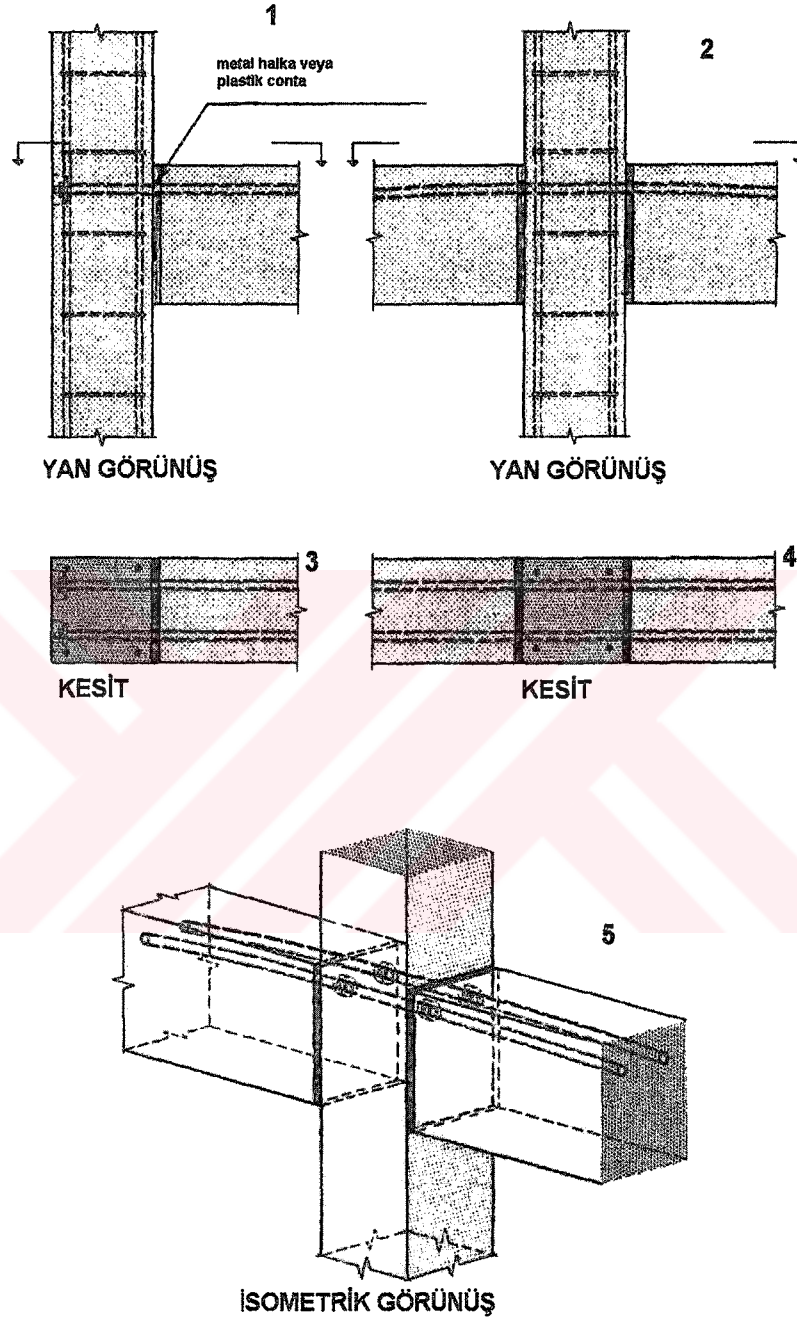


f) Öngörme Kablolarının Süreklilik Amaçlı Kullanıldığı Birleşimler:

Bu tip birleşimlerde, kirişler kolonlardaki beton konsollar üzerine oturtulduktan sonra veya kirişler kolona veya toronların kolon içerisinden geçerek karşısındaki kirişe ankrajlanmasından sonra ardgerme yöntemi ile birleştirilmesi ile teşkil edilen birleşim şeklidir [29].



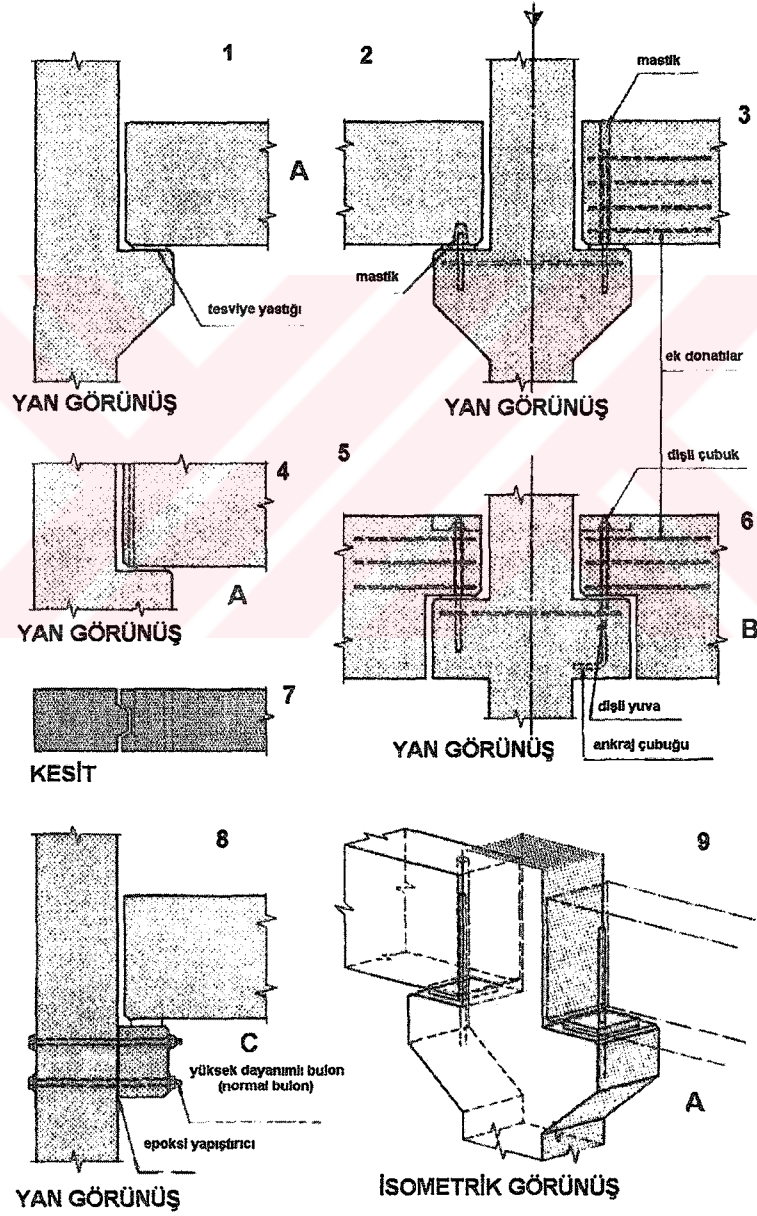
Şekil 2.6 Beton konsola mesnetlenen kirişlerde ardgermeli kolon-kiriş birleşimi



Şekil 2.7 Ardgermeli kolon-kiriş birleşimi

2.3.3.2 Sürekliliğin Az Önemsendiği Sadece Düşey Kesme Kuvveti Aktarmanın Amaçlandığı Birleşimler

Bu tip birleşimler moment aktarmadığı için bunlara mafsallı birleşimlerde denilmektedir. Bu birleşim türünün kesme kuvveti aktarma esasları, moment aktaran birleşimlerin bu iç kuvvetleri aktarış esaslarının aynısıdır.



Şekil 2.8 Sadece düşey kesme kuvveti aktaran kolon-kiriş birleşimi

Bu tip birleşimler daha çok tek veya az katlı orta önemde endüstriyel-ticari imalathane, depo vb. türü yapılarda kullanılır. Bu tip yapılarda kolonların iki-üç kat yükseklikte olacak şekilde yerde yapılıp dikilmesi ile düşey doğrultudaki süreklilik kendiliğinden sağlanmaktadır. Yatay elemanların düşey elemanlara bağlanması ise kolonlarda kat hizalarında bırakılmış konsollara bağlanmalarıyla sağlanmaktadır. Bu yolla kesme kuvveti aktarımı da sade biçimde sağlanmaktadır [29].

Prefabrike betonarme çerçeve yapılardaki birleşimler genel olarak rijit birleşimler veya mafsallı birleşimler olmak üzere iki grupta sınıflandırılmalarına rağmen, prefabrike yapılarda birleşim rijitliğinin tam anlamıyla sağlanamamasından dolayı rijit birleşimlerin yarı rijit veya elastik birleşim olarak göz önüne alınması daha uygundur. Prefabrike yapılarda karşılaşılan birleşimlerde çoğunlukla elastik birleşimlerdir.

2.3.4 Elastik Birleşimler

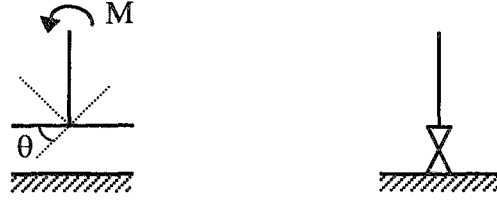
Hiperstatik sistemlerde ankastre birleşimlerin yanı sıra bazen elastik ankastre mesnetler ve elastik ankastre birleşimler mevcuttur [30].

2.3.4.1 Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Olan Mesnet ve Birleşimler

Dönmeye karşı elastik ankastre olan bir mesnette M eğilme momenti ile θ dönmesi arasındaki oran sabit, yatay ve düşey doğrultulardaki yer değiştirmeler ise sıfırdır. Pozitif olan ve R_θ ile gösterilen bu sabite mesnet redörü denilir. Ankastre mesnetlerde $R_\theta = \infty$, mafsallı mesnetlerde $R_\theta = 0$ dir.

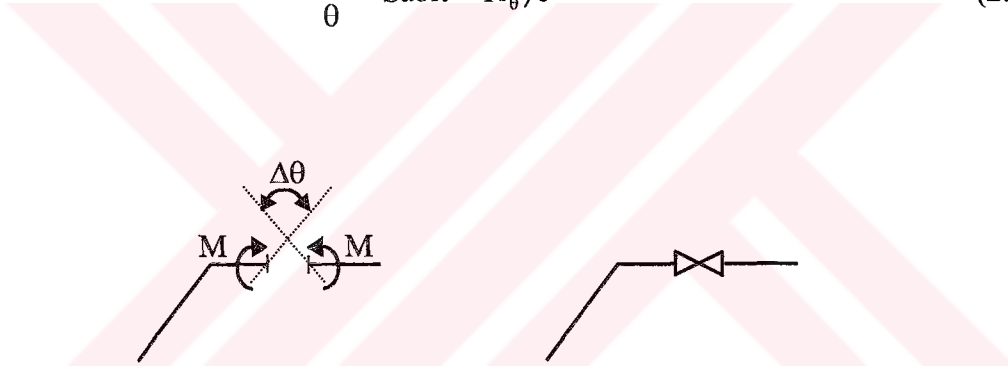
Düğüm noktalarında veya sistemin başka bir yerinde bulunan elastik bir birleşimde M eğilme momenti ile iki kenarın birbirine göre rölatif dönmesi arasındaki oran sabit, yatay ve düşey doğrultulardaki yer değiştirmeler ise sıfırdır.

Pozitif olan ve R_{θ} ile gösterilen bu sabite birleşim redörü denilir. Rijit birleşim halinde $R_{\theta} = \infty$, mafsallı birleşimde $R_{\theta} = 0$ dır



Şekil 2.9 Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet

$$\frac{M}{\theta} = \text{Sabit} = R_{\theta} > 0 \quad (2.1)$$

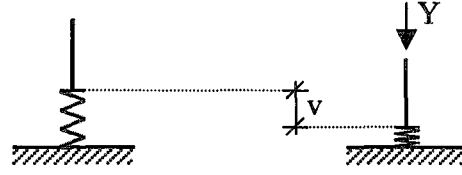


Şekil 2.10 Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Birleşim

$$\frac{M}{\Delta\theta} = \text{Sabit} = R_{\theta} > 0 \quad (2.2)$$

2.3.4.2 Çökmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnetler

Çökmeye karşı elastik ankastre olan bir mesnette düşey doğrultudaki Y reaksiyonu ile aynı doğrultudaki v yer değiştirmesi arasındaki oran sabittir. Pozitif olan ve R_v ile gösterilen bu sabite mesnet redörü denilir.



Şekil 2.11 Çökmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet

$$\frac{Y}{v} = \text{Sabit} = R_v > 0 \quad (2.3)$$

Prefabrike yapılarda karşılaşılan birleşimler çoğunlukla elastik birleşimlerdir. Prefabrike betonarme çerçevelerdeki birleşim noktalarının tam rijid kabul edilerek çözüm yapılma tekniği gerçeği yansıtmayan bir teknik olup, bu tip yapılarda mutlak surette düğüm noktalarındaki birleşimlere ait elastik dönme redörlerinin belirlenerek, yapının gerçek davranışının elde edilmesi için statik hesaplarda göz önüne alınmasında fayda görülmektedir. Ayrıca prefabrike betonarme çerçeve yapıların göçme yükleri belirlenirken de birleşim noktalarındaki elastik dönme redörlerinin bilinmesine ihtiyaç vardır.

2.4 Prefabrike Betonarme Kesitlerin Kesit Taşıma momentleri

Bu bölümde öngerilmeli prefabrike betonarme kesitlerin açıklık ve mesnet bölgelerindeki kesit taşıma momentleri üzerinde durulacaktır.

2.4.1 Öngerilmeli Prefabrike Betonarme Kesitlerin Taşıma Momentlerinin Hesabı

Öngerilmeli kesitlerin kesit taşıma momentleri betonarme elemanlar için uygulanan denklemlerin kullanılması ile hesaplanabilir [31]. Bu kesitlerin kesit

taşıma momentlerinin hesabında taşıma gücü yönteminin kabulleri geçerlidir [32]. Bu kabuller kısaca maddeler halinde aşağıda verilmektedir.

a) Birim deformasyon dağılımı kesit derinliği boyunca doğrusaldır.

b) Maksimum beton birim kısalması $\epsilon_{cu} = 0.003$ kadardır.

c) Betonun çekme dayanımı yoktur.

d) Kesit taşıma gücüne ulaştığında betondaki gerilmeler, birim deformasyonlarla orantılı değildir. Beton basınç bölgesindeki gerilme dağılımı deneylerle saptanan beton basınç bileşkesinin büyüklüğü ve etkiye düzeyini doğru olarak veren herhangi bir eğri ile ifade edilebilir. Ancak gerçekçi sonuçlar veren çeşitli gerilme dağılımlarından biri olan dikdörtgen dağılımın, büyük hesap kolaylığı sağlaması nedeni ile seçilmesi uygundur.

Öngerilmeli bir kirişin dizayn kesit taşıma momenti yaklaşık olarak betonarme kirişlerinin ki gibi hesaplanır. Şayet öngerilmeli bir kiriş yetersiz donatılı (denge altı) ise kesitteki moment, donatıyı gerilme-şekil değiştirme eğrisinin elastik olmayan bölgesindeki akma gerilmesinin üstüne zorladığı zaman göçme başlar. Donatı akma noktasının üzerinde gerilirken, yükteki ilave artışlar tarafsız eksenin basınç yüzeyine doğru kaymasına sebep olur. Tarafsız eksenin yerinin değişmesi ile donatının birim şekil değiştirmesi hızlı bir şekilde artar ve kirişte büyük deplasmanlar meydana gelir. Betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.003 değerine ulaştığı zaman nihai göçme meydana gelir. Göçme anında çelik donatının f_{ps} maksimum gerilmesinin, göçme anında çeliğin birim şekil değiştirmesinin hesaplanmasıyla ve malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrisinden çelik gerilmelerine karşılık gelen değerlerin okunmasıyla veya birtakım deneysel çalışmalara dayanan ampirik denklemler yardımı ile belirlenmesi gerekmektedir.

Şayet bütün kayıplardan sonraki öngerilme donatısındaki etkili gerilme değerinin (f_{se}), öngerilme donatısının karakteristik çekme dayanımının (f_{pu}) yarısından daha büyük olan kablolar için ($f_{se} \geq 0.50f_{pu}$), ACI Code göçme anında öngerilme donatısındaki maksimum çekme gerilmesinin (f_{ps}) ampirik denklemler yardımı ile hesaplanmasına müsaade etmektedir [31]. Öngerilmeli bir kirişin göçme

anında, öngerilme donatısındaki maksimum çekme gerilmesinin hesabı için kullanılan ampirik denklemler aşağıda maddeler halinde verilecektir.

1) Öngerilme işleminden sonra öngerme kablosu ile kanal arasındaki boşluğun doldurulduğu kesitlerde (Aderanslı bir kablo kullanılması halinde);

$$f_{ps} = f_{pu} \left\{ 1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \right\} \quad (2.4)$$

Denklemdaki;

γ_p : Kullanılan öngerme çeliğinin cinsine bağlı bir katsayıdır.

γ_p değerleri, öngerilme donatısının akma gerilmesi f_{py} ile karakteristik çekme gerilmesi f_{pu} arasındaki oranlara bağlı olarak aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$0.80 < \frac{f_{py}}{f_{pu}} \leq 0.85 \quad \Rightarrow \quad \gamma_p = 0.55$$

$$0.85 < \frac{f_{py}}{f_{pu}} \leq 0.90 \quad \Rightarrow \quad \gamma_p = 0.40$$

$$0.90 < \frac{f_{py}}{f_{pu}} \quad \Rightarrow \quad \gamma_p = 0.28$$

β_1 : Basınç yüzeyinden itibaren tarafsız eksen derinliği ile gerilme blok derinliği arasındaki ilişkiyle orantılı bir sabittir. Bu sabitin değeri $0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$ oranları arasında değişmektedir.

ρ_p : Öngerilmeli donatı oranı

$$\rho_p = \frac{A_{ps}}{bd_p}$$

A_{ps} : Öngerilmeli donatı alanı

b : Kesit genişliği

d_p : Öngerilme donatısının ağırlık merkezi ile en dış basınç lifi arasındaki mesafe

f_{pu} : Öngerilme donatısının karakteristik çekme dayanımı

f_c' : Betonun karakteristik basınç dayanımı

d : Öngerme uygulanmamış çekme donatısının ağırlık merkezi ile en dış basınç lifi arasındaki mesafe

$$w = \rho \frac{f_y}{f_c}$$

\Rightarrow

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

Öngerilmemiş çekme donatısı oranı

A_s : Öngerme uygulanmamış çekme donatısı alanı

f_y : Öngerme uygulanmamış çekme donatısının karakteristik akma dayanımı

$$w' = \rho' \frac{f_y}{f_c}$$

\Rightarrow

$$\rho' = \frac{A_s'}{bd}$$

Basınç donatısı oranı

A_s' : Basınç donatısı alanı

Denklem (2.4) ile f_{ps} değeri hesaplanırken şayet hesaplarda herhangi bir basınç donatısı gözönüne alınacaksa,

$$\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} (w - w') \right] \geq 0.17 \quad (2.5)$$

$$d' \leq 0.15d_p \quad (2.6)$$

şartlarının sağlanması gerekmektedir. Denklemlerdeki,

d' :Basınç donatısının ağırlık merkezi ile en dış basınç lifi arasındaki mesafedir

Denklem (2.4) ile f_{ps} değeri hesaplanırken şayet basınç donatısı ihmal edilecekse w' değeri sıfır alınır ve $\left[\rho_p \frac{f_{pu}}{f_c} + \frac{d}{d_p} w \right]$ terimi 0.17 den daha küçük olabilir.

2) Açıklık / derinlik oranı ≤ 35 ve öngerme kablosu ile kanal arasındaki boşluğun doldurulmadığı kesitlerde;

$$f_{ps} = f_{se} + 10000 + \frac{f_c'}{100\rho_p} \quad (2.7)$$

(2.7) denklemi ile hesaplanacak f_{ps} değerinin, $f_{ps} < f_{py}$ ile $f_{ps} < (f_{se} + 60000)$ şartlarını sağlaması gerekmektedir. İfadelerdeki f_{py} değeri öngerilme kablosunun karakteristik akma dayanımıdır.

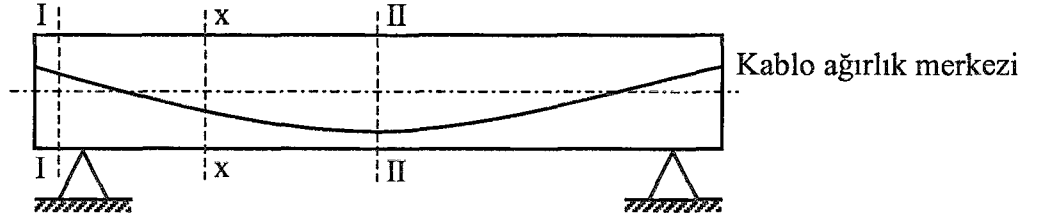
3.) Açıklık / derinlik oranı > 35 ve öngerme kablosu ile kanal arasındaki boşluğun doldurulmadığı kesitlerde;

$$f_{ps} = f_{se} + 10000 + \frac{f_c'}{300\rho_p} \quad (2.8)$$

olarak alınabilir.

(2.8) denklemi ile hesaplanacak f_{ps} değerinin, $f_{ps} < f_{py}$ ile $f_{ps} < (f_{se} + 30000)$ şartlarını sağlaması gerekmektedir.

Öngerilmeli prefabrike kesitlerin kesit taşıma momentlerinin hesabına girmeden önce, öngerilmeli kesitlerdeki öngerilme kablosunun kesit taşıma momentine etkisi üzerinde durulacaktır. Bu maksatla, eğri kablolu , basit açıklıklı öngerilmeli prefabrike bir kiriş göz önüne alınmaktadır.

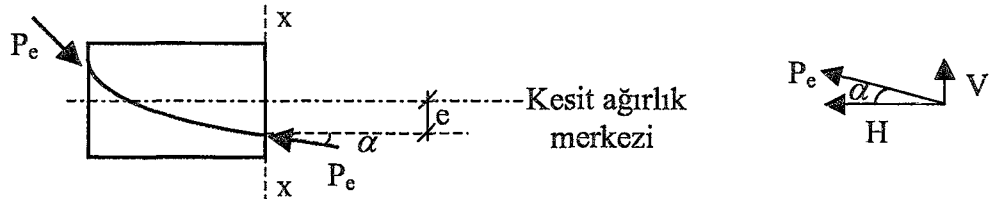


Şekil 2.12 Öngerilmeli prefabrike kiriş

Şekil 2.12 de gösterilen öngerilmeli prefabrike kiriş x-x ekseni ile kesilerek, kirişin sol tarafı göz önüne alınarak, serbest cisim diyagramı çizilirse; Şekil 2.13’de görüldüğü gibi, kirişe uygulanan öngerilme kuvveti P_e ’nin yatay ve düşey doğrultuda iki bileşene ayrılarak göz önüne alınması uygun olacaktır.

$$\text{Yatay bileşen} \quad H = P_e \cos \alpha \quad (2.9)$$

$$\text{Düşey bileşen} \quad V = P_e \sin \alpha \quad (2.10)$$

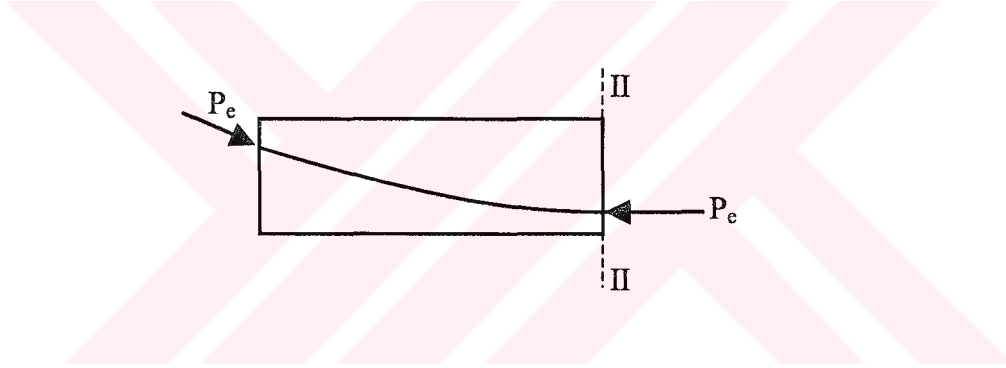


Şekil 2.13 x-x ekseni ile kesilen öngerilmeli prefabrike kirişin serbest cisim diyagramı

(2.9) ve (2.10) ifadelerindeki α açısı, göz önüne alınan kesitte, kablo ağırlık merkezinin eğilme açısıdır. Öngerilmeli prefabrike kirişlerdeki kesit taşıma momentinin, kirişteki öngerilme kablosunun eğriliğine bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir. Bu nedenle öngerilmeli prefabrike bir kesitin kesit taşıma momenti ifadesi belirlenirken, açıklıkta ve mesnette olmak üzere ayrı ayrı hesap yapılması uygun olacaktır.

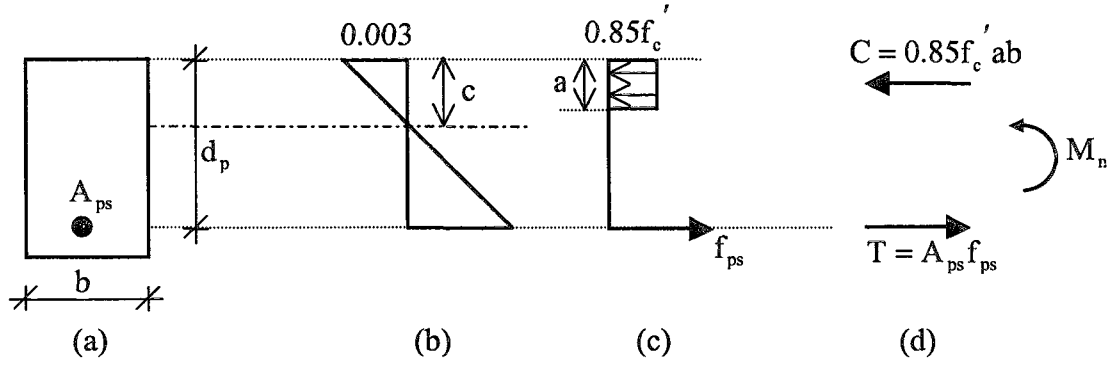
2.4.1.1 Öngerilmeli Prefabrike Betonarme Kesitlerde Açıklıktaki Kesit Taşıma Momenti

Şekil 2.12 de verilen öngerilmeli prefabrike kirişin açıklıktaki (II-II) kesitini göz önüne alalım.



Şekil 2.14 II-II eksenine kesilen öngerilmeli prefabrike kirişin serbest cisim diyagramı

Öngerilmeli bir kirişin maksimum eğilme momenti ifadesi, betonarme elemanlar için kullanılan benzer denklemlerin kullanılması ile hesaplanabilir. Dikdörtgen kesitler de ve gerilme bloğunun derinliği ortalama başlık kalınlığından daha küçük veya eşit olan I ve T kesitlerde, kesit taşıma momenti ifadesi şekilde verilen iç kuvvetlerin momentleri göz önüne alınarak yazılabilir.



Şekil 2.15 Öngerilmeli dikdörtgen bir kiriş kesitinde gerilme-şekil değıştirme dağılımı (a) Kiriş Kesiti, (b) Birim Şekil Değıştirmeler, (c) Kabul edilen gerilme dağılımı, (d) İç kuvvet çifti.

$$M_n = C \left(d_p - \frac{a}{2} \right) = 0.85f'_c ab \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (2.11)$$

veya

$$M_n = T \left(d_p - \frac{a}{2} \right) = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (2.12)$$

Çekme ve basınç kuvvetlerinin birbirine eşitliği ($C = T$) yardımıyla a gerilme bloğu derinliği hesaplanabilir.

$$C = T \Rightarrow 0.85f'_c ab = A_{ps} f_{ps} \quad (2.13)$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps}}{0.85f'_c b} \quad (2.14)$$

Bu durumda kesit taşıma momenti,

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (2.15)$$

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{1}{2} \frac{A_{ps} f_{ps}}{0.85 f_c' b} \right) \quad (2.16)$$

$$\phi M_n = \phi A_{ps} f_{ps} \left(d_p - \frac{1}{2} \frac{A_{ps} f_{ps}}{0.85 f_c' b} \right) \quad (2.17)$$

olur. En genel durumda, göçmeye karşı yeterli bir güvenlik faktörünü sağlamak için dizayn kesit taşıma momenti ϕM_n olarak göz önüne alınır. Denklemdaki ϕ Dayanım azaltma faktörü olup sayısal değeri $\phi=0.90$ dır.

Gerilme bloğunun derinliği başlık kalınlığından daha büyük olduğu I ve T kesitler ile diğer kesitler için dizayn kesit taşıma momentleri, birtakım kabullere ve öngerilme kablosunun gerilme-birim şekil değiştirme uygunluğuna dayanan genel analiz yardımı ile hesaplanabilir. Gerilme bloğunun derinliği başlık kalınlığından daha büyük olduğu I ve T kesitlerde dizayn kesit taşıma momenti hesaplanırken, toplam öngerilmeli çekme çubuğunun alanı iki parçaya bölünür [33]. İlk parça;

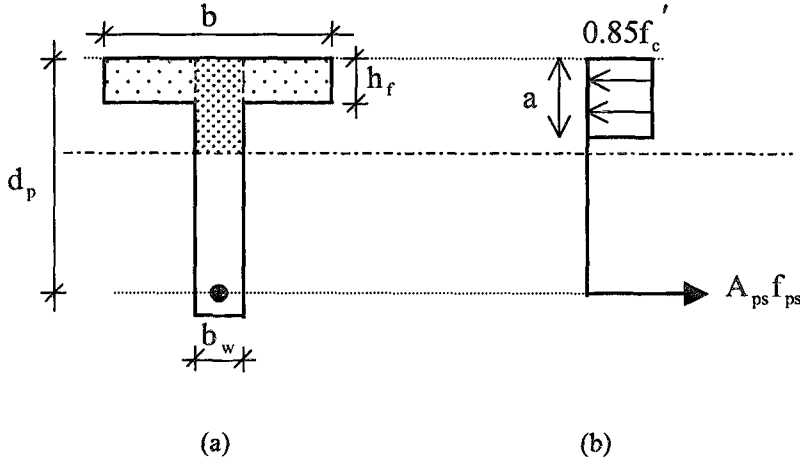
$$A_{pf} = 0.85 \frac{f_c'}{f_{ps}} (b - b_w) h_f \quad (2.18)$$

Geri kalan öngerilmeli çelik alanı;

$$A_{pw} = A_{ps} - A_{pf} \quad (2.19)$$

dır. Bu durumda toplam kesit taşıma momenti;

$$M_n = A_{pw} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + A_{pf} f_{ps} \left(d_p - \frac{h_f}{2} \right) \quad (2.20)$$



Şekil 2.16 Öngerilmeli tablalı bir kiriş kesitinde gerilme dağılımı, (a) Kiriş kesiti, (b) İç kuvvetler

$$M_n = A_{pw} f_{ps} \left(d_p - \frac{a}{2} \right) + 0.85 f'_c (b - b_w) h_f \left(d_p - \frac{h_f}{2} \right) \quad (2.21)$$

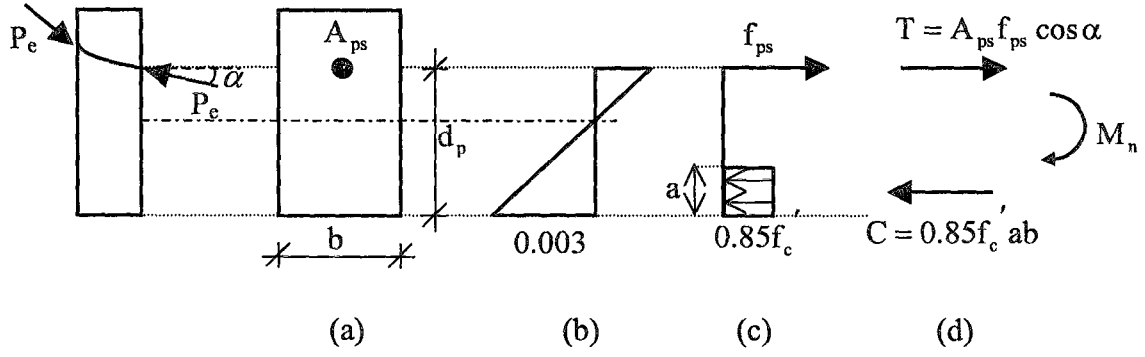
ve gerilme bloğunun derinliği ise ;

$$a = \frac{A_{pw} f_{ps}}{0.85 f'_c b_w} \quad (2.22)$$

olarak alınır. Aynı şekilde kesitin dizayn kesit taşıma momenti ϕM_n olarak göz önüne alınır.

2.4.1.2 Öngerilmeli Prefabriğe Betonarme Kesitlerde Mesnetteki Kesit Taşıma Momenti

Şekil 2.12 de verilen öngerilmeli prefabriğe kirişin mesnetteki (I-I) kesitini göz önüne alarak, kirişin serbest cisim diyagramını ve kesitteki gerilme dağılımını inceleyelim.



Şekil 2.17 Öngerilmeli dikdörtgen bir kirişin mesnedinde gerilme-şekil değiştirme dağılımı (a) Kiriş Kesiti, (b) Birim Şekil Değiştirmeler, (c) Kabul edilen gerilme dağılımı, (d) İç kuvvet çifti.

$$M_n = C \left(d_p - \frac{a}{2} \right) = 0.85f_c' ab \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (2.23)$$

veya

$$M_n = T \left(d_p - \frac{a}{2} \right) = A_{ps} f_{ps} \cos \alpha \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (2.24)$$

Çekme ve basınç kuvvetlerinin birbirine eşitliği ($C = T$) yardımıyla a gerilme bloğu derinliği hesaplanabilir.

$$C = T \Rightarrow 0.85f_c' ab = A_{ps} f_{ps} \cos \alpha \quad (2.25)$$

$$a = \frac{A_{ps} f_{ps} \cos \alpha}{0.85f_c' b} \quad (2.26)$$

Bu durumda kesit taşıma momenti,

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \cos \alpha \left(d_p - \frac{a}{2} \right) \quad (2.27)$$

$$M_n = A_{ps} f_{ps} \cos \alpha \left(d_p - \frac{1}{2} \frac{A_{ps} f_{ps} \cos \alpha}{0.85 f_c' b} \right) \quad (2.28)$$

$$\phi M_n = \phi A_{ps} f_{ps} \cos \alpha \left(d_p - \frac{1}{2} \frac{A_{ps} f_{ps} \cos \alpha}{0.85 f_c' b} \right) \quad (2.29)$$

olur. En genel durumda, göçmeye karşı yeterli bir güvenlik faktörünü sağlamak için mesnetteki dizayn kesit taşıma momenti ϕM_n olarak göz önüne alınır. Denklemdaki ϕ Dayanım azaltma faktörü olup sayısal değeri $\phi = 0.90$ dır.

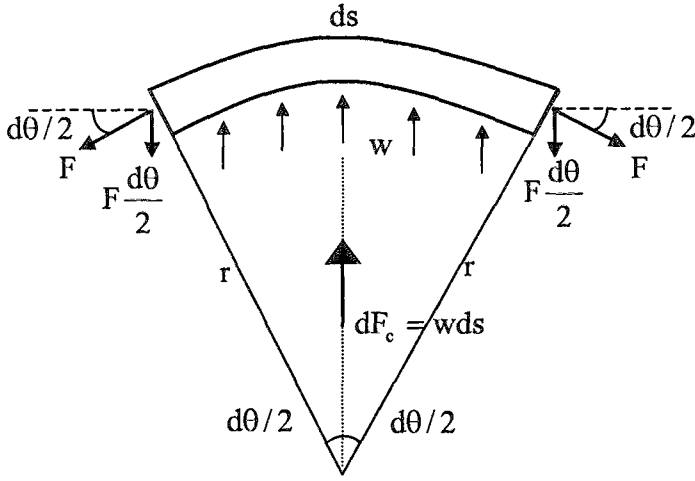
Öngerilmeli prefabrike kesitlerde açıklıktaki ve mesnetlerdeki taşıma momentlerinin hesabında, mesnetteki taşıma momentinin öngerilme kablusunun ağırlık merkezinin yatayla yaptığı açının cosinüs ($\cos \alpha$) değerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir.

Bu durumda bundan sonraki bölümlerde öngerilmeli prefabrike kesitlerde mesnet taşıma momenti ifadesindeki ($\cos \alpha$) değerinin belirlenmesine çalışılacaktır. ($\cos \alpha$)'nın belirlenebilmesi için eğri kablolar ve eğri kablolu öngerilmeli prefabrike kirişler üzerinde çalışmalar yapılacaktır.

2.4.1.2.1 Eğri Kablolar

Eğri bir kablo yardımı ile betona yanal bir kuvvet uygulandığında, r eğrilik yarıçaplı ve ds uzunluğundaki küçük bir kablo parçası göz önüne alınarak denklemler kurulabilir [34]. Şekil 2.18 de ds uzunluğunda ve r yarıçapında bir kablo parçası gösterilmektedir. Şekildeki kablo parçasının her bir ucundan çizilen yarıçaplar arasındaki $d\theta$ açısı düşey bir eksen ile iki eşit parçaya bölünmüştür.

Kablo tarafından betona uygulanan ve birim uzunluğa etki eden yük w ile gösterilmektedir.



Şekil 2.18 Eğri bir kabloda oluşan kuvvetler

Kablo tarafından betona uygulanan w yükü, kabloya etki eden düşey yöndeki kuvvetlerin dengesinden belirlenir.

$$w ds = F \frac{d\theta}{2} \quad (2.30)$$

$$w = F \frac{d\theta}{ds} \quad (2.31)$$

(2.31) denklemindeki $\frac{d\theta}{ds}$ ifadesi kablo parçasının eğriliğini ifade etmektedir. Şekil

2.4 deki kablonun geometrisinden $r d\theta = ds$ ve $\frac{d\theta}{ds} = \frac{1}{r}$ olduğu görülür. Eğriliği

ifade eden $\frac{1}{r}$ değeri denklem (2.31) de yerine yazılırsa,

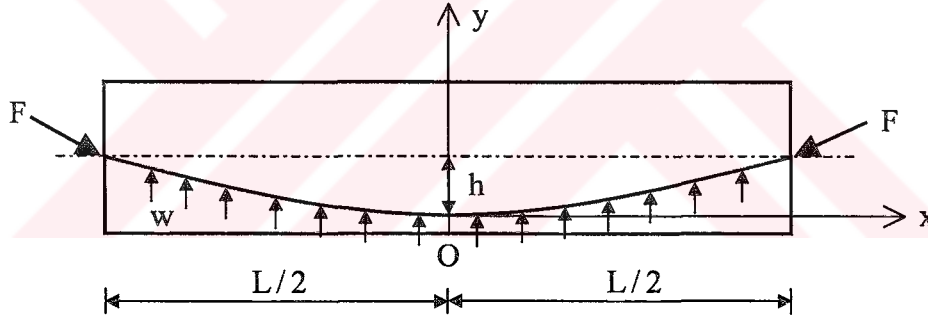
$$w = \frac{F}{r} \quad (2.32)$$

olur. Kartezyen koordinatlarda küçük eğimli eğrilerde $\frac{d\theta}{ds} = \frac{d^2y}{dx^2}$ ile ifade edildiğinden,

$$w = F \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2.33)$$

olarak yazılabilir. (2.33) nolu denklem kirişe üniform yayılı yük uygulayan parabolik kablolar için geçerli olan ve birim uzunluğa etki eden yük ifadesidir.

Şekil 2.19 de parabolik öngerilme kablolu bir kiriş verilmektedir. Şekildeki kablo, uzunluğu boyunca sabit bir F kuvvetini taşıyan ve her iki kiriş ucunda tarafsız ekseni kesen simetrik bir kablodur. Düşey eksen, kirişin açıklık ortasında ve orjin, kablo ağırlık merkezi eğrisinin orta noktasında bulunan öngerilme kablosunun kartezyen koordinat sistemindeki parabolik denklemi,



Şekil 2.19 Parabolik öngerilme kablolu kiriş

$$y = kx^2 \quad (2.34)$$

ifadesi ile verilir [34]. (2.34) denklemindeki k terimi kablonun geometrisinden belirlenecektir. Şekil 2.19'den görüldüğü gibi $x = L/2$ de $y = h$ olmaktadır. Bu durumda (2.34) denklemindeki k terimi,

$$k = \frac{4h}{L^2} \quad (2.35)$$

olarak bulunur. Bu şartlarda öngerilme eğrisinin parabol denklemi,

$$y = \frac{4h}{L^2} x^2 \quad (2.36)$$

denklemi ile ifade edilir. Eğri denkleminin ikinci türevi alınarak (2.34) nolu denklemde yerine yazılırsa, kablo tarafından betona uygulanan w yükünün ifadesi aşağıdaki şekilde belirlenmiş olur.

$$w = F \frac{d^2y}{dx^2} = F \frac{8h}{L^2} \quad (2.37)$$

Öngerilme kablosunun eğri ifadesi (2.36) denklemi ile ifade edildiğine göre, artık öngerilmeli prefabrike kesitlerin mesnet taşıma momenti ifadesindeki $\cos \alpha$ ifadesinin değeri belirlenebilir. Eğri denkleminin birinci türevi o noktadaki teğetinin eğimine eşit olduğu için, mesnetteki kablonun eğimi,

$$y' = \frac{dy}{dx} = \tan \alpha = \frac{8h}{L^2} x \quad (2.38)$$

$$x = L/2 \Rightarrow \tan \alpha = \frac{8h L}{L^2 2} = \frac{4h}{L} \quad (2.39)$$

olarak elde edilir. Mesnette öngerilme kablo eğrisinin ağırlık merkezinin yatayla yaptığı açının cosinüs'ü ise;

$$\cos \alpha = \frac{L}{(16h^2 + L^2)^{1/2}} \quad (2.40)$$

olarak elde edilir. Elde edilen bu ifade denklem (2.29) da yerine yazılarak, öngerilmeli prefabrike bir kirişte mesnetteki kesit taşıma momentinin gerçek değeri

hesaplanmış olur. Öngerilmeli prefabrike bir kiriş elemanında, mesnette öngerilme kablo eğrisinin ağırlık merkezinin yatayla yaptığı açının, mesnet taşıma momentine etkisini göstermek amacıyla böyle bir çalışmanın yapılmasına gerek duyulmuştur.



3. YAPILARIN GÖÇMESİ VE GÖÇME YÜKÜ HESABI

3.1 Yapının Göçmesinin Tanımı

Yapının göçmesi, göçüp yerle bir olması anlamında değildir. Göçme herhangi bir yapının hiperstatiklik derecesi kadar mafsalla donatıldıktan sonra sonsuz küçük bir deplasman ile ilave bir mafsalin oluşması sonucunda yapının labil duruma geçmesi demektir. Göçme denildiğinde, yapının hangi yük altında taşıma gücünü yitireceği anlaşılmalıdır. Şayet bu yük veya yük çarpanı belirlenebiliyorsa yapının göçmeye karşı güvenliği de belirlenmiş olur.

3.2 Göçme Mekanizmaları

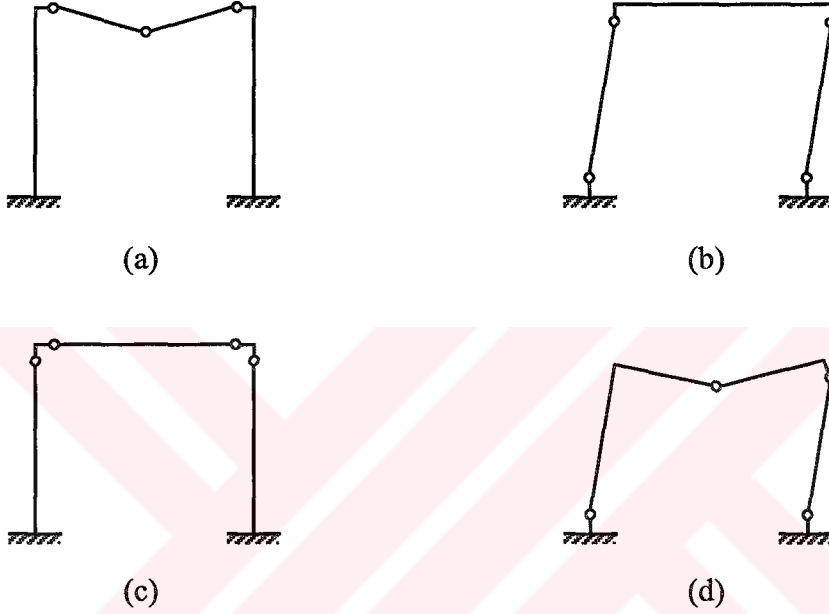
Yapının yük etkisi altında mekanizma durumuna girmesi göçme hali olarak kabul edilmektedir. Ancak yapı tam bir göçme mekanizmasına ulaşmadan da mekanizma durumuna girebilmektedir. Bu tür mekanizma durumlarına yalnız mekanizma denilmektedir. Başlıca yalnız mekanizmalar aşağıda maddeler halinde verilmektedir [35,36,37].

a) Kiriş Mekanizması: Yapının bir veya birkaç kirişinin, gerektiği kadar akma mafsalı oluşması ile taşıma kapasitesini yitirmesidir. (Şekil 3.1.a)

b) Kolon Mekanizması: Yapının kolonlarında yeteri kadar akma mafsalı oluşması ile katın veya katların taşıma kapasitesini yitirmesidir. (Şekil 3.1.b)

c) Mafsal Mekanizması: Yapının herhangi bir kolon-kiriş birleşiminde oluşabilen ve genel halde bir düğüm noktasında birleşen bütün elemanların, birleşen uçlarında mafsal oluşması ile birleşimin taşıma kapasitesini yitirmesi durumudur. (Şekil 3.1.c)

Kiriş mekanizması, kolon mekanizması ve mafsalsal mekanizması gibi yalın mekanizmaların süperpozisyonu ile meydana gelen mekanizma durumuna da Birleşik Mekanizma adı verilir. (Şekil 3.1.d) Yalın ve birleşik mekanizmaların her biri ayrı bir yük ile meydana gelir. Göçme yükünün hesaplanmasında aranan mekanizma durumu ise en küçük yük ile oluşan mekanizma durumudur.



Şekil 3.1 Yalın ve karışık mekanizmalar (a) Kiriş mekanizması (b) Kolon mekanizması (c) Mafsalsal mekanizması (d) Birleşik mekanizma

3.3 Göçme İncelemede Ana Prensipler ve Teoremler

Herhangi bir çerçeve yapı sisteminin göçmesinin incelenmesinde yapılan kabuller ve teoremler aşağıda kısaca verilmektedir [35,36,37].

Virtüel İş Prensipleri: Bir yapı, bir kuvvetler heyetinin etkisi altında dengede ise, herhangi bir virtüel yer değiştirme sırasında bu kuvvetlerin yaptığı iş, virtüel yer değiştirmeler nedeni ile meydana gelen birim şekil değiştirmeler üzerinde, gerilmelerin yaptığı iç işe eşittir.

a) Burada, virtüel yer değiştirme, yapının bağları ile uyulaabilen herhangi bir yerdeğiştirmediir.

b) Virtüel yer değiştirmeler bir mekanizma hareketi olarak ele alınıyorsa iç iş, akma mafsallarında yapılr. Bu iş $\sum M\theta$ şeklinde ifade edilebilir. Burada M moment, θ ise dönmedir.

Akma Momenti (M_0): Yapının bir kesitinde, kesitin tam plastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momentidir.

Akma Mafsalı: Yapının herhangi bir kesitinde idealleştirilen ve uygulanan moment M_0 'dan mutlak değerce küçük ise hiçbir dönmeye yol açmayan, eşit ise bütün momenti taşıyabilen, aynı doğrultudaki dönmeyi önleyemeyen ve mutlak değerce M_0 'dan daha büyük momenti taşıyamayan mafsaldır.

Mekanizma Durumu: Yapıda olulaan akma mafsallarının, yapının sonsuz küçük hareketine mani olamayacak sayıya ulaşması ile meydana gelen durumdur.

Göçme Yüğü: Mümkün mekanizmaları meydana getiren yüklerin en küçüğü göçme yüğü olarak kabul edilir.

Üstten Sınırlama Teoremi: Yapıda kinematik şartları sağlayan alan, göçme yüklerinin en küçüğü ile olulaır. Bu yük yapıya ait göçme yükünün en büyüğüdür.

Altan Sınırlama Teoremi: Yapıda denge şartlarını sağlayan alan, göçme yüklerinin en büyüğü ile olulaır. Bu yük yapıya ait göçme yükünün en küçüğüdür.

Yapıda hem denge, hem de kinematik şartları sağlayan alan göçme yükünün gerçek değeri ile olulaır. Göçme yükünün hesabında karşılaşılan en büyük zorluk alttan ve üstten sınırlama teoremlerine bağlı olarak, hem alanların verdiği göçme yükünün hem de mekanizmaların verdiği göçme yükünün üst üste düşmesi halinin elde edilebilmesidir. Bunu gerçekleştirilebilmek ancak gerçek göçme

mekanizmasının bilinmesi ile mümkündür. Gerçek göçme mekanizması ise sistemin hiperstatikliği ile sistemdeki kritik nokta sayısının kombinasyon sayısı kadar mekanizma içerisinde en küçük yüklerle oluşan mekanizma durumudur.

3.4 Göçme Yükü Hesabı

Çalışmamızda kullanacağımız hesap yönteminde, sistemde oluşabilecek yalın mekanizmaların süperpozisyonu yapılmaktadır. Bu durumda bu mekanizmaların dış yükler ile bağlantısının bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu bağlantılar kiriş ve kolonlar için verilmiş olan iki teorem ile kurulmaktadır [35].

a) Kiriş Teoremi: Herhangi bir hiperstatik yapı sisteminde, göz önüne alınan bir kirişin herhangi bir kesitinde, moment diyagramı kapama çizgisi ile moment diyagramı çizgisi arasındaki ordinat, aynı yük ile yüklü ve aynı açıklıklı basit kirişin o kesitinde oluşan moment değerine eşittir.

b) Kolon Teoremi: Herhangi bir hiperstatik yapı sisteminde, üstten başlayarak herhangi bir kata kadar yatay kuvvetlerden oluşan momentler o katın kolon uçlarına dağılır.

3.4.1 Hesap Tekniği

Bu yöntem ile herhangi bir yapı sisteminin göçme yükü belirlenmeye çalışılırken, izlenecek yol aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

1) Yapıya etki eden yükler, en küçük yük birim alınarak " $\lambda_i.P$ " şeklinde tek bir parametreye bağlı olacak şekilde yapıya etki ettirilir. Buradaki $\lambda_i > 1.00$ olarak alınmalıdır.

2) Yapının seçilen en küçük açıklık veya yüksekliği birim alınarak, bütün açıklık ve yükseklikler bu birime bağlı olacak şekilde " $\beta_i \cdot L$ " şeklinde tek bir parametreye bağlı olarak ifade edilirler. Buradaki $\beta_i > 1.00$ olarak alınmalıdır.

3) Sistemdeki kritik kesitler belirlenir ve bu kesitlerde yükler altında oluşan momentler kritik kesitlerin numaraları ile adlandırılırlar.

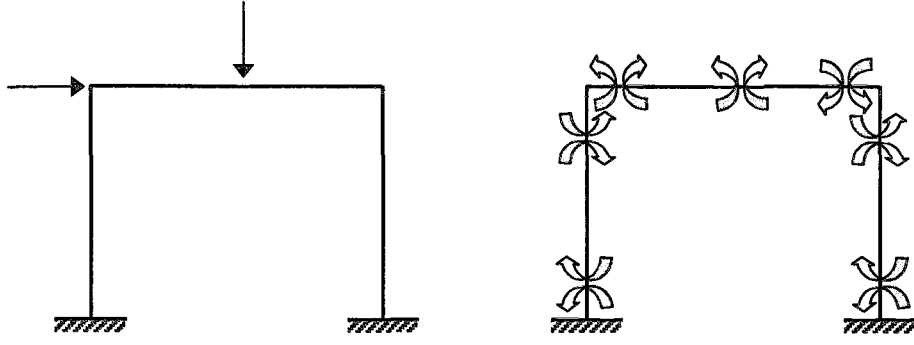
Herhangi bir yapı sisteminde momentlerin en büyük değerleri kolon uç kesitlerinde, kiriş uç kesitlerinde, tekil yüklerin altında ve yayılı yüklü kirişlerde ise açıklıkta kesme kuvvetinin sıfır olduğu kesitlerde oluşur. Sistemdeki bu kesitler kritik kesit olarak kabul edilirler. Bir yapı sisteminde göçmeyi oluşturan mafsallar kritik kesitlerde oluşurlar.

4) Sisteme ait denge denklemleri kurulur. Sistemin hiperstatiklik derecesine " r " denilirse, sistemdeki kritik nokta sayısı da " n " ise $(n-r)$ adet denge denkleminin yazılabilmesi gereklidir. Denge denklemleri kurulurken sisteme ait uyumluluğun sağlanması için bir işaret kuralı kabul edilmelidir. Denge denklemlerinin kurulmasında ve moment diyagramlarının çizilmesinde kullanılan işaret kuralları aşağıda kısaca maddeler halinde verilmekte ve şekil 3.2 de de gösterilmektedir.

a) Yatay ve eğik çubukların açıklıklarında (yük etkime kesitlerinde), kesitin sağında saat ibresi yönünde, kesitin solunda ise saat ibresi tersi yönünde dönen moment pozitif kabul edilir.

b) Düğüm noktalarını saat ibresi tersi yönünde döndüren moment pozitif kabul edilir.

Hesap sonucunda elde edilen momentler (a) ve (b) maddeleri gereğince sisteme yerleştirilir ve sistemde seçilen bakış yönüne göre, bakılan veya kabul edilen tarafta çekme yapan momentler pozitif kabul edilecek şekilde moment diyagramı çizilir.



Şekil 3.2 Basit bir çerçevede pozitif momentlerin dönme yönleri

5) Her kritik kesit için kısıtlayıcı denklemler yazılır. Momentlerin göz önüne alınması ile yazılan denge denklemlerinden oluşan denklem sisteminin tek bir çözümünün bulunabilmesi için, kesitlerde oluşan momentlerin, kesit moment taşıma kapasiteleri ile sınırlandırılması ve bu sınırlandırmalarında denklem sistemine yansıtılması gerekir.

6) Denge denklemleri ve kısıtlayıcılar gerekli işlemler yapılarak boyutsuz hale getirilirler. Denge denklemleri moment yani “ m ” boyutuna sahiptir. Denklemlerin bütün elemanları “ M_0 ” kesit taşıma momentine bölünerek boyutsuz hale getirilir. Boyutsuz hale getirilen denklemler $(M_i/M_0)=m_i$ olacak şekilde yeni bir notasyonla gösterilirler. Ayrıca moment denge denklemlerinde kuvvet ve mesafeye bağlı olarak ifade edilen moment ifadeleri “ M_0 ” ile bölündükten sonra elde edilen yeni parametre $(PL^2/M_0)=f$ kabul edilerek denklem takımına yerleştirilir. Son olarak denge denklemlerinde $m_i=X_i-K_i$ dönüşümü yapılır. Buradaki K_i katsayısı her m_i değeri için ait olduğu elemanın moment taşıma kapasitesi katsayısıdır.

Kısıtlayıcı denklemler de “ M_0 ” kesit taşıma momentine bölünerek boyutsuz hale getirilirler. Boyutsuz hale getirilen kısıtlayıcı denklemlerin denklem sistemine katılabilmesi için tek taraflı olmaları gereklidir. Bunun içinde bir takım matematiksel operasyonlar yapılır.

Boyutsuz hale getirilen ve bir takım matematiksel operasyonlar uygulanan denklem takımı, bir lineer programlama programı ile çözülebilecek hale getirilmiştir. Çalışmamızda boyutsuz hale getirilen denge denklemleri ve kısıtlayıcılar LINDO doğrusal programlama programı ile çözülecektir.



4. ÖNERİLEN HESAP TEKNİĞİ İLE ÇÖZÜM

Bu bölümde üç katlı ve üç açıklıklı prefabrike betonarme bir çerçeve göz önüne alınarak, bu çerçeve üzerinde çalışmamızda verilen hesap tekniği ile çözüm yapılacaktır. Hesap tekniği ile çözüme geçmeden önce yapıda göz önüne alınacak yükler belirlenecektir. Göz önüne alınan çerçevenin kesiti ve planı Şekil 4.1 de verilmektedir.

4.1 Yapı Yüklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde çalışmamızda verilen hesap tekniği ile çözüm yapılırken, hesapta göz önüne alınacak çerçeveye etki eden düşey yükler ile yatay deprem yükleri belirlenecektir.

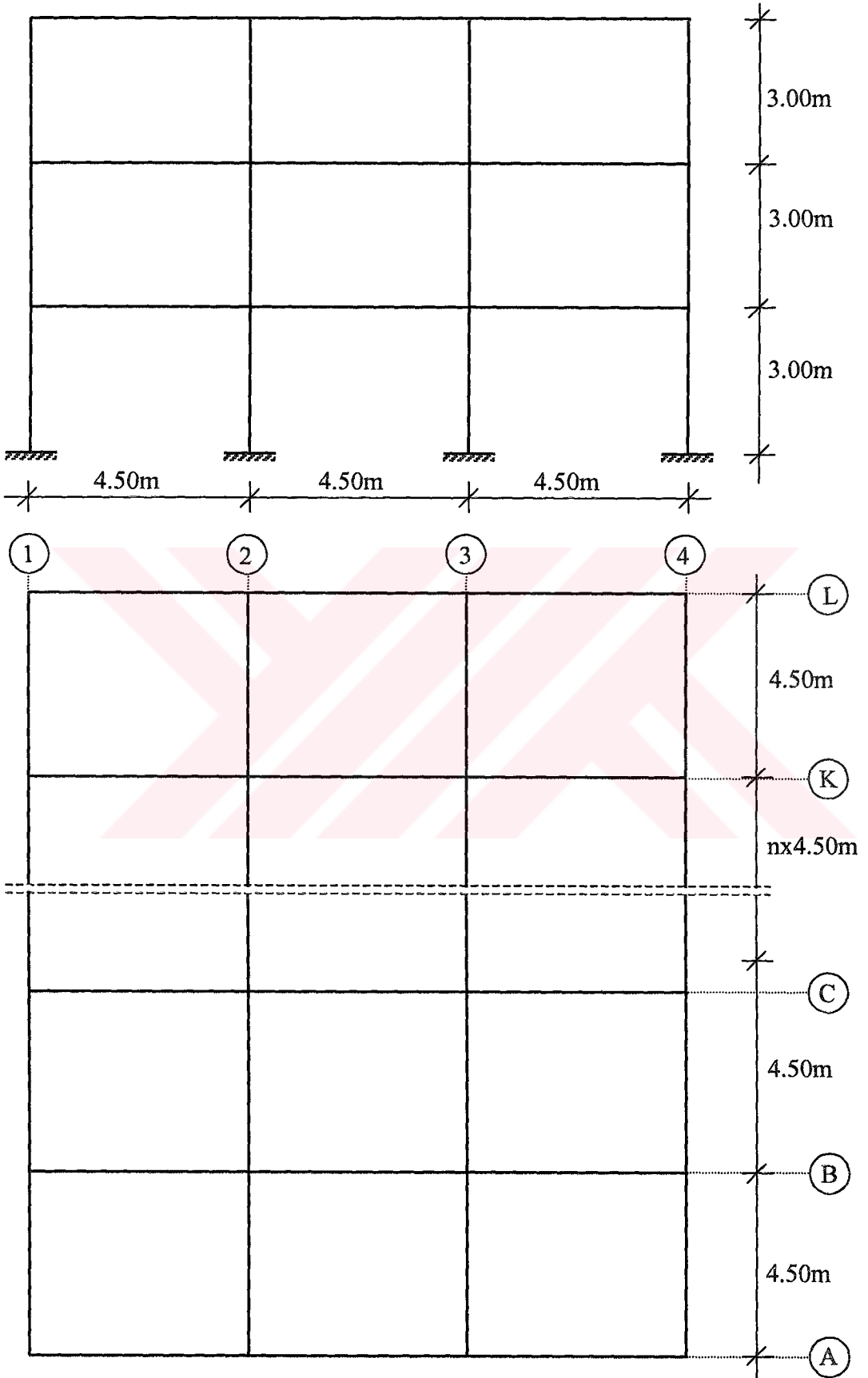
4.1.1 Yapı Düşey Yüklerinin Belirlenmesi

Yapı yükleri belirlenirken Şekil 4.1 de gösterilen çerçeve göz önüne alınacaktır. Çerçeveye etki eden düşey yükler, hesap tekniğinin açıklanması amacıyla göz önüne alınan ve alan yöntemine göre yaklaşık olarak hesaplanan yüklerdir. Şekil 4.2 de gösterildiği gibi B-B aksındaki çerçeveye sabit ve hareketli yüklerin her ikisinin de göz önüne alınması durumunda birim alana gelen toplam yükün "P" olduğu kabul edilirse;

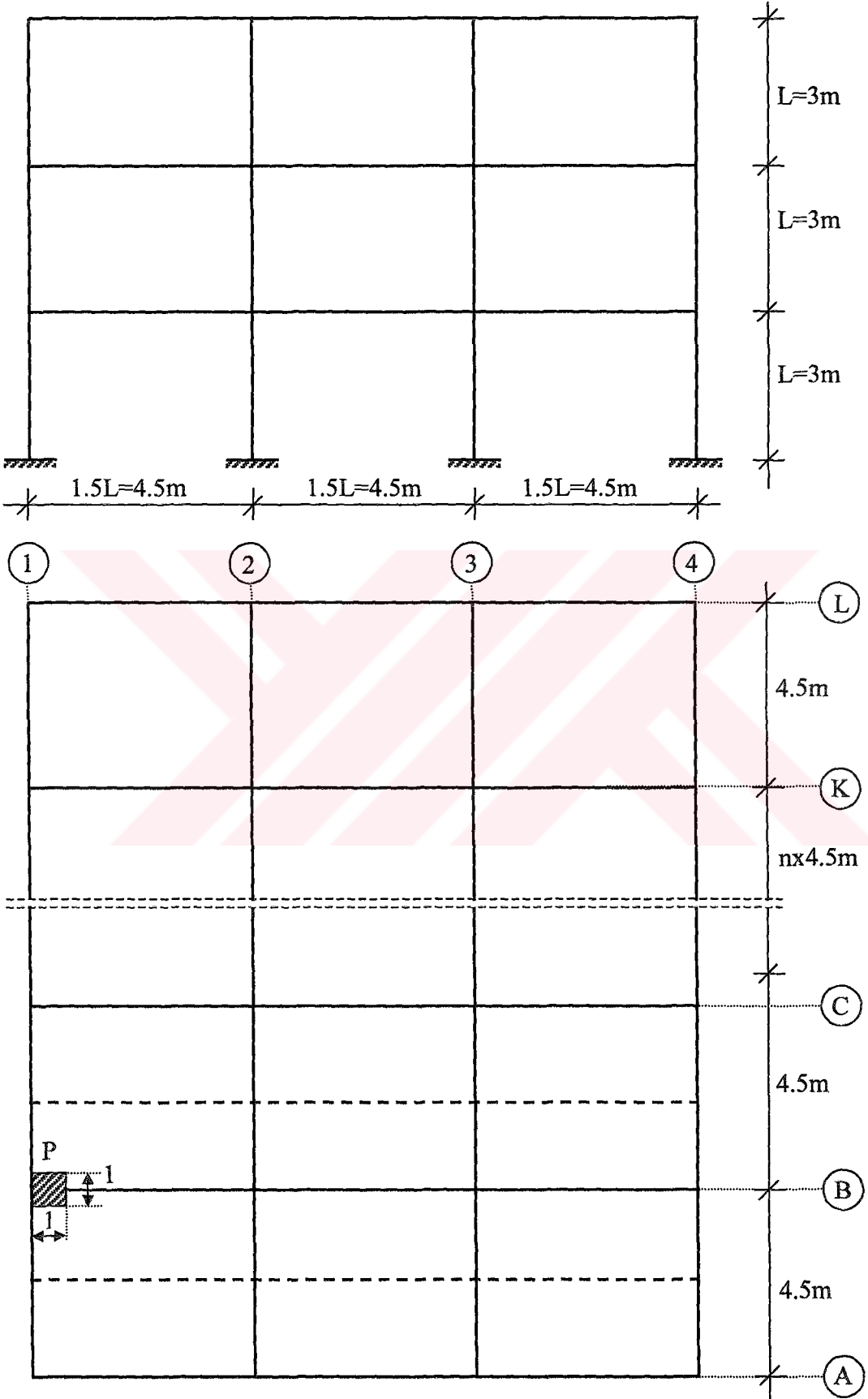
1-2 aksı arasındaki çerçeve kirişinin birim uzunluğuna gelen yük:

$$P \times 4.5 = 4.5P \quad (4.1)$$

olur. 1-2 aksı arasındaki çerçeve kirişine gelen toplam yük:



Şekil 4.1 Hesapta göz önüne alınan çerçeve a) Kesit, b) Plan



Şekil 4.2 Boyutların tek bir parametreye bağlandığı çerçevede yük kabulü

$$4.5P \times 1.5L = 6.75PL \quad (4.2)$$

olur. Aynı şekilde 2-3 ve 3-4 aksları arasındaki çerçeve kirişine gelen toplam yükde; 6.75PL dir. Bu durumda bir kata gelen toplam düşey yük (zati+hareketli yük);

$$\text{Toplam düşey yük} = 6.75PL + 6.75PL + 6.75PL = 20.25PL \quad (4.3)$$

olarak hesaplanır.

4.1.2 Yatay Yüklerin Belirlenmesi

Yapıya etki eden yatay yükler deprem yükleri olup, bu yükler eşdeğer deprem yükü yöntemine göre hesaplanacaktır [38].

4.1.2.1 Binanın Tümüne Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükünün Hesabı

Binanın tümüne etkiyen eşdeğer deprem yükü;

$$V(t) = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 \cdot I \cdot W \quad (4.4)$$

denklemini ile hesaplanır. Denklemdaki, W Yapının toplam ağırlığını göstermektedir.

$$W = \sum_{i=1}^n w_i \quad \Rightarrow \quad w_i = g_i + nq_i \quad (\text{Kat ağırlıkları})$$

g_i : Sabit yükler (Döşeme, kiriş, kolon ve duvar öz ağırlıkları vb.)

n : Hareketli yük katılım katsayısı (Konutlar için $n = 0.30$ olarak alınır)

q_i : Hareketli yükler

Hesaplarımızda gözönüne alınan yapının toplam ağırlığı;

$$W = \sum_{i=1}^n w_i = w_1 + w_2 + w_3 = 3 \times 20.25 \text{ PL} = 60.75 \text{ PL dir.}$$

$A(T_1)$: Spektral ivme katsayısı

T_1 : Binanın birinci doğal titreşim periyodu

Birinci ve ikinci derece deprem bölgesinde $H_N < 25\text{m}$ olduğu zaman binaların birinci doğal titreşim periyodu aşağıdaki yaklaşık bağıntı ile hesaplanır.

$$T_1 = T_{1A} = C_t . H_N^{3/4}$$

C_t : Bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak tanımlanan bir katsayıdır. Betonarme sistemi sadece betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda $C_t = 0.07$ olarak alınır. Bu şartlarda binanın birinci doğal titreşim periyodu;

$$T_1 = C_t . H_N^{3/4} = 0.07 \times 9^{3/4} = 0.3637 \text{ sn}$$

Spektral ivme katsayısı;

$$A(T_1) = A_0 . I . S(T_1)$$

$$A(0.3637) = A_0 . I . S(0.3637)$$

dır. Denklemdede;

A_0 etkin yer ivmesi katsayısı olup, I.derece deprem bölgesi için $A_0 = 0.40$ olarak alınır.

I Bina önem katsayısı olup, konutlar için $I = 1.00$ olarak alınır. $S(T)$ spektrum katsayısı olup, bu katsayı yerel zemin koşullarına ve bina doğal titreşim

periyoduna bağı olarak verilmektedir. Bu çalışmada yerel zemin sınıfı Z_3 olarak kabul edilmiş ve bu zemin türü için spektrum karakteristik periyodları $T_A=0.15\text{sn}$ ve $T_B=0.60\text{sn}$ olarak verilmektedir.

$T_A=0.15\text{sn} < T_1=0.3637\text{sn} < T_B=0.60\text{sn}$ olduğu için $S(T_1) = S(0.3637) = 2.5$ olarak alınır.

Bu şartlarda spektral ivme katsayısı;

$$A(T_1) = A(0.3637) = A_0 \cdot I_S(0.3637)$$

$$A(T_1) = 0.40 \times 1.00 \times 2.5 = 1.00 \text{ olur.}$$

$R_a(T_1)$ deprem yükü azaltma katsayısı olup, bu katsayı taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ve doğal titreşim periyodu T 'ye bağı olarak belirlenmektedir.

$T_1=0.3637\text{sn} > T_A=0.15\text{sn}$ olduğu için $R_a(T_1) = R_a(0.3637) = R$ olarak alınır.

Kolon ve kirişleri ile veya çerçeve parçaları ile monolitik hale getirilmiş bir veya çok katlı prefabrike çerçeveler (Süneklik düzeyi yüksek sistemler) için $R=5$ olarak alınır. Bu durumda $R_a(T_1) = R_a(0.3637) = R = 5$ olur [2].

Bu şartlarda yapıya etkileyen toplam eşdeğer deprem yükü;

$$V(t) = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} = \frac{60.75\text{PL} \times 1.00}{5} = 12.15\text{PL} \quad (4.5)$$

olarak hesaplanır.

4.1.2.2 Katlara Etkiyen Deprem Yüklerinin Hesabı

Bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı;

$$V(t) = \Delta F_N + \sum_{i=1}^n F_i \quad (4.6)$$

Bina katlarına etkiyen deprem yükleri;

$$F_i = (V(t) - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^n w_j H_j} \quad (4.7)$$

formülleri ile hesaplanır. Denklemden ΔF_N binanın en üst katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü olup, $H_N = 9.00\text{m} < 25.00\text{m}$ olduğu için $\Delta F_N = 0$ olarak alınır.

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n w_j H_j &= w_1 H_1 + w_2 H_2 + w_3 H_3 = 20.25\text{PL} \times 3 + 20.25\text{PL} \times 6 + 20.25\text{PL} \times 9 \\ &= 364.50\text{PL} \end{aligned}$$

I. kata etkiyen eşdeğer deprem yükü;

$$F_1 = V_t \frac{w_1 H_1}{\sum_{j=1}^n w_j H_j} = 12.15\text{PL} \frac{20.25\text{PL} \times 3}{364.50\text{PL}} = 2.025\text{PL} \quad (4.8)$$

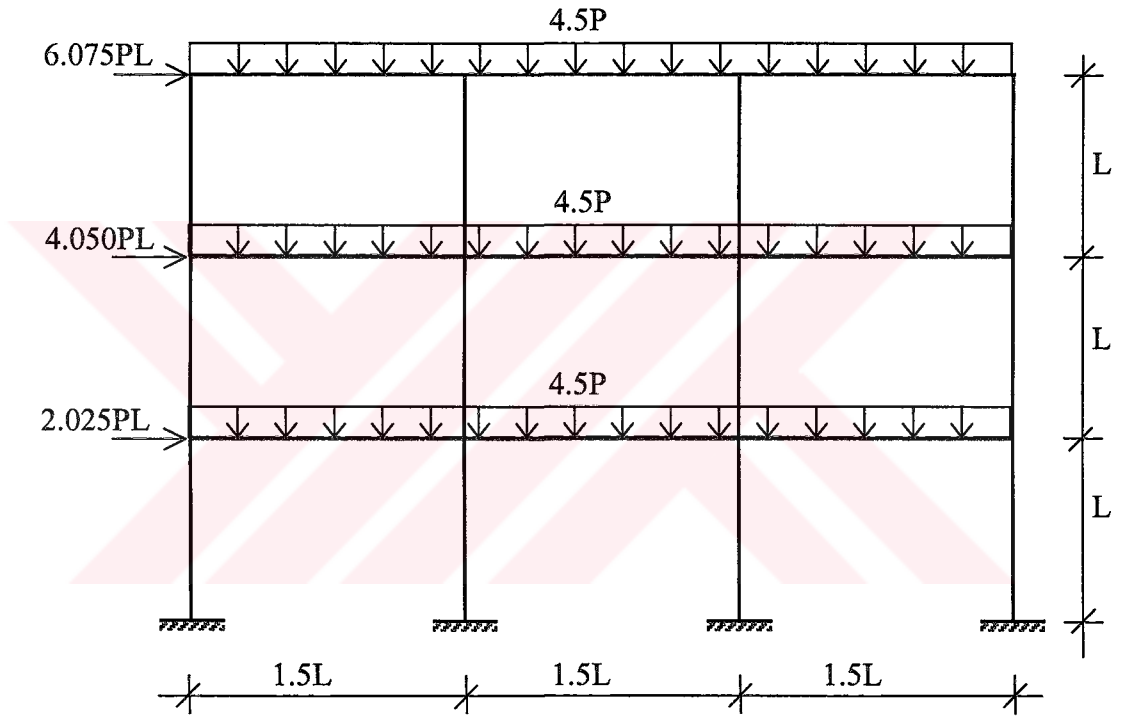
II. kata etkiyen eşdeğer deprem yükü;

$$F_2 = V_t \frac{w_2 H_2}{\sum_{j=1}^n w_j H_j} = 12.15\text{PL} \frac{20.25\text{PL} \times 6}{364.50\text{PL}} = 4.050\text{PL} \quad (4.9)$$

III. kata etkiyen eşdeğer deprem yükü;

$$F_3 = V_t \frac{w_3 H_3}{\sum_{j=1}^n w_j H_j} = 12.15PL \frac{20.25PL \times 9}{364.50PL} = 6.075PL \quad (4.10)$$

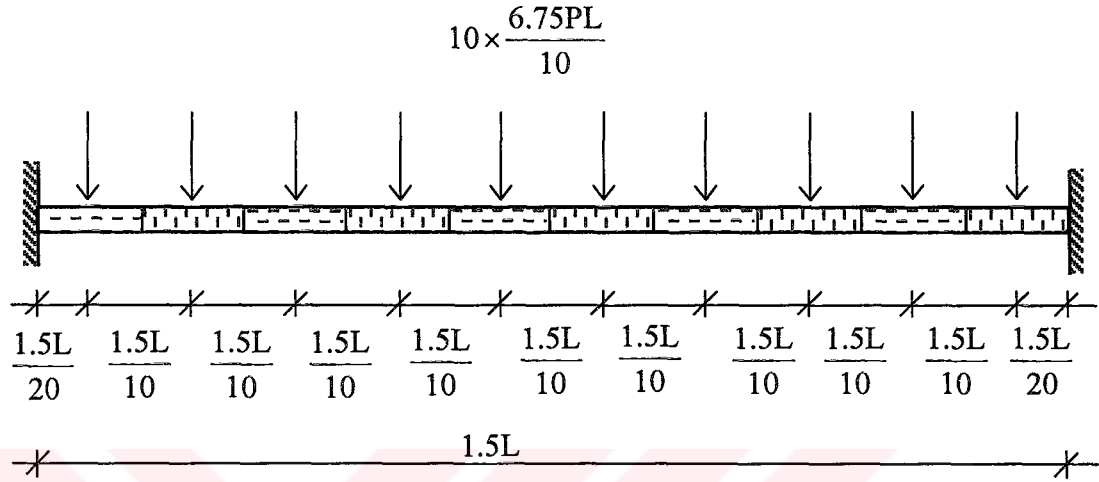
olarak hesaplanmış olur. Çerçeveye etki eden düşey yayılı yükler ve katlara etkiyen deprem yükleri Şekil 4.3 de gösterilmektedir.



Şekil 4.3 Dönüştürülmüş boyut ile ifade edilen çerçeveye etki eden yatay ve düşey yükler

Çalışmamızda kullanacağımız hesap tekniğinde, moment denge denklemlerinin lineer olması gerektiğinden, göz önüne aldığımız çerçeveye etki eden düşey yayılı yükler yük değiştirme yöntemine göre tekil yüklerle dönüştürülecektir. Yük değiştirme yöntemi ile yayılı yükler tekil yüklerle dönüştürülürken açıklığın on eşit parçaya ayrılarak çözüm yapılması uygun

olmaktadır [35]. Bu nedenle çerçevenin bir açıklığına etki eden toplam düşey yayılı yük on eşit parçaya ayrılarak, açıklığa düşey tekil yükler olarak etki ettirilecek ve hesaplarda bu şekilde göz önüne alınacaktır. Şekil 4.4 de bir açıklığa etki eden düşey tekil yükler ve yüklerin uygulama noktaları gösterilmektedir.



Şekil 4.4 Bir açıklığa etki eden düşey tekil yükler ve etki noktaları

4.2 M_0 Taşıma Momentlerinin Belirlenmesi

Bundan önceki çalışmalarımızda önerilmeli prefabrike kesitlerin kesit taşıma momentleri konusunda çalışmalar yapılmıştı ve bu çalışmaların ışığında önerilmeli prefabrike kesitlerde açıklıktaki ve mesnetlerdeki taşıma momentlerinin hesabında, mesnetteki taşıma momentinin önerilme kablosunun ağırlık merkezinin yatayla yaptığı açının kosinüs ($\cos \alpha$) değerine bağlı olarak az da olsa azaldığı görülmüştü. Ayrıca kiriş-kolon birleşim noktalarında dönmeye karşı tam rijit bir bağlantı yapılamaması nedeniyle, hesaplarda mesnetlerdeki kesit taşıma momentinin, açıklıktaki kesit taşıma momentine göre daha küçük göz önüne alınması hesabın doğruluğu açısından daha uygun olacaktır.

Bu çalışmada gerek yapının prefabrike olması gerekse betonarme yapılarda kolonların üst kata kadar aynı kesitli olması tercih edildiğinden, yapının yüksekliği boyunca kolonlarda aynı M_0 momenti kullanılacaktır. Kirişlerde ise M_0 taşıma

momentinin değeri bütün açıklıklar için sabit ve kolon M_0 taşıma momentinin değerinden daha küçük seçilecektir (Rijit kolon, zayıf kiriş tercihinden dolayı).

Kiriş uçlarında dönmeye karşı rijit bağlantı yapılamaması nedeniyle kiriş-kolon birleşim bölgelerinde taşıma momentindeki azalma göz önüne alınacaktır. Kiriş mesnet bölgelerinde taşıma momentindeki azalma miktarı aşağıdaki Şekilde hesaplanacaktır.

Bu çalışmada [10] nolu literatüre göre Δ_c / Δ_b oranı 0.9375 kabul edilerek, bu orana karşılık kiriş-kolon birleşim noktalarındaki birleşim dönme rijitliği $k_c = \frac{3.2EI}{L}$ olarak hesaplanmıştır.

Tam ankastre bir birleşimde birleşim dönme rijitliği (Birim deplasman sabiti= $m_i\theta_i$) $\frac{4EI}{L}$ değerine karşılık kesit taşıma momenti $1.5M_0$ kabul edilirse, birleşimin yarı rijit olmasından kaynaklanan birleşim dönme rijitliği (Birim deplasman sabiti= $m_i\theta_i=k_c$) $\frac{3.2EI}{L}$ değerine karşılık birleşim bölgesinde kiriş kesit taşıma momenti $1.2M_0$ 'a düşecektir ve çalışmada kiriş-kolon birleşim bölgesinde kiriş kesit taşıma momentindeki bu azalma göz önüne alınarak çözüm yapılacaktır [39].

Kiriş uçlarında yapıldığı gibi kolon uçlarında, taşıma momenti azaltılmasına gidilmeyecektir. Bu durumda hesap sırasında;

Kolonların taşıma momenti	\Rightarrow	$2M_0$
Kirişlerin taşıma momenti	\Rightarrow	$1.5M_0$
Kiriş birleşim bölgelerinde taşıma momenti	\Rightarrow	$1.2M_0$

alınarak çözüm yapılacaktır. zm sırasında önce prefabrike birleşimlerdeki dönme etkisinin göz önüne alındığı prefabrike ereve çözülecek, daha sonra rijit birleşimli monolitik ereve çözülerek, prefabrike taşıyıcı sistem ile monolitik esas

sistem arasındaki yük taşıma kayıpları araştırılacaktır. Monolitik esas sistem göz önüne alınırken, kiriş-kolon birleşimleri rijit birleşimler olduğu için taşıma momentinde her hangi bir azaltılmaya gidilmeyecek ve kiriş ile kiriş birleşim bölgelerinde taşıma momenti $1.5M_0$ alınarak çözüm yapılacaktır.

4.3 Prefabrike Taşıyıcı Sistemde Çözüm

Çözümde göz önüne alınacak çerçeveye etki eden düşey tekil yükler ile yatay deprem yükleri ve prefabrike çerçeve için hesapta göz önüne alınacak kolon ve kiriş kesit taşıma momentleri şekil 4.5 de gösterilmektedir.

4.3.1 Denge Denklemlerinin Yazılması

Denge denklemlerinin yazılmasında göz önüne alınacak momentler kritik kesitlerin numaraları ile isimlendirilerek Şekil 4.6 de gösterilmektedir. Göz önüne alınan çerçeveye ait denge denklemleri yazılırsa;

Düğüm noktalarında denge denklemleri;

$$M_2+M_3+M_4=0$$

$$M_5+M_6+M_7=0$$

$$M_8+M_9=0$$

$$M_{10}+M_{11}+M_{12}=0$$

$$M_{13}+M_{14}+M_{15}+M_{16}=0$$

$$M_{17}+M_{17}+M_{19}+M_{20}=0$$

$$M_{22}+M_{23}+M_{24}=0$$

$$M_{25}+M_{26}+M_{27}+M_{28}=0$$

$$M_{29}+M_{30}+M_{31}+M_{32}=0$$

$$M_{34}+M_{35}=0$$

$$M_{36}+M_{37}+M_{38}=0$$

$$M_{39}+M_{40}+M_{41}=0$$

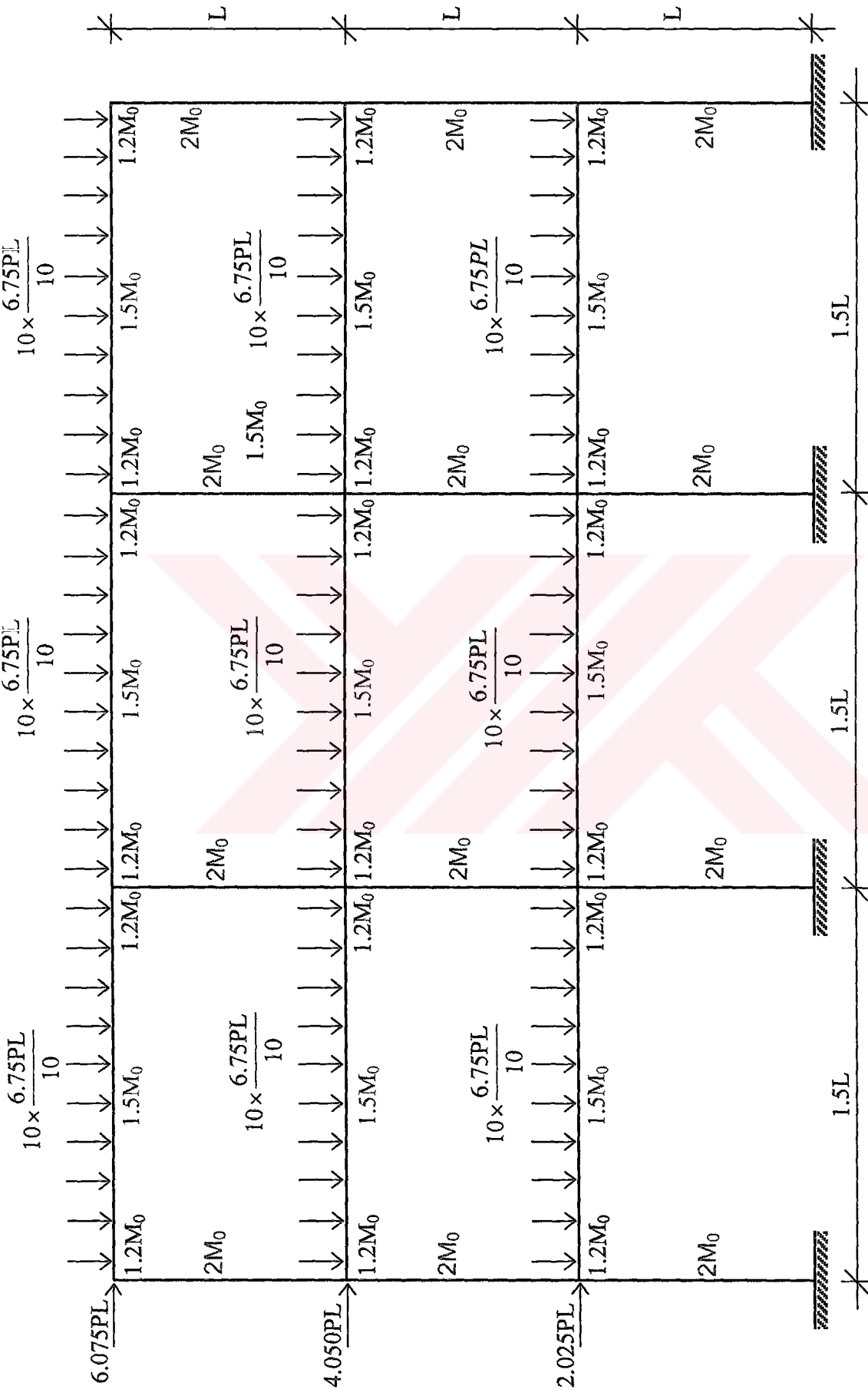
Kat kolonlarındaki denge denklemleri;

$$\begin{aligned}-M_6-M_8-M_{12}-M_{14}-M_{24}-M_{26}-M_{35}-M_{37}&=6.075PL^2 \\ -M_3-M_5-M_{16}-M_{18}-M_{28}-M_{30}-M_{38}-M_{40}&=10.125PL^2 \\ -M_1-M_2-M_{20}-M_{21}-M_{32}-M_{33}-M_{41}-M_{42}&=12.150PL^2\end{aligned}$$

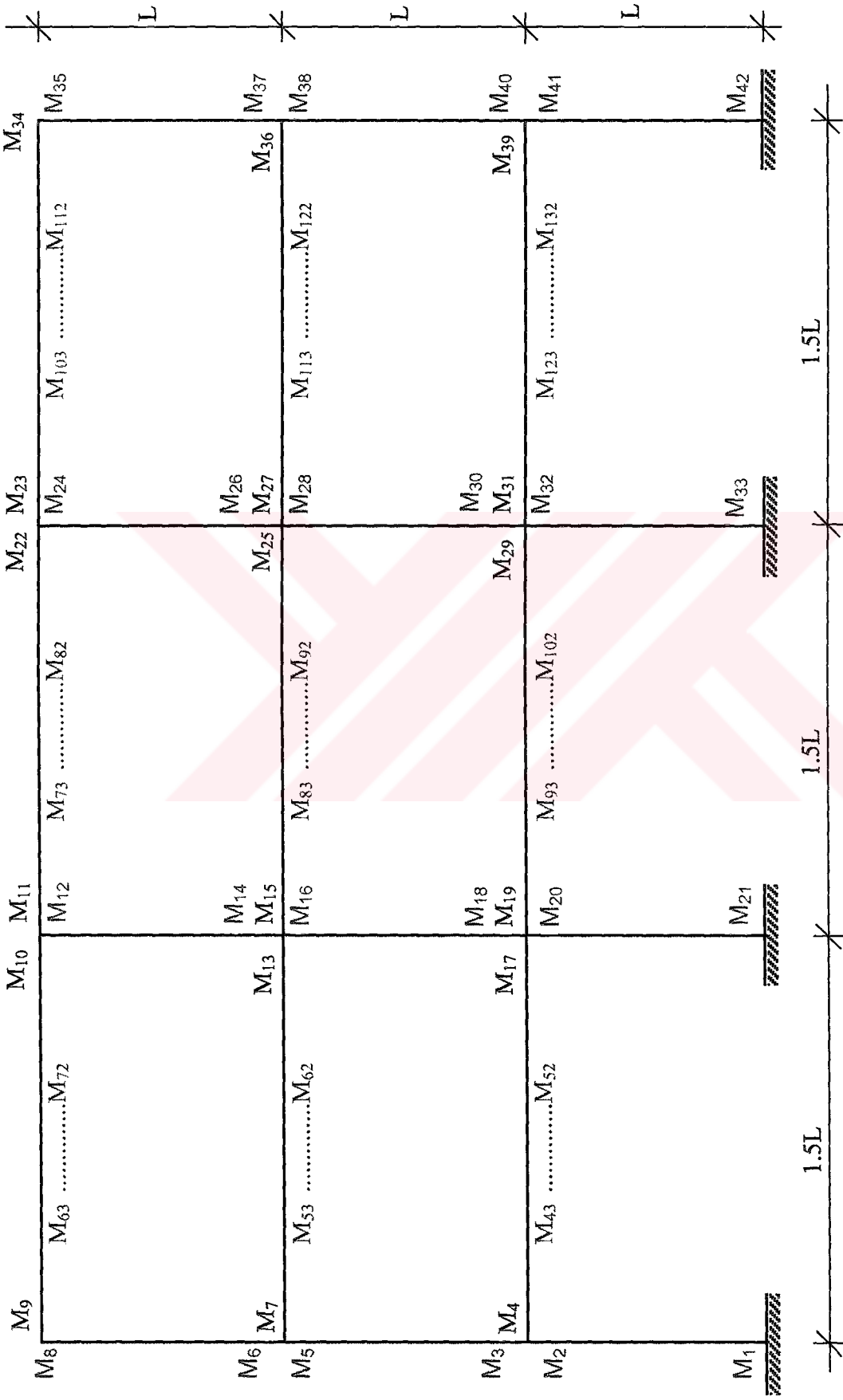
Kirişlerdeki denge denklemleri;

3.kat kirişleri;

$$\begin{aligned}-1.425 M_9+0.075 M_{10}+1.5M_{63}&=0.3796875PL^2 \\ -1.275 M_9+0.225 M_{10}+1.5 M_{64}&=0.9871875 PL^2 \\ -1.125 M_9+0.375 M_{10}+1.5 M_{65}&=1.4428125 PL^2 \\ -0.975 M_9+0.525 M_{10}+1.5 M_{66}&=1.7465625 PL^2 \\ -0.825 M_9+0.675 M_{10}+1.5 M_{67}&=1.8984375 PL^2 \\ -0.675 M_9+0.825 M_{10}+1.5 M_{68}&=1.8984375 PL^2 \\ -0.525 M_9+0.975 M_{10}+1.5 M_{69}&=1.7465625 PL^2 \\ -0.375 M_9+1.125 M_{10}+1.5 M_{70}&=1.4428125 PL^2 \\ -0.225 M_9+1.275 M_{10}+1.5 M_{71}&=0.9871875 PL^2 \\ -0.075 M_9+1.425 M_{10}+1.5 M_{72}&=0.3796875PL^2 \\ -1.425 M_{11}+0.075 M_{22}+1.5M_{73}&=0.3796875PL^2 \\ -1.275 M_{11}+0.225 M_{22}+1.5 M_{74}&=0.9871875 PL^2 \\ -1.125 M_{11}+0.375 M_{22}+1.5 M_{75}&=1.4428125 PL^2 \\ -0.975 M_{11}+0.525 M_{22}+1.5 M_{76}&=1.7465625 PL^2 \\ -0.825 M_{11}+0.675 M_{22}+1.5 M_{77}&=1.8984375 PL^2 \\ -0.675 M_{11}+0.825 M_{22}+1.5 M_{78}&=1.8984375 PL^2 \\ -0.525 M_{11}+0.975 M_{22}+1.5 M_{79}&=1.7465625 PL^2 \\ -0.375 M_{11}+1.125 M_{22}+1.5 M_{80}&=1.4428125 PL^2 \\ -0.225 M_{11}+1.275 M_{22}+1.5 M_{81}&=0.9871875 PL^2 \\ -0.075 M_{11}+1.425 M_{22}+1.5 M_{82}&=0.3796875PL^2 \\ -1.425 M_{23}+0.075 M_{34}+1.5M_{103}&=0.3796875PL^2 \\ -1.275 M_{23}+0.225 M_{34}+1.5 M_{104}&=0.9871875 PL^2 \\ -1.125 M_{23}+0.375 M_{34}+1.5 M_{105}&=1.4428125 PL^2 \\ -0.975 M_{23}+0.525 M_{34}+1.5 M_{106}&=1.7465625 PL^2\end{aligned}$$



Şekil 4.5 Çerçeveye etki eden yükler ve hesapta göz önüne alınacak kesit taşıma momentleri



Şekil 4.6 Kritik kesitlerde oluşan momentler

$$\begin{aligned}
& -0.825 M_{23}+0.675 M_{34}+1.5 M_{107}=1.8984375 PL^2 \\
& -0.675 M_{23}+0.825 M_{34}+1.5 M_{108}=1.8984375 PL^2 \\
& -0.525 M_{23}+0.975 M_{34}+1.5 M_{109}=1.7465625 PL^2 \\
& -0.375 M_{23}+1.125 M_{34}+1.5 M_{110}=1.4428125 PL^2 \\
& -0.225 M_{23}+1.275 M_{34}+1.5 M_{111}=0.9871875 PL^2 \\
& -0.075 M_{23}+1.425 M_{34}+1.5 M_{112}=0.3796875 PL^2
\end{aligned}$$

2.kat kirişleri;

$$\begin{aligned}
& -1.425 M_7+0.075 M_{13}+1.5 M_{53}=0.3796875 PL^2 \\
& -1.275 M_7+0.225 M_{13}+1.5 M_{54}=0.9871875 PL^2 \\
& -1.125 M_7+0.375 M_{13}+1.5 M_{55}=1.4428125 PL^2 \\
& -0.975 M_7+0.525 M_{13}+1.5 M_{56}=1.7465625 PL^2 \\
& -0.825 M_7+0.675 M_{13}+1.5 M_{57}=1.8984375 PL^2 \\
& -0.675 M_7+0.825 M_{13}+1.5 M_{58}=1.8984375 PL^2 \\
& -0.525 M_7+0.975 M_{13}+1.5 M_{59}=1.7465625 PL^2 \\
& -0.375 M_7+1.125 M_{13}+1.5 M_{60}=1.4428125 PL^2 \\
& -0.225 M_7+1.275 M_{13}+1.5 M_{61}=0.9871875 PL^2 \\
& -0.075 M_7+1.425 M_{13}+1.5 M_{62}=0.3796875 PL^2 \\
& -1.425 M_{15}+0.075 M_{25}+1.5 M_{83}=0.3796875 PL^2 \\
& -1.275 M_{15}+0.225 M_{25}+1.5 M_{84}=0.9871875 PL^2 \\
& -1.125 M_{15}+0.375 M_{25}+1.5 M_{85}=1.4428125 PL^2 \\
& -0.975 M_{15}+0.525 M_{25}+1.5 M_{86}=1.7465625 PL^2 \\
& -0.825 M_{15}+0.675 M_{25}+1.5 M_{87}=1.8984375 PL^2 \\
& -0.675 M_{15}+0.825 M_{25}+1.5 M_{88}=1.8984375 PL^2 \\
& -0.525 M_{15}+0.975 M_{25}+1.5 M_{89}=1.7465625 PL^2 \\
& -0.375 M_{15}+1.125 M_{25}+1.5 M_{90}=1.4428125 PL^2 \\
& -0.225 M_{15}+1.275 M_{25}+1.5 M_{91}=0.9871875 PL^2 \\
& -0.075 M_{15}+1.425 M_{25}+1.5 M_{92}=0.3796875 PL^2 \\
& -1.425 M_{27}+0.075 M_{36}+1.5 M_{113}=0.3796875 PL^2 \\
& -1.275 M_{27}+0.225 M_{36}+1.5 M_{114}=0.9871875 PL^2 \\
& -1.125 M_{27}+0.375 M_{36}+1.5 M_{115}=1.4428125 PL^2 \\
& -0.975 M_{27}+0.525 M_{36}+1.5 M_{116}=1.7465625 PL^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -0.825 M_{27} + 0.675 M_{36} + 1.5 M_{117} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.675 M_{27} + 0.825 M_{36} + 1.5 M_{118} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.525 M_{27} + 0.975 M_{36} + 1.5 M_{119} = 1.7465625 PL^2 \\
& -0.375 M_{27} + 1.125 M_{36} + 1.5 M_{120} = 1.4428125 PL^2 \\
& -0.225 M_{27} + 1.275 M_{36} + 1.5 M_{121} = 0.9871875 PL^2 \\
& -0.075 M_{27} + 1.425 M_{36} + 1.5 M_{122} = 0.3796875 PL^2
\end{aligned}$$

1.kat kirişleri;

$$\begin{aligned}
& -1.425 M_4 + 0.075 M_{17} + 1.5 M_{43} = 0.3796875 PL^2 \\
& -1.275 M_4 + 0.225 M_{17} + 1.5 M_{44} = 0.9871875 PL^2 \\
& -1.125 M_4 + 0.375 M_{17} + 1.5 M_{45} = 1.4428125 PL^2 \\
& -0.975 M_4 + 0.525 M_{17} + 1.5 M_{46} = 1.7465625 PL^2 \\
& -0.825 M_4 + 0.675 M_{17} + 1.5 M_{47} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.675 M_4 + 0.825 M_{17} + 1.5 M_{48} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.525 M_4 + 0.975 M_{17} + 1.5 M_{49} = 1.7465625 PL^2 \\
& -0.375 M_4 + 1.125 M_{17} + 1.5 M_{50} = 1.4428125 PL^2 \\
& -0.225 M_4 + 1.275 M_{17} + 1.5 M_{51} = 0.9871875 PL^2 \\
& -0.075 M_4 + 1.425 M_{17} + 1.5 M_{52} = 0.3796875 PL^2 \\
& -1.425 M_{19} + 0.075 M_{29} + 1.5 M_{93} = 0.3796875 PL^2 \\
& -1.275 M_{19} + 0.225 M_{29} + 1.5 M_{94} = 0.9871875 PL^2 \\
& -1.125 M_{19} + 0.375 M_{29} + 1.5 M_{95} = 1.4428125 PL^2 \\
& -0.975 M_{19} + 0.525 M_{29} + 1.5 M_{96} = 1.7465625 PL^2 \\
& -0.825 M_{19} + 0.675 M_{29} + 1.5 M_{97} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.675 M_{19} + 0.825 M_{29} + 1.5 M_{98} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.525 M_{19} + 0.975 M_{29} + 1.5 M_{99} = 1.7465625 PL^2 \\
& -0.375 M_{19} + 1.125 M_{29} + 1.5 M_{100} = 1.4428125 PL^2 \\
& -0.225 M_{19} + 1.275 M_{29} + 1.5 M_{101} = 0.9871875 PL^2 \\
& -0.075 M_{19} + 1.425 M_{29} + 1.5 M_{102} = 0.3796875 PL^2 \\
& -1.425 M_{31} + 0.075 M_{39} + 1.5 M_{123} = 0.3796875 PL^2 \\
& -1.275 M_{31} + 0.225 M_{39} + 1.5 M_{124} = 0.9871875 PL^2 \\
& -1.125 M_{31} + 0.375 M_{39} + 1.5 M_{125} = 1.4428125 PL^2 \\
& -0.975 M_{31} + 0.525 M_{39} + 1.5 M_{126} = 1.7465625 PL^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -0.825 M_{31} + 0.675 M_{39} + 1.5 M_{127} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.675 M_{31} + 0.825 M_{39} + 1.5 M_{128} = 1.8984375 PL^2 \\
& -0.525 M_{31} + 0.975 M_{39} + 1.5 M_{129} = 1.7465625 PL^2 \\
& -0.375 M_{31} + 1.125 M_{39} + 1.5 M_{130} = 1.4428125 PL^2 \\
& -0.225 M_{31} + 1.275 M_{39} + 1.5 M_{131} = 0.9871875 PL^2 \\
& -0.075 M_{31} + 1.425 M_{39} + 1.5 M_{132} = 0.3796875 PL^2
\end{aligned}$$

olarak yazılırlar. Kısıtlayıcı denklemler yazılırsa;

$$\begin{aligned}
& -2M_0 \leq M_1 \leq 2M_0 & -1.2M_0 \leq M_{25} \leq 1.2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_2 \leq 2M_0 & -2M_0 \leq M_{26} \leq 2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_3 \leq 2M_0 & -1.2M_0 \leq M_{27} \leq 1.2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_4 \leq 1.2M_0 & -2M_0 \leq M_{28} \leq 2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_5 \leq 2M_0 & -1.2M_0 \leq M_{29} \leq 1.2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_6 \leq 2M_0 & -2M_0 \leq M_{30} \leq 2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_7 \leq 1.2M_0 & -1.2M_0 \leq M_{31} \leq 1.2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_8 \leq 2M_0 & -2M_0 \leq M_{32} \leq 2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_9 \leq 1.2M_0 & -2M_0 \leq M_{33} \leq 2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{10} \leq 1.2M_0 & -1.2M_0 \leq M_{34} \leq 1.2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{11} \leq 1.2M_0 & -2M_0 \leq M_{35} \leq 2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_{12} \leq 2M_0 & -1.2M_0 \leq M_{36} \leq 1.2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{13} \leq 1.2M_0 & -2M_0 \leq M_{37} \leq 2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_{14} \leq 2M_0 & -2M_0 \leq M_{38} \leq 2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{15} \leq 1.2M_0 & -1.2M_0 \leq M_{39} \leq 1.2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_{16} \leq 2M_0 & -2M_0 \leq M_{40} \leq 2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{17} \leq 1.2M_0 & -2M_0 \leq M_{41} \leq 2M_0 \\
& -2M_0 \leq M_{18} \leq 2M_0 & -2M_0 \leq M_{42} \leq 2M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{19} \leq 1.2M_0 & -1.5M_0 \leq M_{43} \leq 1.5M_0 \\
& -2M_0 \leq M_{20} \leq 2M_0 & -1.5M_0 \leq M_{44} \leq 1.5M_0 \\
& -2M_0 \leq M_{21} \leq 2M_0 & -1.5M_0 \leq M_{45} \leq 1.5M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{22} \leq 1.2M_0 & -1.5M_0 \leq M_{46} \leq 1.5M_0 \\
& -1.2M_0 \leq M_{23} \leq 1.2M_0 & -1.5M_0 \leq M_{47} \leq 1.5M_0 \\
& -2M_0 \leq M_{24} \leq 2M_0 & -1.5M_0 \leq M_{48} \leq 1.5M_0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
-1.5M_0 \leq M_{115} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{116} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{117} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{118} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{119} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{120} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{121} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{122} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{123} \leq 1.5M_0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
-1.5M_0 \leq M_{124} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{125} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{126} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{127} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{128} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{129} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{130} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{131} \leq 1.5M_0 \\
-1.5M_0 \leq M_{132} \leq 1.5M_0
\end{aligned}$$

Yukarıda yazılan moment denge denklemleri ve kısıtlayıcı denklemler üzerinde “ $M_i/M_0=m_i$ ”, “ $m_i=X_i-K_i$ ” ve $PL^2/M_0=f =X_{133}$ dönüşümleri yapılarak denklemler boyutsuz hale getirilir. Boyutsuz hale getirilen sonuç denklemler aşağıda verilmektedir.

Moment denge denklemleri;

$$X_2+X_3+X_4=5.2$$

$$X_5+X_6+X_7=5.2$$

$$X_8+X_9=3.2$$

$$X_{10}+X_{11}+X_{12}=4.4$$

$$X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}=6.4$$

$$X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20}=6.4$$

$$X_{22}+X_{23}+X_{24}=4.4$$

$$X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}=6.4$$

$$X_{29}+X_{30}+X_{31}+X_{32}=6.4$$

$$X_{34}+X_{35}=3.2$$

$$X_{36}+X_{37}+X_{38}=5.2$$

$$X_{39}+X_{40}+X_{41}=5.2$$

$$-X_6-X_8-X_{12}-X_{14}-X_{24}-X_{26}-X_{35}-X_{37}-6.075X_{133}=-16$$

$$-X_3-X_5-X_{16}-X_{18}-X_{28}-X_{30}-X_{38}-X_{40}-10.125X_{133}=-16$$

$$-X_1-X_2-X_{20}-X_{21}-X_{32}-X_{33}-X_{41}-X_{42}-12.150X_{133}=-16$$

-1.425X4+0.075X17+1.5X43-0.3796875X133=0.63
-1.275X4+0.225X17+1.5X44-0.9871875X133=0.99
-1.125X4+0.375X17+1.5X45-1.4428125X133=1.35
-0.975X4+0.525X17+1.5X46-1.7465625X133=1.71
-0.825X4+0.675X17+1.5X47-1.8984375X133=2.07
-0.675X4+0.825X17+1.5X48-1.8984375X133=2.43
-0.525X4+0.975X17+1.5X49-1.7465625X133=2.79
-0.375X4+1.125X17+1.5X50-1.4428125X133=3.15
-0.225X4+1.275X17+1.5X51-0.9871875X133=3.51
-0.075X4+1.425X17+1.5X52-0.3796875X133=3.87
-1.425X7+0.075X13+1.5X53-0.3796875X133=0.63
-1.275X7+0.225X13+1.5X54-0.9871875X133=0.99
-1.125X7+0.375X13+1.5X55-1.4428125X133=1.35
-0.975X7+0.525X13+1.5X56-1.7465625X133=1.71
-0.825X7+0.675X13+1.5X57-1.8984375X133=2.07
-0.675X7+0.825X13+1.5X58-1.8984375X133=2.43
-0.525X7+0.975X13+1.5X59-1.7465625X133=2.79
-0.375X7+1.125X13+1.5X60-1.4428125X133=3.15
-0.225X7+1.275X13+1.5X61-0.9871875X133=3.51
-0.075X7+1.425X13+1.5X62-0.3796875X133=3.87
-1.425X9+0.075X10+1.5X63-0.3796875X133=0.63
-1.275X9+0.225X10+1.5X64-0.9871875X133=0.99
-1.125X9+0.375X10+1.5X65-1.4428125X133=1.35
-0.975X9+0.525X10+1.5X66-1.7465625X133=1.71
-0.825X9+0.675X10+1.5X67-1.8984375X133=2.07
-0.675X9+0.825X10+1.5X68-1.8984375X133=2.43
-0.525X9+0.975X10+1.5X69-1.7465625X133=2.79
-0.375X9+1.125X10+1.5X70-1.4428125X133=3.15
-0.225X9+1.275X10+1.5X71-0.9871875X133=3.51
-0.075X9+1.425X10+1.5X72-0.3796875X133=3.87
-1.425X11+0.075X22+1.5X73-0.3796875X133=0.63
-1.275X11+0.225X22+1.5X74-0.9871875X133=0.99
-1.125X11+0.375X22+1.5X75-1.4428125X133=1.35

-0.975X11+0.525X22+1.5X76-1.7465625X133=1.71
-0.825X11+0.675X22+1.5X77-1.8984375X133=2.07
-0.675X11+0.825X22+1.5X78-1.8984375X133=2.43
-0.525X11+0.975X22+1.5X79-1.7465625X133=2.79
-0.375X11+1.125X22+1.5X80-1.4428125X133=3.15
-0.225X11+1.275X22+1.5X81-0.9871875X133=3.51
-0.075X11+1.425X22+1.5X82-0.3796875X133=3.87
-1.425X15+0.075X25+1.5X83-0.3796875X133=0.63
-1.275X15+0.225X25+1.5X84-0.9871875X133=0.99
-1.125X15+0.375X25+1.5X85-1.4428125X133=1.35
-0.975X15+0.525X25+1.5X86-1.7465625X133=1.71
-0.825X15+0.675X25+1.5X87-1.8984375X133=2.07
-0.675X15+0.825X25+1.5X88-1.8984375X133=2.43
-0.525X15+0.975X25+1.5X89-1.7465625X133=2.79
-0.375X15+1.125X25+1.5X90-1.4428125X133=3.15
-0.225X15+1.275X25+1.5X91-0.9871875X133=3.51
-0.075X15+1.425X25+1.5X92-0.3796875X133=3.87
-1.425X19+0.075X29+1.5X93-0.3796875X133=0.63
-1.275X19+0.225X29+1.5X94-0.9871875X133=0.99
-1.125X19+0.375X29+1.5X95-1.4428125X133=1.35
-0.975X19+0.525X29+1.5X96-1.7465625X133=1.71
-0.825X19+0.675X29+1.5X97-1.8984375X133=2.07
-0.675X19+0.825X29+1.5X98-1.8984375X133=2.43
-0.525X19+0.975X29+1.5X99-1.7465625X133=2.79
-0.375X19+1.125X29+1.5X100-1.4428125X133=3.15
-0.225X19+1.275X29+1.5X101-0.9871875X133=3.51
-0.075X19+1.425X29+1.5X102-0.3796875X133=3.87
-1.425X23+0.075X34+1.5X103-0.3796875X133=0.63
-1.275X23+0.225X34+1.5X104-0.9871875X133=0.99
-1.125X23+0.375X34+1.5X105-1.4428125X133=1.35
-0.975X23+0.525X34+1.5X106-1.7465625X133=1.71
-0.825X23+0.675X34+1.5X107-1.8984375X133=2.07
-0.675X23+0.825X34+1.5X108-1.8984375X133=2.43

$$\begin{aligned}
& -0.525X_{23}+0.975X_{34}+1.5X_{109}-1.7465625X_{133}=2.79 \\
& -0.375X_{23}+1.125X_{34}+1.5X_{110}-1.4428125X_{133}=3.15 \\
& -0.225X_{23}+1.275X_{34}+1.5X_{111}-0.9871875X_{133}=3.51 \\
& -0.075X_{23}+1.425X_{34}+1.5X_{112}-0.3796875X_{133}=3.87 \\
& -1.425X_{27}+0.075X_{36}+1.5X_{113}-0.3796875X_{133}=0.63 \\
& -1.275X_{27}+0.225X_{36}+1.5X_{114}-0.9871875X_{133}=0.99 \\
& -1.125X_{27}+0.375X_{36}+1.5X_{115}-1.4428125X_{133}=1.35 \\
& -0.975X_{27}+0.525X_{36}+1.5X_{116}-1.7465625X_{133}=1.71 \\
& -0.825X_{27}+0.675X_{36}+1.5X_{117}-1.8984375X_{133}=2.07 \\
& -0.675X_{27}+0.825X_{36}+1.5X_{118}-1.8984375X_{133}=2.43 \\
& -0.525X_{27}+0.975X_{36}+1.5X_{119}-1.7465625X_{133}=2.79 \\
& -0.375X_{27}+1.125X_{36}+1.5X_{120}-1.4428125X_{133}=3.15 \\
& -0.225X_{27}+1.275X_{36}+1.5X_{121}-0.9871875X_{133}=3.51 \\
& -0.075X_{27}+1.425X_{36}+1.5X_{122}-0.3796875X_{133}=3.87 \\
& -1.425X_{31}+0.075X_{39}+1.5X_{123}-0.3796875X_{133}=0.63 \\
& -1.275X_{31}+0.225X_{39}+1.5X_{124}-0.9871875X_{133}=0.99 \\
& -1.125X_{31}+0.375X_{39}+1.5X_{125}-1.4428125X_{133}=1.35 \\
& -0.975X_{31}+0.525X_{39}+1.5X_{126}-1.7465625X_{133}=1.71 \\
& -0.825X_{31}+0.675X_{39}+1.5X_{127}-1.8984375X_{133}=2.07 \\
& -0.675X_{31}+0.825X_{39}+1.5X_{128}-1.8984375X_{133}=2.43 \\
& -0.525X_{31}+0.975X_{39}+1.5X_{129}-1.7465625X_{133}=2.79 \\
& -0.375X_{31}+1.125X_{39}+1.5X_{130}-1.4428125X_{133}=3.15 \\
& -0.225X_{31}+1.275X_{39}+1.5X_{131}-0.9871875X_{133}=3.51 \\
& -0.075X_{31}+1.425X_{39}+1.5X_{132}-0.3796875X_{133}=3.87
\end{aligned}$$

Kısıtlayıcı denklemler;

$X_1 < 4$	$X_7 < 2.4$	$X_{13} < 2.4$	$X_{19} < 2.4$
$X_2 < 4$	$X_8 < 4$	$X_{14} < 4$	$X_{20} < 4$
$X_3 < 4$	$X_9 < 2.4$	$X_{15} < 2.4$	$X_{21} < 4$
$X_4 < 2.4$	$X_{10} < 2.4$	$X_{16} < 4$	$X_{22} < 2.4$
$X_5 < 4$	$X_{11} < 2.4$	$X_{17} < 2.4$	$X_{23} < 2.4$
$X_6 < 4$	$X_{12} < 4$	$X_{18} < 4$	$X_{24} < 4$

X25<2.4	X52<3	X79<3	X106<3
X26<4	X53<3	X80<3	X107<3
X27<2.4	X54<3	X81<3	X108<3
X28<4	X55<3	X82<3	X109<3
X29<2.4	X56<3	X83<3	X110<3
X30<4	X57<3	X84<3	X111<3
X31<2.4	X58<3	X85<3	X112<3
X32<4	X59<3	X86<3	X113<3
X33<4	X60<3	X87<3	X114<3
X34<2.4	X61<3	X88<3	X115<3
X35<4	X62<3	X89<3	X116<3
X36<2.4	X63<3	X90<3	X117<3
X37<4	X64<3	X91<3	X118<3
X38<4	X65<3	X92<3	X119<3
X39<2.4	X66<3	X93<3	X120<3
X40<4	X67<3	X94<3	X121<3
X41<4	X68<3	X95<3	X122<3
X42<4	X69<3	X96<3	X123<3
X43<3	X70<3	X97<3	X124<3
X44<3	X71<3	X98<3	X125<3
X45<3	X72<3	X99<3	X126<3
X46<3	X73<3	X100<3	X127<3
X47<3	X74<3	X101<3	X128<3
X48<3	X75<3	X102<3	X129<3
X49<3	X76<3	X103<3	X130<3
X50<3	X77<3	X104<3	X131<3
X51<3	X78<3	X105<3	X132<3

4.3.2 Denge Denklemlerinin Çözümü

Hazırlanan bu denklem sistemi LINDO doğrusal programlama programı ile çözümlenerek X_i değerleri elde edilmiştir [40]. Çözüm maksimum programı olarak ele

alınmıştır. Denklem takımının çözümünden elde edilen X_i değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan m_i boyutsuz moment değerleri aşağıda verilmektedir.

$$f=PL^2/M_0= X133=0.996584$$

$X_1=0.000000$	$m_1 = X_1-K_1= 0.00-2.00 = -2.00 *$
$X_2=0.000000$	$m_2 = -2.00 *$
$X_3=2.878119$	$m_3 = 0.878119$
$X_4=2.321881$	$m_4 = 1.121881$
$X_5=0.000000$	$m_5 = -2.00 *$
$X_6=2.878119$	$m_6 = 0.878119$
$X_7=2.321881$	$m_7 = 1.121881$
$X_8=0.878119$	$m_8 = -1.121881$
$X_9=2.321881$	$m_9 = 1.121881$
$X_{10}=2.400000$	$m_{10} = 1.20 *$
$X_{11}=2.000000$	$m_{11} = 0.80$
$X_{12}=0.000000$	$m_{12} = -2.00 *$
$X_{13}=2.400000$	$m_{13} = 1.20 *$
$X_{14}=1.678119$	$m_{14} = -0.321881$
$X_{15}=2.321881$	$m_{15} = 1.121881$
$X_{16}=0.000000$	$m_{16} = -2.00 *$
$X_{17}=2.400000$	$m_{17} = 1.20 *$
$X_{18}=0.000000$	$m_{18} = -2.00 *$
$X_{19}=2.321881$	$m_{19} = 1.121881$
$X_{20}=1.678119$	$m_{20} = -0.321881$
$X_{21}=0.000000$	$m_{21} = -2.00 *$
$X_{22}=2.078119$	$m_{22} = 0.878119$
$X_{23}=2.321881$	$m_{23} = 1.121881$
$X_{24}=0.000000$	$m_{24} = -2.00 *$
$X_{25}=2.400000$	$m_{25} = 1.20 *$
$X_{26}=1.678119$	$m_{26} = -0.321881$
$X_{27}=2.321881$	$m_{27} = 1.121881$
$X_{28}=0.000000$	$m_{28} = -2.00 *$

X29=2.400000	m ₂₉ = 1.20 *
X30=1.678119	m ₃₀ = -0.321881
X31=2.321881	m ₃₁ = 1.121881
X32=0.000000	m ₃₂ = -2.00 *
X33=0.000000	m ₃₃ = -2.00 *
X34=2.400000	m ₃₄ = 1.20 *
X35=0.800000	m ₃₅ = -1.20
X36=2.400000	m ₃₆ = 1.20 *
X37=2.033273	m ₃₇ = 0.033273
X38=0.766727	m ₃₈ = -1.233273
X39=2.400000	m ₃₉ = 1.20 *
X40=0.586619	m ₄₀ = -1.413381
X41=2.213382	m ₄₁ = 0.213382
X42=0.000000	m ₄₂ = -2.00 *
X43=2.758047	m ₄₃ = 1.258047
X44=2.929476	m ₄₄ = 1.429476
X45=3.000000	m ₄₅ = 1.50 *
X46=2.969620	m ₄₆ = 1.46962
X47=2.838336	m ₄₇ = 1.338336
X48=2.606148	m ₄₈ = 1.106148
X49=2.273056	m ₄₉ = 0.773056
X50=0.839060	m ₅₀ = 0.339060
X51=1.304159	m ₅₁ = -0.195841
X52=0.668355	m ₅₂ = -0.831645
X53 =2.758047	m ₅₃ = 1.258047
X54=2.929476	m ₅₄ = 1.429476
X55=3.000000	m ₅₅ = 1.50 *
X56=2.969620	m ₅₆ = 1.46962
X57=2.838336	m ₅₇ = 1.338336
X58=2.606148	m ₅₈ = 1.106148
X59=2.273056	m ₅₉ = 0.773056
X60=1.839060	m ₆₀ = 0.339060
X61=1.304159	m ₆₁ = -0.195841

X62=0.668355	m ₆₂ = -0.831645
X63=2.758047	m ₆₃ = 1.258047
X64=2.929476	m ₆₄ = 1.429476
X65= 3.000000	m ₆₅ = 1.50 *
X66=2.969620	m ₆₆ = 1.46962
X67=2.838336	m ₆₇ = 1.338336
X68=2.606148	m ₆₈ = 1.106148
X69=2.273056	m ₆₉ = 0.773056
X70=1.839060	m ₇₀ = 0.339060
X71=1.304159	m ₇₁ = -0.195841
X72=0.668355	m ₇₂ = -0.831645
X73=2.468354	m ₇₃ = 0.968354
X74=2.704159	m ₇₄ = 1.204159
X75=2.839060	m ₇₅ = 1.339060
X76=2.873056	m ₇₆ = 1.373056
X77=2.806148	m ₇₇ = 1.306148
X78=2.638336	m ₇₈ = 1.138336
X79=2.369620	m ₇₉ = 0.869620
X80=2.000000	m ₈₀ = 0.50
X81=1.529476	m ₈₁ = 0.029476
X82=0.958047	m ₈₂ = -0.541953
X83=2.758047	m ₈₃ = 1.258047
X84=2.929476	m ₈₄ = 1.429476
X85=3.000000	m ₈₅ = 1.50 *
X86=2.969620	m ₈₆ = 1.469620
X87=2.838336	m ₈₇ = 1.338336
X88=2.606148	m ₈₈ = 1.106148
X89=2.273056	m ₈₉ = 0.773056
X90=1.839060	m ₉₀ = 0.339060
X91=1.304159	m ₉₁ = -0.195841
X92= 0.668355	m ₉₂ = -0.831645
X93= 2.758047	m ₉₃ = 1.258047
X94= 2.929476	m ₉₄ = 1.429476

X95= 3.000000	m ₉₅ = 1.50 *
X96= 2.969620	m ₉₆ = 1.469620
X97= 2.838336	m ₉₇ = 1.338336
X98=2.606148	m ₉₈ = 1.106148
X99=2.273056	m ₉₉ = 0.773056
X100=1.839060	m ₁₀₀ = 0.339060
X101=1.304159	m ₁₀₁ = -0.195841
X102=0.668355	m ₁₀₂ = -0.831645
X103=2.758047	m ₁₀₃ = 1.258047
X104=2.929476	m ₁₀₄ = 1.429476
X105=3.000000	m ₁₀₅ = 1.50 *
X106=2.969620	m ₁₀₆ = 1.469620
X107=2.838336	m ₁₀₇ = 1.338336
X108=2.606148	m ₁₀₈ = 1.106148
X109=2.273056	m ₁₀₉ = 0.773056
X110=1.839060	m ₁₁₀ = 0.339060
X111=1.304159	m ₁₁₁ = -0.195841
X112=0.668355	m ₁₁₂ = -0.831645
X113=2.758047	m ₁₁₃ = 1.258047
X114=2.929476	m ₁₁₄ = 1.429476
X115=3.000000	m ₁₁₅ = 1.50 *
X116=2.969620	m ₁₁₆ = 1.469620
X117=2.838336	m ₁₁₇ = 1.338336
X118=2.606148	m ₁₁₈ = 1.106148
X119=2.273056	m ₁₁₉ = 0.773056
X120=1.839060	m ₁₂₀ = 0.339060
X121=1.304159	m ₁₂₁ = -0.195841
X122=0.668355	m ₁₂₂ = -0.831645
X123=2.758047	m ₁₂₃ = 1.258047
X124=2.929476	m ₁₂₄ = 1.429476
X125=3.000000	m ₁₂₅ = 1.50 *
X126=2.969620	m ₁₂₆ = 1.469620
X127=2.838336	m ₁₂₇ = 1.338336

X128=2.606148	$m_{128} = 1.106148$
X129=2.273056	$m_{129} = 0.773056$
X130=1.839060	$m_{130} = 0.773056$
X131=1.304159	$m_{131} = -0.195841$
X132=0.668355	$m_{132} = -0.831645$

Hesaplamış olduğumuz boyutsuz moment değerleri M_0 kesit taşıma momenti ile çarpıldığı zaman ($M_i = m_i \cdot M_0$) o kesitteki gerçek moment değeri elde edilmiş olur. Şekil 4.7 de prefabrike betonarme çerçeveye ait moment diyagramı gösterilmektedir. Moment diyagramında, M_0 kesit taşıma moment değerine ulaşan moment değerlerinin bulunduğu kesitlere mafsall konulursa sisteme ait Shake-Down durumu elde edilir. Bu durum mekanizma durumu olarak dikkate alınıp, Virtüel İş Teoremi uygulanırsa, yine göçme yükü parametresi " $f = PL^2/M_0$ " değeri yaklaşık olarak elde edilir.

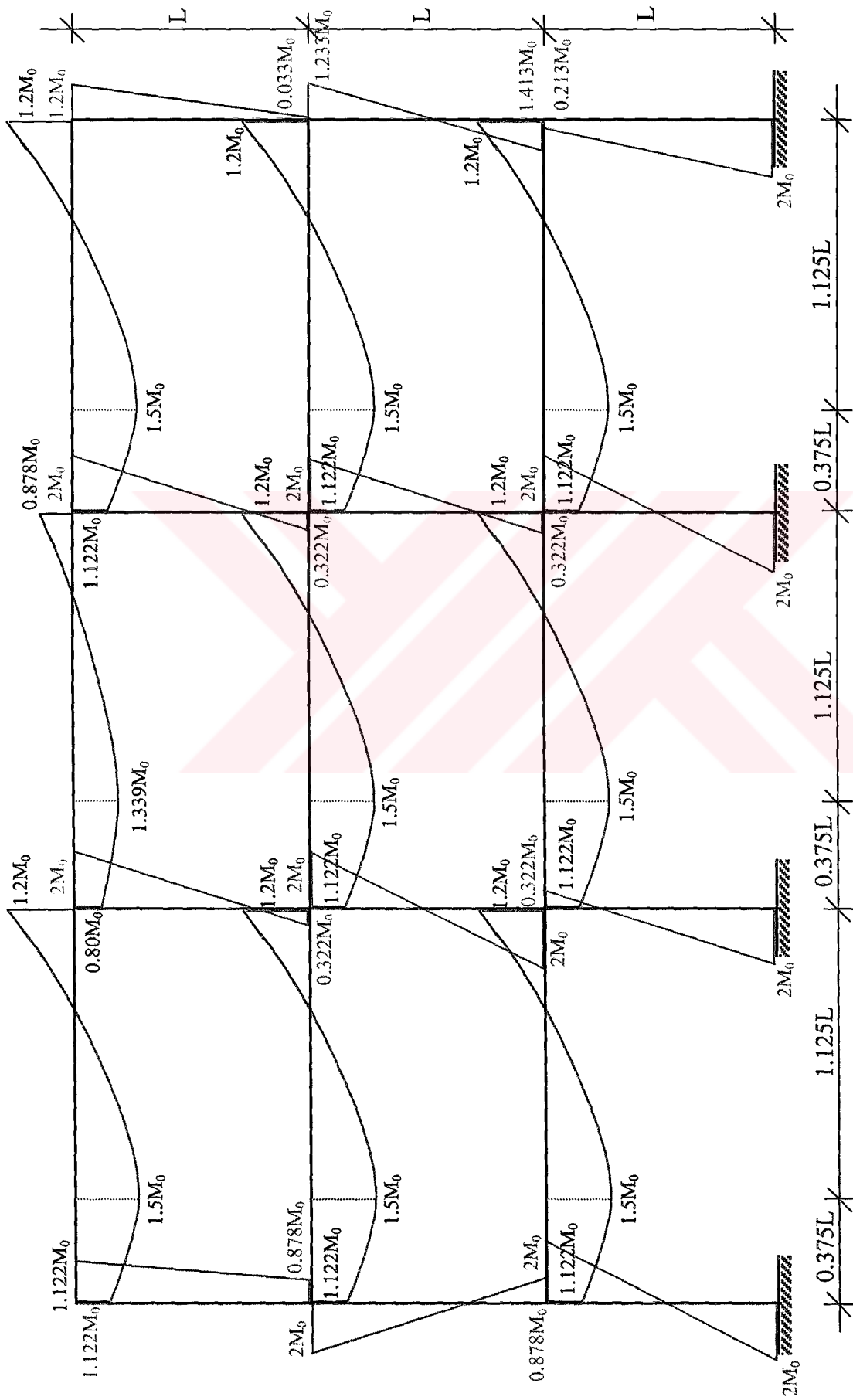
Göz önüne alınan çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler ve mekanizma durumu Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 da gösterilmektedir.

4.3.3 Virtüel İş Teoremi İle Hesabın Kontrolü

Bu bölümde plastik mafsalların oluştuğu kesitler ve dönme açılarının gösterildiği Şekil 4.9 deki mekanizma durumu gözönüne alınarak, Virtüel İş Prensipleri gereğince dış işlerin iç işlere eşitliği yazılarak göçme yükü katsayısı olan " $PL^2/M_0 = f$ " değeri hesaplanacaktır.

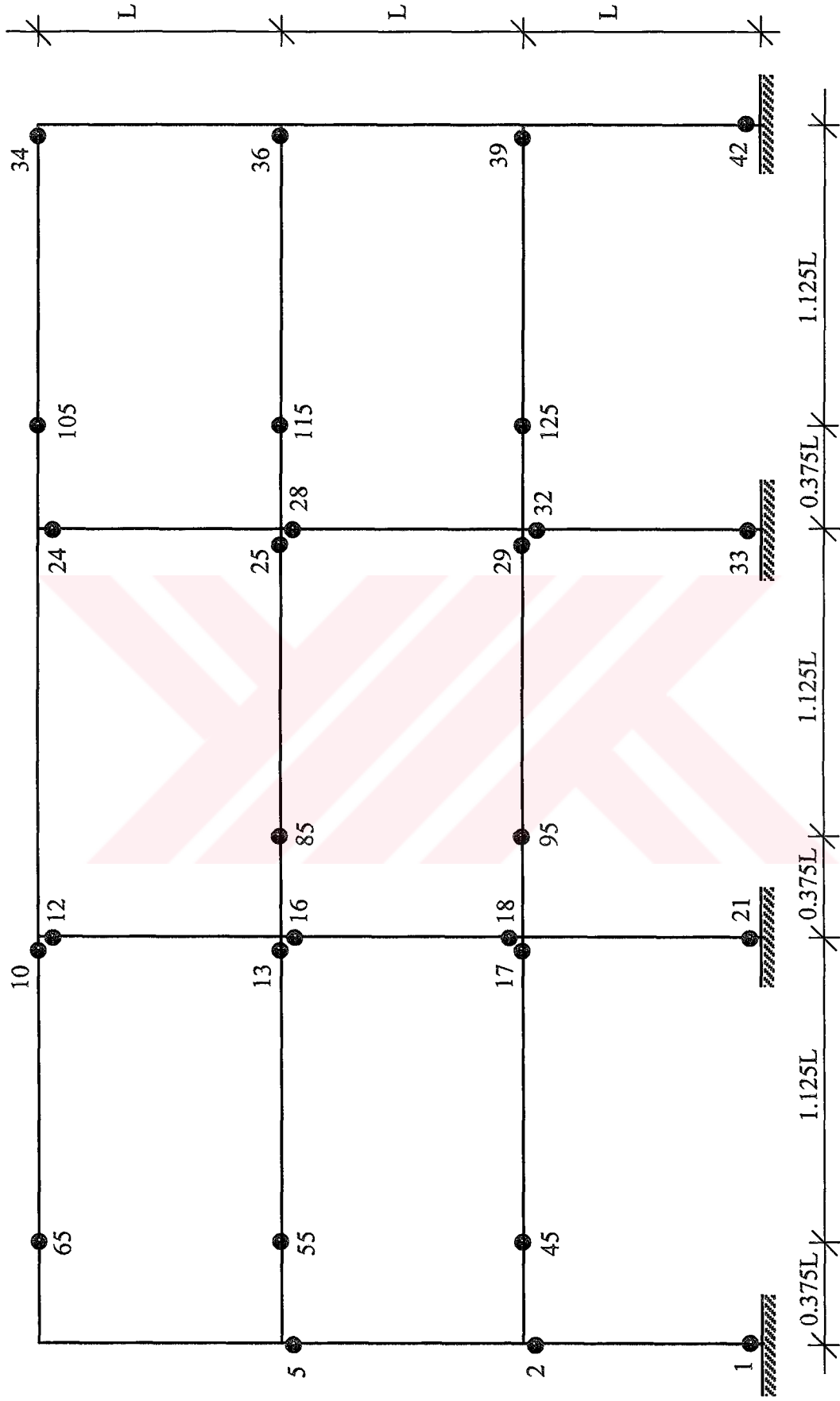
Dış İşler:

$$M_e = (6.075PL \times 6\theta L + 4.050PL \times 5\theta L + 2.025PL \times 3\theta L) + \frac{6.75}{10} PL \times 5.70\theta L + 4\left(\frac{6.75}{10} PL \times 1.90\theta L\right) + 2\left(\frac{6.75}{10} PL \times 3.80\theta L\right) + \frac{6.75}{10} PL \times 17.860\theta L$$

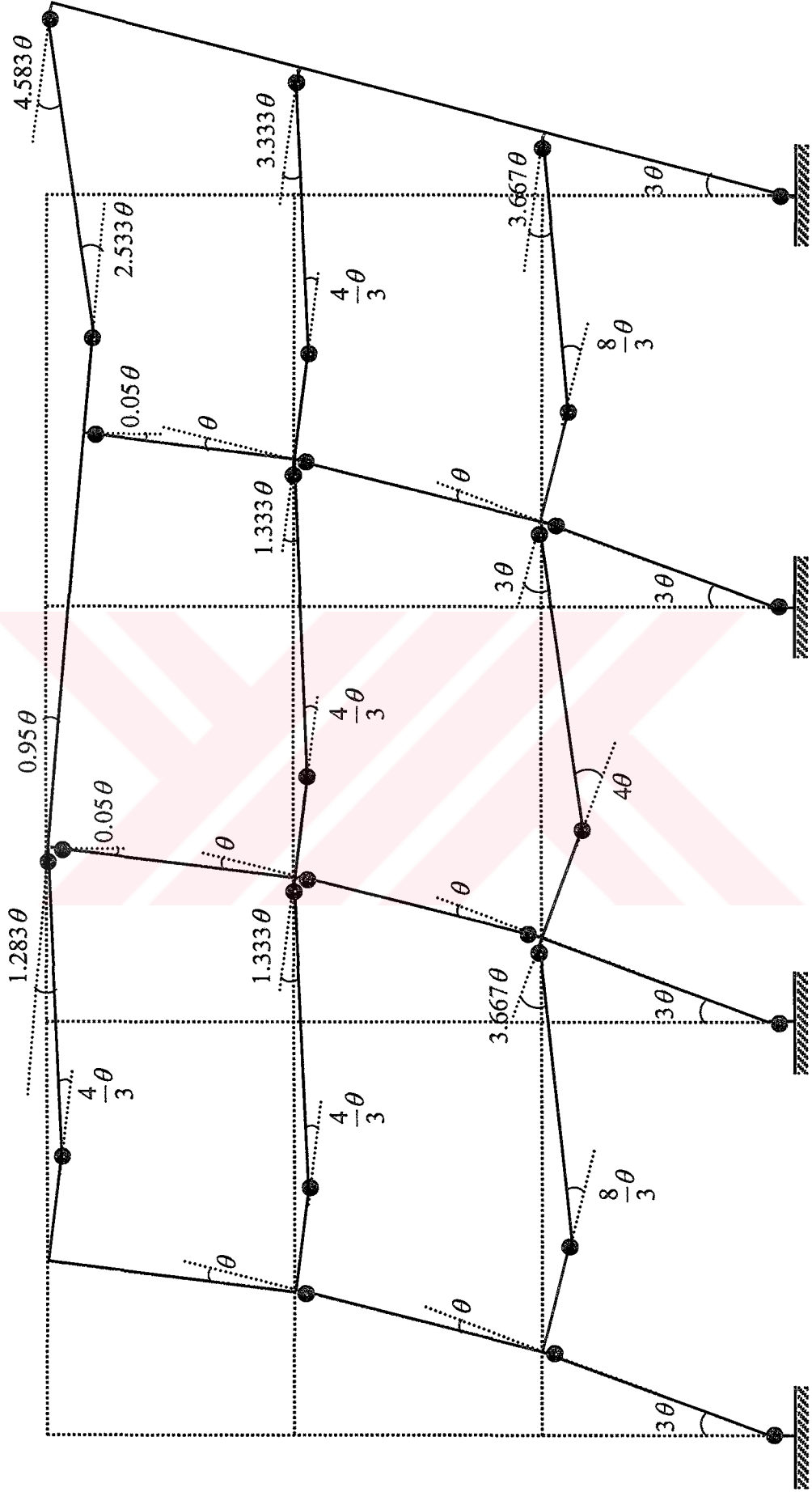


M₀ Kolon uç momentleri
M₀ Kiriş açıklık ve uç momentleri

Şekil 4.7 Prefabrike çerçeveye ait moment diyagramı



Şekil 4.8 Prefabrikte çerçevede mafsalların oluştugu kesitler



Şekil 4.9 Prefabriğe çerçeve ait mekanizma durumu

$$M_e = 62.775 PL^2 \theta + 3.8475 PL^2 \theta + 5.13 PL^2 \theta + 5.13 PL^2 \theta + 12.0555 PL^2 \theta$$

$$M_e = 88.938 PL^2 \theta$$

İç İşler:

$$M_i = 2M_0(4 \times 3 \theta + 2 \times 0.05 \theta + 6 \theta) + 1.5M_0(4 \times \frac{4}{3} \theta + 2 \times \frac{8}{3} \theta + 4 \theta + 2.533 \theta) + 1.2M_0(1.283 \theta + 2 \times 1.333 \theta + 3.667 \theta + 3 \theta + 4.583 \theta + 3.333 \theta + 3.667 \theta)$$

$$M_i = 36.2 M_0 \theta + 25.8 M_0 \theta + 26.64 M_0 \theta$$

$$M_i = 88.64 M_0 \theta$$

Dış işlerin iç işlere eşitliğinden;

$$M_e = M_i \quad \Rightarrow \quad 88.938 PL^2 \theta = 88.64 M_0 \theta$$

$$PL^2/M_0 = f = 0.996649$$

olarak elde edilir. Virtüel İş Prensibi ile elde edilen $PL^2/M_0 = f = 0.996649$ değerinin, moment denge denklemleri ile kısıtlayıcı denklemlerin göz önüne alınması ile yapılan çözümden elde edilen $PL^2/M_0 = f = 0.996584$ değeri ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülür.

4.4 Monolitik Esas Sistemde Çözüm

Monolitik sistemlerde kiriş-kolon birleşimleri rijit birleşimler olduğu için çözüm yapılırken taşıma momentlerinde her hangi bir azaltılmaya gidilmeyecek ve kiriş ile kiriş mesnetlerinde kesit taşıma momentlerinin birbirine eşit ve $1.5M_0$ olduğu kabul edilerek çözüm yapılacaktır.

4.4.1 Denge Denklemlerinin Yazılması

Göz önüne alınan yapı çerçevesinin hesaplarının monolitik çerçeve hesabı olarak yapıldığı düşünülerek, yani kiriş-kolon birleşim noktalarının tam rijit olduğu ve prefabrike birleşimden dolayı herhangi bir moment taşıma kaybının olmadığı varsayımı ile yeni bir hesap yapılacaktır. Bu hesapta kiriş ve kiriş mesnetlerindeki kesit taşıma momentinin birbirine eşit ve $1.5M_0$ olduğu kabul edilecektir.

Yeni durum için $M_i/M_0=m_i$, $m_i=X_i-K_i$ ve $PL^2/M_0=f=X_{133}$ dönüşümleri yapılarak boyutsuz hale getirilen denge denklemleri ile kısıtlayıcı denklemler yazılırsa;

$$X_2+X_3+X_4=5.5$$

$$X_5+X_6+X_7=5.5$$

$$X_8+X_9=3.5$$

$$X_{10}+X_{11}+X_{12}=5$$

$$X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}=7$$

$$X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20}=7$$

$$X_{22}+X_{23}+X_{24}=5$$

$$X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}=7$$

$$X_{29}+X_{30}+X_{31}+X_{32}=7$$

$$X_{34}+X_{35}=3.5$$

$$X_{36}+X_{37}+X_{38}=5.5$$

$$X_{39}+X_{40}+X_{41}=5.5$$

$$-X_6-X_8-X_{12}-X_{14}-X_{24}-X_{26}-X_{35}-X_{37}-6.075X_{133}=-16$$

$$-X_3-X_5-X_{16}-X_{18}-X_{28}-X_{30}-X_{38}-X_{40}-10.125X_{133}=-16$$

$$-X_1-X_2-X_{20}-X_{21}-X_{32}-X_{33}-X_{41}-X_{42}-12.150X_{133}=-16$$

$$-1.425X_4+0.075X_{17}+1.5X_{43}-0.3796875X_{133}=0.225$$

$$-1.275X_4+0.225X_{17}+1.5X_{44}-0.9871875X_{133}=0.675$$

$$-1.125X_4+0.375X_{17}+1.5X_{45}-1.4428125X_{133}=1.125$$

$$-0.975X_4+0.525X_{17}+1.5X_{46}-1.7465625X_{133}=1.575$$

$$-0.825X_4+0.675X_{17}+1.5X_{47}-1.8984375X_{133}=2.025$$

$$-0.675X_4+0.825X_{17}+1.5X_{48}-1.8984375X_{133}=2.475$$

-0.525X4+0.975X17+1.5X49-1.7465625X133=2.925
-0.375X4+1.125X17+1.5X50-1.4428125X133=3.375
-0.225X4+1.275X17+1.5X51-0.9871875X133=3.825
-0.075X4+1.425X17+1.5X52-0.3796875X133=4.275
-1.425X7+0.075X13+1.5X53-0.3796875X133=0.225
-1.275X7+0.225X13+1.5X54-0.9871875X133=0.675
-1.125X7+0.375X13+1.5X55-1.4428125X133=1.125
-0.975X7+0.525X13+1.5X56-1.7465625X133=1.575
-0.825X7+0.675X13+1.5X57-1.8984375X133=2.025
-0.675X7+0.825X13+1.5X58-1.8984375X133=2.475
-0.525X7+0.975X13+1.5X59-1.7465625X133=2.925
-0.375X7+1.125X13+1.5X60-1.4428125X133=3.375
-0.225X7+1.275X13+1.5X61-0.9871875X133=3.825
-0.075X7+1.425X13+1.5X62-0.3796875X133=4.275
-1.425X9+0.075X10+1.5X63-0.3796875X133=0.225
-1.275X9+0.225X10+1.5X64-0.9871875X133=0.675
-1.125X9+0.375X10+1.5X65-1.4428125X133=1.125
-0.975X9+0.525X10+1.5X66-1.7465625X133=1.575
-0.825X9+0.675X10+1.5X67-1.8984375X133=2.025
-0.675X9+0.825X10+1.5X68-1.8984375X133=2.475
-0.525X9+0.975X10+1.5X69-1.7465625X133=2.925
-0.375X9+1.125X10+1.5X70-1.4428125X133=3.375
-0.225X9+1.275X10+1.5X71-0.9871875X133=3.825
-0.075X9+1.425X10+1.5X72-0.3796875X133=4.275
-1.425X11+0.075X22+1.5X73-0.3796875X133=0.225
-1.275X11+0.225X22+1.5X74-0.9871875X133=0.675
-1.125X11+0.375X22+1.5X75-1.4428125X133=1.125
-0.975X11+0.525X22+1.5X76-1.7465625X133=1.575
-0.825X11+0.675X22+1.5X77-1.8984375X133=2.025
-0.675X11+0.825X22+1.5X78-1.8984375X133=2.475
-0.525X11+0.975X22+1.5X79-1.7465625X133=2.925
-0.375X11+1.125X22+1.5X80-1.4428125X133=3.375
-0.225X11+1.275X22+1.5X81-0.9871875X133=3.825

-0.075X11+1.425X22+1.5X82-0.3796875X133=4.275
-1.425X15+0.075X25+1.5X83-0.3796875X133=0.225
-1.275X15+0.225X25+1.5X84-0.9871875X133=0.675
-1.125X15+0.375X25+1.5X85-1.4428125X133=1.125
-0.975X15+0.525X25+1.5X86-1.7465625X133=1.575
-0.825X15+0.675X25+1.5X87-1.8984375X133=2.025
-0.675X15+0.825X25+1.5X88-1.8984375X133=2.475
-0.525X15+0.975X25+1.5X89-1.7465625X133=2.925
-0.375X15+1.125X25+1.5X90-1.4428125X133=3.375
-0.225X15+1.275X25+1.5X91-0.9871875X133=3.825
-0.075X15+1.425X25+1.5X92-0.3796875X133=4.275
-1.425X19+0.075X29+1.5X93-0.3796875X133=0.225
-1.275X19+0.225X29+1.5X94-0.9871875X133=0.675
-1.125X19+0.375X29+1.5X95-1.4428125X133=1.125
-0.975X19+0.525X29+1.5X96-1.7465625X133=1.575
-0.825X19+0.675X29+1.5X97-1.8984375X133=2.025
-0.675X19+0.825X29+1.5X98-1.8984375X133=2.475
-0.525X19+0.975X29+1.5X99-1.7465625X133=2.925
-0.375X19+1.125X29+1.5X100-1.4428125X133=3.375
-0.225X19+1.275X29+1.5X101-0.9871875X133=3.825
-0.075X19+1.425X29+1.5X102-0.3796875X133=4.275
-1.425X23+0.075X34+1.5X103-0.3796875X133=0.225
-1.275X23+0.225X34+1.5X104-0.9871875X133=0.675
-1.125X23+0.375X34+1.5X105-1.4428125X133=1.125
-0.975X23+0.525X34+1.5X106-1.7465625X133=1.575
-0.825X23+0.675X34+1.5X107-1.8984375X133=2.025
-0.675X23+0.825X34+1.5X108-1.8984375X133=2.475
-0.525X23+0.975X34+1.5X109-1.7465625X133=2.925
-0.375X23+1.125X34+1.5X110-1.4428125X133=3.375
-0.225X23+1.275X34+1.5X111-0.9871875X133=3.825
-0.075X23+1.425X34+1.5X112-0.3796875X133=4.275
-1.425X27+0.075X36+1.5X113-0.3796875X133=0.225
-1.275X27+0.225X36+1.5X114-0.9871875X133=0.675

$-1.125X27+0.375X36+1.5X115-1.4428125X133=1.125$
 $-0.975X27+0.525X36+1.5X116-1.7465625X133=1.575$
 $-0.825X27+0.675X36+1.5X117-1.8984375X133=2.025$
 $-0.675X27+0.825X36+1.5X118-1.8984375X133=2.475$
 $-0.525X27+0.975X36+1.5X119-1.7465625X133=2.925$
 $-0.375X27+1.125X36+1.5X120-1.4428125X133=3.375$
 $-0.225X27+1.275X36+1.5X121-0.9871875X133=3.825$
 $-0.075X27+1.425X36+1.5X122-0.3796875X133=4.275$
 $-1.425X31+0.075X39+1.5X123-0.3796875X133=0.225$
 $-1.275X31+0.225X39+1.5X124-0.9871875X133=0.675$
 $-1.125X31+0.375X39+1.5X125-1.4428125X133=1.125$
 $-0.975X31+0.525X39+1.5X126-1.7465625X133=1.575$
 $-0.825X31+0.675X39+1.5X127-1.8984375X133=2.025$
 $-0.675X31+0.825X39+1.5X128-1.8984375X133=2.475$
 $-0.525X31+0.975X39+1.5X129-1.7465625X133=2.925$
 $-0.375X31+1.125X39+1.5X130-1.4428125X133=3.375$
 $-0.225X31+1.275X39+1.5X131-0.9871875X133=3.825$
 $-0.075X31+1.425X39+1.5X132-0.3796875X133=4.275$

X1<4	X15<3	X29<3	X43<3
X2<4	X16<4	X30<4	X44<3
X3<4	X17<3	X31<3	X45<3
X4<3	X18<4	X32<4	X46<3
X5<4	X19<3	X33<4	X47<3
X6<4	X20<4	X34<3	X48<3
X7<3	X21<4	X35<4	X49<3
X8<4	X22<3	X36<3	X50<3
X9<3	X23<3	X37<4	X51<3
X10<3	X24<4	X38<4	X52<3
X11<3	X25<3	X39<3	X53<3
X12<4	X26<4	X40<4	X54<3
X13<3	X27<3	X41<4	X55<3
X14<4	X28<4	X42<4	X56<3

X57<3	X58<3	X59<3	X60<3
X61<3	X79<3	X97<3	X115<3
X62<3	X80<3	X98<3	X116<3
X63<3	X81<3	X99<3	X117<3
X64<3	X82<3	X100<3	X118<3
X65<3	X83<3	X101<3	X119<3
X66<3	X84<3	X102<3	X120<3
X67<3	X85<3	X103<3	X121<3
X68<3	X86<3	X104<3	X122<3
X69<3	X87<3	X105<3	X123<3
X70<3	X88<3	X106<3	X124<3
X71<3	X89<3	X107<3	X125<3
X72<3	X90<3	X108<3	X126<3
X73<3	X91<3	X109<3	X127<3
X74<3	X92<3	X110<3	X128<3
X75<3	X93<3	X111<3	X129<3
X76<3	X94<3	X112<3	X130<3
X77<3	X95<3	X113<3	X131<3
X78<3	X96<3	X114<3	X132<3

4.4.2 Denge Denklemlerinin Çözümü

Denklemler takımının LINDO doğrusal programlama programı ile çözümünden elde edilen X_i değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan m_i boyutsuz moment değerleri aşağıda verilmektedir.

$$f=PL^2/M_0= X133=1.071596$$

$$X1=0.000000$$

$$m_1 = X_1 - K_1 = 0.00 - 2.00 = -2.00 *$$

$$X2=0.000000$$

$$m_2 = -2.00 *$$

$$X3=2.874322$$

$$m_3 = 0.874322$$

$$X4=2.625678$$

$$m_4 = 1.125678$$

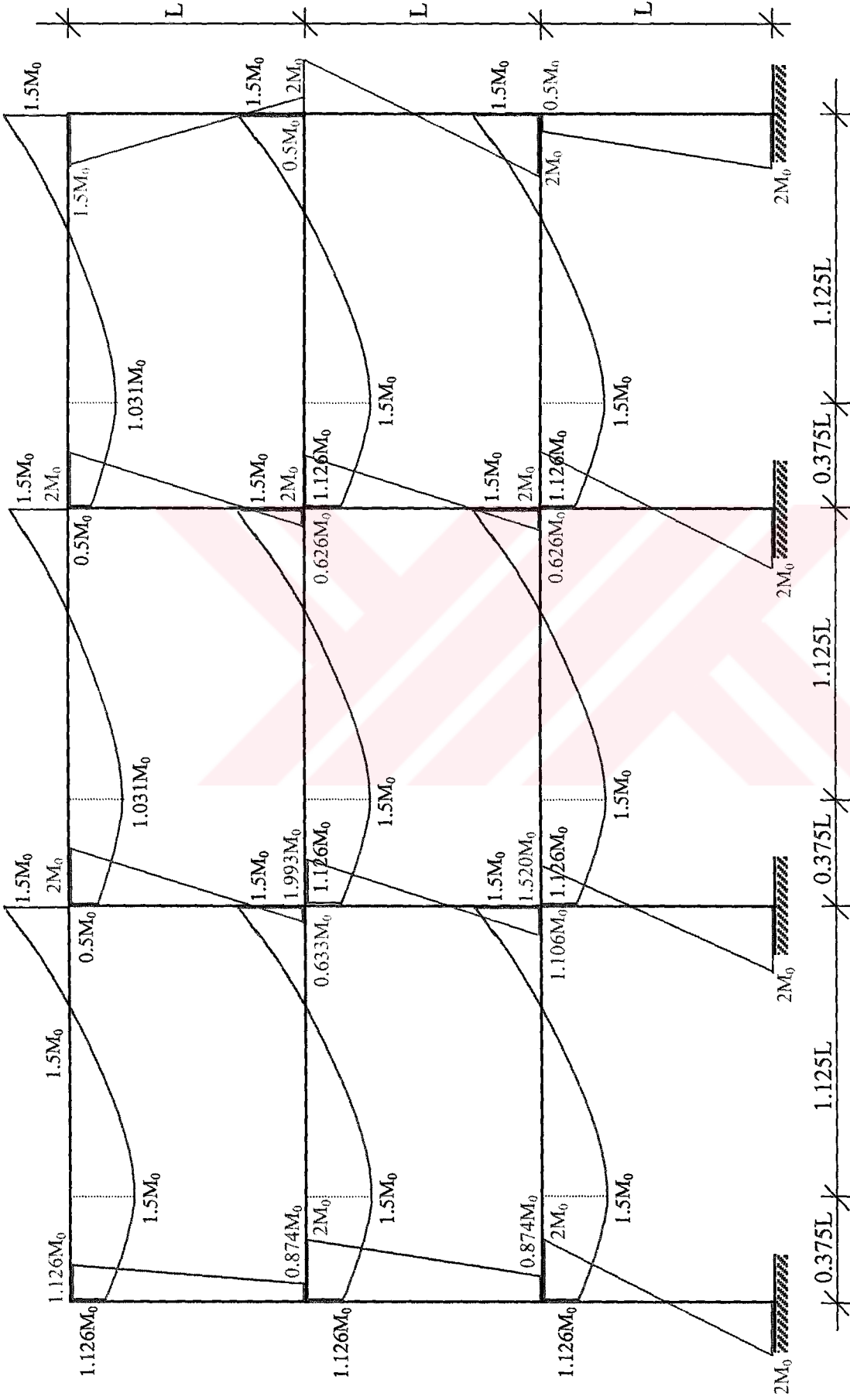
X5=0.000000	m ₅ = -2.00 *
X6=2.874322	m ₆ = 0.874322
X7=2.625678	m ₇ = 1.125678
X8=0.874322	m ₈ = -1.125678
X9=2.625678	m ₉ = 1.125678
X10=3.000000	m ₁₀ = 1.50 *
X11=2.000000	m ₁₁ = 0.50
X12=0.000000	m ₁₂ = -2.00 *
X13=3.000000	m ₁₃ = 1.50 *
X14=1.367089	m ₁₄ = -0.632911
X15=2.625678	m ₁₅ = 1.125678
X16=0.007233	m ₁₆ = -1.992767
X17=3.000000	m ₁₇ = 1.50 *
X18=0.894214	m ₁₈ = -1.105786
X19=2.625678	m ₁₉ = 1.125678
X20=0.480108	m ₂₀ = -1.519892
X21=0.000000	m ₂₁ = -2.00 *
X22=3.000000	m ₂₂ = 1.50 *
X23=2.000000	m ₂₃ = 0.50
X24=0.000000	m ₂₄ = -2.00 *
X25=3.000000	m ₂₅ = 1.50 *
X26=1.374322	m ₂₆ = -0.625678
X27= 2.625678	m ₂₇ = 1.125678
X28=0.000000	m ₂₈ = -2.00 *
X29=3.000000	m ₂₉ = 1.50 *
X30=1.374322	m ₃₀ = -0.625678
X31=2.625678	m ₃₁ = 1.125678
X32=0.000000	m ₃₂ = -2.00 *
X33=0.000000	m ₃₃ = -2.00 *
X34=3.000000	m ₃₄ = 1.50 *
X35=0.500000	m ₃₅ = -1.50
X36=3.000000	m ₃₆ = 1.50 *
X37=2.500000	m ₃₇ = 0.50

X38=0.000000	m ₃₈ = -2.00 *
X39=3.000000	m ₃₉ = 1.50 *
X40=0.000000	m ₄₀ = -2.00 *
X41=2.500000	m ₄₁ = 0.50
X42=0.000000	m ₄₂ = -2.00 *
X43=2.765642	m ₄₃ = 1.265642
X44=2.937071	m ₄₄ = 1.437071
X45=3.000000	m ₄₅ = 1.50 *
X46= 2.954431	m ₄₆ = 1.454431
X47=2.800362	m ₄₇ = 1.300362
X48=2.537794	m ₄₈ = 1.037794
X49=2.166727	m ₄₉ = 0.666727
X50=1.687161	m ₅₀ = 0.187161
X51=1.099096	m ₅₁ = -0.400904
X52=0.402532	m ₅₂ = -1.097468
X53=2.765642	m ₅₃ = 1.265642
X54=2.937071	m ₅₄ = 1.437071
X55=3.000000	m ₅₅ = 1.50 *
X56=2.954431	m ₅₆ = 1.454431
X57=2.800362	m ₅₇ = 1.300362
X58=2.537794	m ₅₈ = 1.037794
X59=2.166727	m ₅₉ = 0.666727
X60=1.687161	m ₆₀ = 0.187161
X61=1.099096	m ₆₁ = -0.400904
X62=0.402532	m ₆₂ = -1.097468
X63=2.765642	m ₆₃ = 1.265642
X64=2.937071	m ₆₄ = 1.437071
X65=3.000000	m ₆₅ = 1.50 *
X66=2.954431	m ₆₆ = 1.454431
X67=2.800362	m ₆₇ = 1.300362
X68=2.537794	m ₆₈ = 1.037794
X69=2.166727	m ₆₉ = 0.666727
X70=1.687161	m ₇₀ = 0.187161

X71=1.099096	m ₇₁ = -0.400904
X72=0.402532	m ₇₂ = -1.097468
X73=2.171248	m ₇₃ = 0.671248
X74=2.405244	m ₇₄ = 0.905244
X75=2.530741	m ₇₅ = 1.030741
X76=2.547740	m ₇₆ = 1.047740
X77=2.456239	m ₇₇ = 0.956239
X78=2.256239	m ₇₈ = 0.756239
X79=1.947739	m ₇₉ = 0.447739
X80=1.530741	m ₈₀ = 0.030741
X81=1.005244	m ₈₁ = -0.494756
X82=0.371248	m ₈₂ = -1.128752
X83=2.765642	m ₈₃ = 1.265642
X84=2.937071	m ₈₄ = 1.437071
X85=3.000000	m ₈₅ = 1.50 *
X86=2.954431	m ₈₆ = 1.454431
X87=2.800362	m ₈₇ = 1.300362
X88=2.537794	m ₈₈ = 1.037794
X89=2.166727	m ₈₉ = 0.666727
X90=1.687161	m ₉₀ = 0.187161
X91=1.099096	m ₉₁ = -0.400904
X92=0.402532	m ₉₂ = -1.097468
X93=2.765642	m ₉₃ = 1.265642
X94=2.937071	m ₉₄ = 1.437071
X95=3.000000	m ₉₅ = 1.50 *
X96=2.954431	m ₉₆ = 1.454431
X97=2.800362	m ₉₇ = 1.300362
X98=2.537794	m ₉₈ = 1.037794
X99=2.166727	m ₉₉ = 0.666727
X100=1.687161	m ₁₀₀ = 0.187161
X101=1.099096	m ₁₀₁ = -0.400904
X102= .402532	m ₁₀₂ = -1.097468
X103=2.171248	m ₁₀₃ = 0.671248

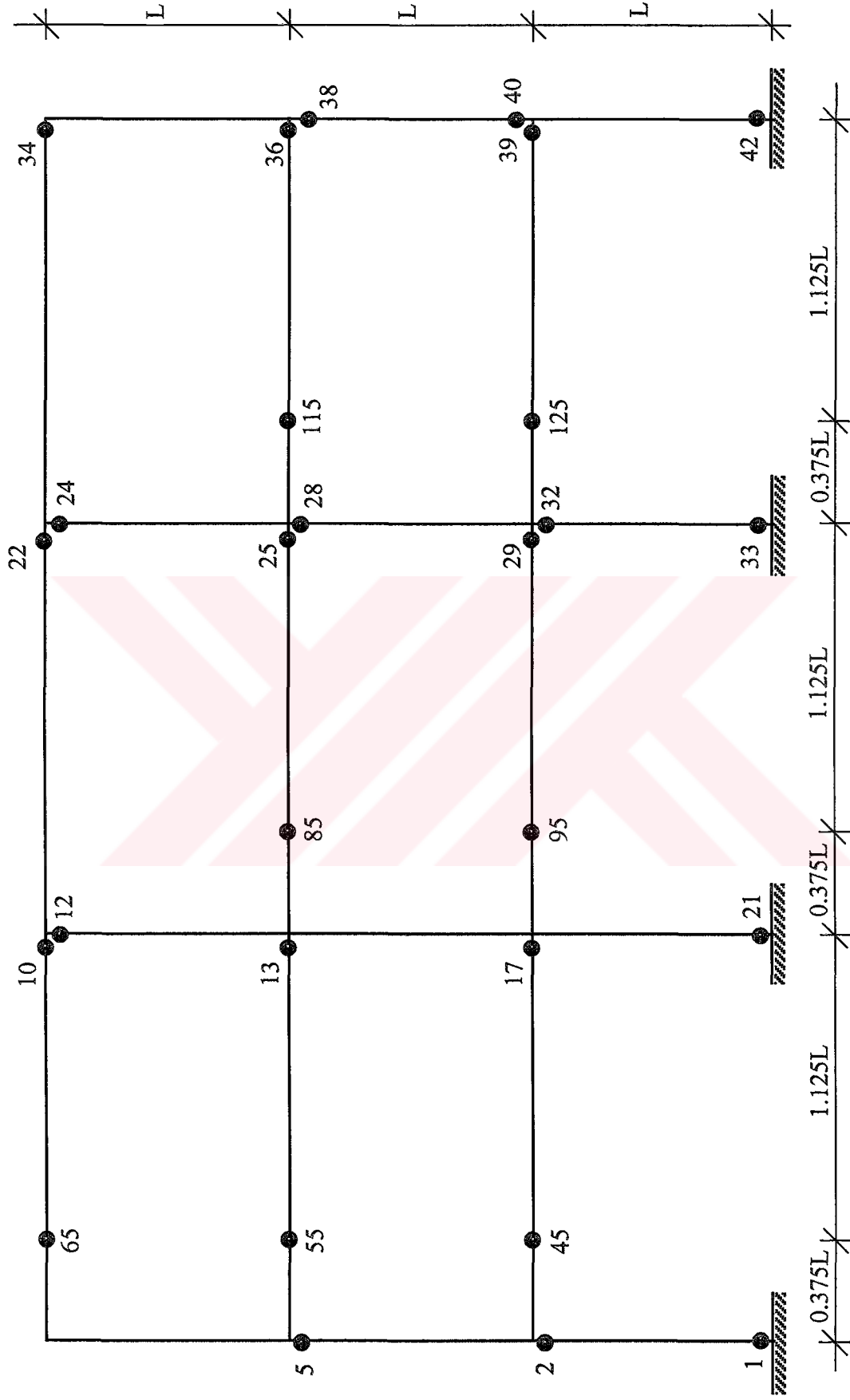
X104=2.405244	$m_{104} = 0.905244$
X105=2.530741	$m_{105} = 1.030741$
X106=2.547740	$m_{106} = 1.04774$
X107=2.456239	$m_{107} = 0.956239$
X108=2.256239	$m_{108} = 0.756239$
X109=1.947739	$m_{109} = 0.447739$
X110=1.530741	$m_{110} = 0.030741$
X111=1.005244	$m_{111} = -0.494756$
X112=0.371248	$m_{112} = -1.128752$
X113=2.765642	$m_{113} = 1.265642$
X114=2.937071	$m_{114} = 1.437071$
X115=3.000000	$m_{115} = 1.50 *$
X116=2.954431	$m_{116} = 1.454431$
X117=2.800362	$m_{117} = 1.300362$
X118=2.537794	$m_{118} = 1.037794$
X119=2.166727	$m_{119} = 0.666727$
X120=1.687161	$m_{120} = 0.187161$
X121=1.099096	$m_{121} = -0.400904$
X122=0.402532	$m_{122} = -1.097468$
X123=2.765642	$m_{123} = 1.265642$
X124=2.937071	$m_{124} = 1.437071$
X125=3.000000	$m_{125} = 1.50 *$
X126=2.954431	$m_{126} = 1.454431$
X127=2.800362	$m_{127} = 1.300362$
X128=2.537794	$m_{128} = 1.037794$
X129=2.166727	$m_{129} = 0.666727$
X130=1.687161	$m_{130} = 0.187161$
X131=1.099096	$m_{131} = -0.400904$
X132=0.402532	$m_{132} = -1.097468$

Monolitik betonarme çerçeveye ait moment diyagramı, mafsalların olduğu kesitler ve mekanizma durumu Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 de gösterilmektedir.

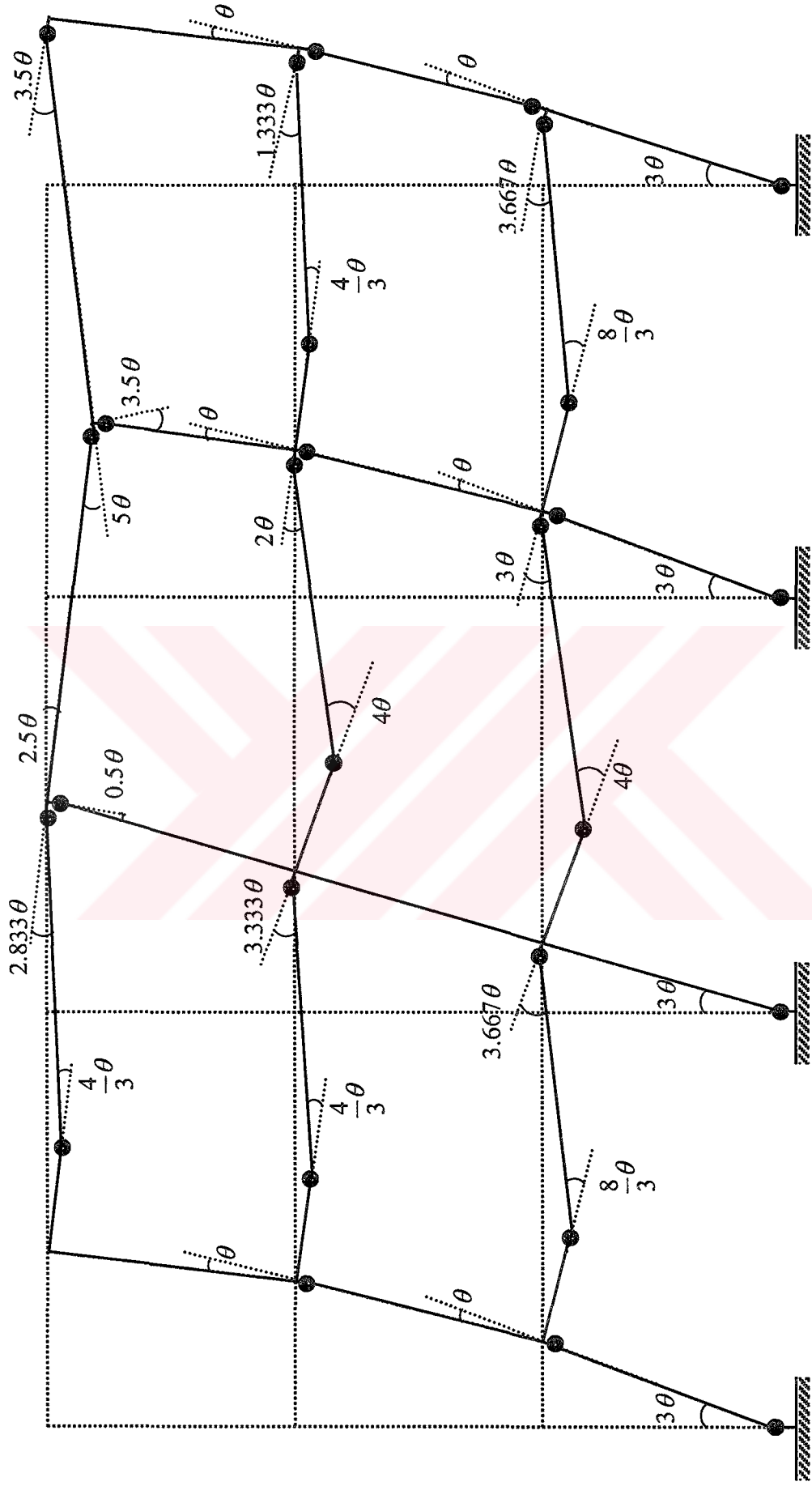


M_0 Kolon uç momentleri
 M_0 Kiriş açıklık ve uç momentleri

Şekil 4.10 Monolitik çerçeveye ait moment diyagramı



Şekil 4.11 Monolitik çerçevede mafsallarm oluştuğu kesitler



Şekil 4.12 Monolitik çerçeveye ait mekanizma durumu

4.4.3 Virtüel İş Teoremi İle Hesabın Kontrolü

Bu bölümde plastik mafsalların oluştuğu kesitler ve dönme açılarının gösterildiği Şekil 4.12 deki mekanizma durumu gözönüne alınarak, Virtüel İş Prensibi gereğince dış işlerin iç işlere eşitliği yazılarak göçme yükü katsayısı olan “ $PL^2/M_0=f$ ” değeri hesaplanacaktır.

Dış İşler:

$$M_e = 6.075PL \times 6\theta L + 4.050PL \times 5\theta L + 2.025PL \times 3\theta L + 2\left(\frac{6.75}{10}PL \times 5.70\theta L\right) + 3\left(\frac{6.75}{10}PL \times 1.90\theta L\right) + 2\left(\frac{6.75}{10}PL \times 3.80\theta L\right) + \frac{6.75}{10}PL \times 37.50\theta L$$

$$M_e = 62.775PL^2\theta + 7.695PL^2\theta + 3.8475PL^2\theta + 5.13PL^2\theta + 25.3125PL^2\theta$$

$$M_e = 104.760PL^2\theta$$

İç İşler:

$$M_i = M_0(4 \times 3\theta + 0.5\theta + 3.5\theta + 6\theta) + 1.5M_0\left(3 \times \frac{4}{3}\theta + 2 \times \frac{8}{3}\theta + 2 \times 4\theta + 2.833\theta + 3.333\theta + 2 \times 3.667\theta + 5\theta + 2\theta + 3\theta + 3.5\theta + 1.333\theta\right)$$

$$M_i = 44M_0\theta + 68.5M_0\theta$$

$$M_i = 112.50M_0\theta$$

Dış işlerin iç işlere eşitliğinden;

$$M_e = M_i \quad \Rightarrow \quad 104.760PL^2\theta = 112.50M_0\theta$$

$$PL^2/M_0 = f = 1.073883$$

olarak elde edilir. Virtüel İş Prensibi ile elde edilen $PL^2/M_0=f=1.073883$ değeri, moment denge denklemleri ile kısıtlayıcı denklemlerin göz önüne alınarak yapılan çözümden elde edilen $PL^2/M_0=f=1.071596$ değeri ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülür.

4.5 Prefabrike Çerçeve ile Monolitik Çerçevenin Taşıma Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Çalışmamızda verilen hesap tekniği ile yapılan çözümler sonucunda; prefabrike betonarme çerçeve için göçme yükü parametresi $f=PL^2/M_0=0.996584$ olarak hesaplanırken, monolitik çerçeve için bu değer $f=PL^2/M_0=1.071596$ olarak hesaplanmıştır. Bu durumda prefabrike betonarme çerçevede monolitik çerçeveye nazaran $(1.071596-0.996584)/1.071596=0.070$ (%7) gibi bir kapasite kaybı olduğu gözlenmektedir. Bunun akside monolitik çerçeve için taşıma kapasitesi artışı olarak göz önüne alınabilir. Bu durumda monolitik çerçeve ile prefabrike çerçevenin taşıma kapasiteleri oranı $(1.071596/0.996584)=1.0753$ olarak hesaplanır.

Yapının M_0 taşıma momentleri oranına bağlı olarak değişen bu oranlar için yaklaşık %10 civarında bir farklılığın olduğunu söylemek mümkündür. Daha kesin bir sonuç ise, birleşim noktalarındaki dönme redörlerinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi ile mümkündür. Ancak durum ne olursa olsun, prefabrike taşıyıcı sistemin aynı özellikteki monolitik taşıyıcı sisteme göre daha küçük taşıma kapasitesine sahip olduğu söylenebilir.

5. PREFABRİKE BETONARME ÇERÇEVE YAPILARIN BİRLEŞİM NOKTALARINDA KİRİŞ TAŞIMA MOMENTİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde kiriş-kolon elemanlarının birleşiminden teşkil edilmiş prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarındaki, birleşimin dönme redörlerine bağlı olarak değişen farklı kiriş taşıma momentleri göz önüne alınarak, çalışmada önerilen hesap tekniği ile çözümler yapılacak ve bu çözümlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

5.1 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin M_0 Olması Durumunda Çözüm

Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin M_0 olması durumunda çözüm yapılacak olursa, bu duruma ait boyutsuz hale getirilen moment denge denklemleri ile kısıtlayıcılar aşağıda verilmektedir.

$$X_2+X_3+X_4=5$$

$$X_5+X_6+X_7=5$$

$$X_8+X_9=3$$

$$X_{10}+X_{11}+X_{12}=4$$

$$X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}=6$$

$$X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20}=6$$

$$X_{22}+X_{23}+X_{24}=4$$

$$X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}=6$$

$$X_{29}+X_{30}+X_{31}+X_{32}=6$$

$$X_{34}+X_{35}=3$$

$$X_{36}+X_{37}+X_{38}=5$$

$$X_{39}+X_{40}+X_{41}=5$$

-X6-X8-X12-X14-X24-X26-X35-X37-6.075X133=-16
-X3-X5-X16-X18-X28-X30-X38-X40-10.125X133=-16
-X1-X2-X20-X21-X32-X33-X41-X42-12.150X133=-16
-1.425X4+0.075X17+1.5X43-0.3796875X133=0.90
-1.275X4+0.225X17+1.5X44-0.9871875X133=1.20
-1.125X4+0.375X17+1.5X45-1.4428125X133=1.50
-0.975X4+0.525X17+1.5X46-1.7465625X133=1.80
-0.825X4+0.675X17+1.5X47-1.8984375X133=2.10
-0.675X4+0.825X17+1.5X48-1.8984375X133=2.40
-0.525X4+0.975X17+1.5X49-1.7465625X133=2.70
-0.375X4+1.125X17+1.5X50-1.4428125X133=3.00
-0.225X4+1.275X17+1.5X51-0.9871875X133=3.30
-0.075X4+1.425X17+1.5X52-0.3796875X133=3.60
-1.425X7+0.075X13+1.5X53-0.3796875X133=0.90
-1.275X7+0.225X13+1.5X54-0.9871875X133=1.20
-1.125X7+0.375X13+1.5X55-1.4428125X133=1.50
-0.975X7+0.525X13+1.5X56-1.7465625X133=1.80
-0.825X7+0.675X13+1.5X57-1.8984375X133=2.10
-0.675X7+0.825X13+1.5X58-1.8984375X133=2.40
-0.525X7+0.975X13+1.5X59-1.7465625X133=2.70
-0.375X7+1.125X13+1.5X60-1.4428125X133=3.00
-0.225X7+1.275X13+1.5X61-0.9871875X133=3.30
-0.075X7+1.425X13+1.5X62-0.3796875X133=3.60
-1.425X9+0.075X10+1.5X63-0.3796875X133=0.90
-1.275X9+0.225X10+1.5X64-0.9871875X133=1.20
-1.125X9+0.375X10+1.5X65-1.4428125X133=1.50
-0.975X9+0.525X10+1.5X66-1.7465625X133=1.80
-0.825X9+0.675X10+1.5X67-1.8984375X133=2.10
-0.675X9+0.825X10+1.5X68-1.8984375X133=2.40
-0.525X9+0.975X10+1.5X69-1.7465625X133=2.70
-0.375X9+1.125X10+1.5X70-1.4428125X133=3.00
-0.225X9+1.275X10+1.5X71-0.9871875X133=3.30

-0.075X9+1.425X10+1.5X72-0.3796875X133=3.60
-1.425X11+0.075X22+1.5X73-0.3796875X133=0.90
-1.275X11+0.225X22+1.5X74-0.9871875X133=1.20
-1.125X11+0.375X22+1.5X75-1.4428125X133=1.50
-0.975X11+0.525X22+1.5X76-1.7465625X133=1.80
-0.825X11+0.675X22+1.5X77-1.8984375X133=2.10
-0.675X11+0.825X22+1.5X78-1.8984375X133=2.40
-0.525X11+0.975X22+1.5X79-1.7465625X133=2.70
-0.375X11+1.125X22+1.5X80-1.4428125X133=3.00
-0.225X11+1.275X22+1.5X81-0.9871875X133=3.30
-0.075X11+1.425X22+1.5X82-0.3796875X133=3.60
-1.425X15+0.075X25+1.5X83-0.3796875X133=0.90
-1.275X15+0.225X25+1.5X84-0.9871875X133=1.20
-1.125X15+0.375X25+1.5X85-1.4428125X133=1.50
-0.975X15+0.525X25+1.5X86-1.7465625X133=1.80
-0.825X15+0.675X25+1.5X87-1.8984375X133=2.10
-0.675X15+0.825X25+1.5X88-1.8984375X133=2.40
-0.525X15+0.975X25+1.5X89-1.7465625X133=2.70
-0.375X15+1.125X25+1.5X90-1.4428125X133=3.00
-0.225X15+1.275X25+1.5X91-0.9871875X133=3.30
-0.075X15+1.425X25+1.5X92-0.3796875X133=3.60
-1.425X19+0.075X29+1.5X93-0.3796875X133=0.90
-1.275X19+0.225X29+1.5X94-0.9871875X133=1.20
-1.125X19+0.375X29+1.5X95-1.4428125X133=1.50
-0.975X19+0.525X29+1.5X96-1.7465625X133=1.80
-0.825X19+0.675X29+1.5X97-1.8984375X133=2.10
-0.675X19+0.825X29+1.5X98-1.8984375X133=2.40
-0.525X19+0.975X29+1.5X99-1.7465625X133=2.70
-0.375X19+1.125X29+1.5X100-1.4428125X133=3.00
-0.225X19+1.275X29+1.5X101-0.9871875X133=3.30
-0.075X19+1.425X29+1.5X102-0.3796875X133=3.60
-1.425X23+0.075X34+1.5X103-0.3796875X133=0.90

-1.275X23+0.225X34+1.5X104-0.9871875X133=1.20
-1.125X23+0.375X34+1.5X105-1.4428125X133=1.50
-0.975X23+0.525X34+1.5X106-1.7465625X133=1.80
-0.825X23+0.675X34+1.5X107-1.8984375X133=2.10
-0.675X23+0.825X34+1.5X108-1.8984375X133=2.40
-0.525X23+0.975X34+1.5X109-1.7465625X133=2.70
-0.375X23+1.125X34+1.5X110-1.4428125X133=3.00
-0.225X23+1.275X34+1.5X111-0.9871875X133=3.30
-0.075X23+1.425X34+1.5X112-0.3796875X133=3.60
-1.425X27+0.075X36+1.5X113-0.3796875X133=0.90
-1.275X27+0.225X36+1.5X114-0.9871875X133=1.20
-1.125X27+0.375X36+1.5X115-1.4428125X133=1.50
-0.975X27+0.525X36+1.5X116-1.7465625X133=1.80
-0.825X27+0.675X36+1.5X117-1.8984375X133=2.10
-0.675X27+0.825X36+1.5X118-1.8984375X133=2.40
-0.525X27+0.975X36+1.5X119-1.7465625X133=2.70
-0.375X27+1.125X36+1.5X120-1.4428125X133=3.00
-0.225X27+1.275X36+1.5X121-0.9871875X133=3.30
-0.075X27+1.425X36+1.5X122-0.3796875X133=3.60
-1.425X31+0.075X39+1.5X123-0.3796875X133=0.90
-1.275X31+0.225X39+1.5X124-0.9871875X133=1.20
-1.125X31+0.375X39+1.5X125-1.4428125X133=1.50
-0.975X31+0.525X39+1.5X126-1.7465625X133=1.80
-0.825X31+0.675X39+1.5X127-1.8984375X133=2.10
-0.675X31+0.825X39+1.5X128-1.8984375X133=2.40
-0.525X31+0.975X39+1.5X129-1.7465625X133=2.70
-0.375X31+1.125X39+1.5X130-1.4428125X133=3.00
-0.225X31+1.275X39+1.5X131-0.9871875X133=3.30
-0.075X31+1.425X39+1.5X132-0.3796875X133=3.60

X1<4	X34<2	X67<3	X100<3
X2<4	X35<4	X68<3	X101<3
X3<4	X36<2	X69<3	X102<3
X4<2	X37<4	X70<3	X103<3
X5<4	X38<4	X71<3	X104<3
X6<4	X39<2	X72<3	X105<3
X7<2	X40<4	X73<3	X106<3
X8<4	X41<4	X74<3	X107<3
X9<2	X42<4	X75<3	X108<3
X10<2	X43<3	X76<3	X109<3
X11<2	X44<3	X77<3	X110<3
X12<4	X45<3	X78<3	X111<3
X13<2	X46<3	X79<3	X112<3
X14<4	X47<3	X80<3	X113<3
X15<2	X48<3	X81<3	X114<3
X16<4	X49<3	X82<3	X115<3
X17<2	X50<3	X83<3	X116<3
X18<4	X51<3	X84<3	X117<3
X19<2	X52<3	X85<3	X118<3
X20<4	X53<3	X86<3	X119<3
X21<4	X54<3	X87<3	X120<3
X22<2	X55<3	X88<3	X121<3
X23<2	X56<3	X89<3	X122<3
X24<4	X57<3	X90<3	X123<3
X25<2	X58<3	X91<3	X124<3
X26<4	X59<3	X92<3	X125<3
X27<2	X60<3	X93<3	X126<3
X28<4	X61<3	X94<3	X127<3
X29<2	X62<3	X95<3	X128<3
X30<4	X63<3	X96<3	X129<3
X31<2	X64<3	X97<3	X130<3
X32<4	X65<3	X98<3	X131<3
X33<4	X66<3	X99<3	X132<3

Denklem takımının çözümünden elde edilen X_i değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan m_i boyutsuz moment değerleri aşağıda verilmektedir.

$$f=PL^2/M_0= X_{133}=0.9171076$$

$X_1=0.000000$	$m_1 = X_1-K_1= 0.00-2.00 = -2.00 *$
$X_2=0.000000$	$m_2 = -2.00 *$
$X_3=3.000000$	$m_3 = 1.00$
$X_4=2.000000$	$m_4 = 1.00*$
$X_5=0.000000$	$m_5 = -2.00 *$
$X_6=3.000000$	$m_6 = 1.00$
$X_7=2.000000$	$m_7 = 1.00 *$
$X_8=1.000000$	$m_8 = -1.00$
$X_9=2.000000$	$m_9 = 1.00 *$
$X_{10}=2.000000$	$m_{10} = 1.00 *$
$X_{11}=2.000000$	$m_{11} = 1.00 *$
$X_{12}=0.000000$	$m_{12} = -2.00 *$
$X_{13}=2.000000$	$m_{13} = 1.00 *$
$X_{14}=2.000000$	$m_{14} = 0.00$
$X_{15}=2.000000$	$m_{15} = 1.00 *$
$X_{16}=0.000000$	$m_{16} = -2.00 *$
$X_{17}=2.000000$	$m_{17} = 1.00 *$
$X_{18}=0.142857$	$m_{18} = -1.857143$
$X_{19}=2.000000$	$m_{19} = 1.00 *$
$X_{20}=1.857143$	$m_{20} = -0.142857$
$X_{21}=0.000000$	$m_{21} = -2.00 *$
$X_{22}=2.000000$	$m_{22} = 1.00 *$
$X_{23}=2.000000$	$m_{23} = 1.00 *$
$X_{24}=0.000000$	$m_{24} = -2.00 *$
$X_{25}=2.000000$	$m_{25} = 1.00 *$
$X_{26}=0.428572$	$m_{26} = -1.571428$
$X_{27}=2.000000$	$m_{27} = 1.00 *$
$X_{28}=1.571428$	$m_{28} = -0.428571$

X29=2.000000	m ₂₉ = 1.00 *
X30=2.000000	m ₃₀ = 0.00
X31=2.000000	m ₃₁ = 1.00 *
X32=0.000000	m ₃₂ = -2.00 *
X33=0.000000	m ₃₃ = -2.00 *
X34=2.000000	m ₃₄ = 1.00 *
X35=1.000000	m ₃₅ = -1.00
X36=2.000000	m ₃₆ = 1.00 *
X37=3.000000	m ₃₇ = 1.00
X38=0.000000	m ₃₈ = -2.00 *
X39=2.000000	m ₃₉ = 1.00 *
X40=0.000000	m ₄₀ = -2.00 *
X41=3.000000	m ₄₁ = 1.00
X42=0.000000	m ₄₂ = -2.00 *
X43=2.632143	m ₄₃ = 1.132143
X44=2.803571	m ₄₄ = 1.303571
X45=2.882143	m ₄₅ = 1.382143
X46=2.867857	m ₄₆ = 1.367857
X47=2.760714	m ₄₇ = 1.260714
X48=2.560714	m ₄₈ = 1.060714
X49=2.267857	m ₄₉ = 0.767857
X50= 1.882143	m ₅₀ = 0.382143
X51=1.403571	m ₅₁ = -0.096429
X52=0.832143	m ₅₂ = -0.667857
X53 =2.632143	m ₅₃ = 1.132143
X54=2.803571	m ₅₄ = 1.303571
X55=2.882143	m ₅₅ = 1.382143
X56=2.867857	m ₅₆ = 1.367857
X57=2.760714	m ₅₇ = 1.260714
X58=2.560714	m ₅₈ = 1.060714
X59=2.267857	m ₅₉ = 0.767857
X60=1.882143	m ₆₀ = 0.382143
X61=1.403571	m ₆₁ = -0.096429

X62=0.832143	$m_{62} = -0.667857$
X63=2.632143	$m_{63} = 1.132143$
X64=2.803571	$m_{64} = 1.303571$
X65=2.882143	$m_{65} = 1.382143$
X66=2.867857	$m_{66} = 1.367857$
X67=2.760714	$m_{67} = 1.260714$
X68=2.560714	$m_{68} = 1.060714$
X69=2.267857	$m_{69} = 0.767857$
X70=1.882143	$m_{70} = 0.382143$
X71=1.403571	$m_{71} = -0.096429$
X72=0.832143	$m_{72} = -0.667857$
X73=2.632143	$m_{73} = 1.132143$
X74=2.803571	$m_{74} = 1.303571$
X75=2.882143	$m_{75} = 1.382143$
X76=2.867857	$m_{76} = 1.367857$
X77=2.760714	$m_{77} = 1.260714$
X78=2.560714	$m_{78} = 1.060714$
X79=2.267857	$m_{79} = 0.767857$
X80=1.882143	$m_{80} = 0.382143$
X81=1.403571	$m_{81} = -0.096429$
X82=0.832143	$m_{82} = -0.667857$
X83=2.632143	$m_{83} = 1.132143$
X84=2.803571	$m_{84} = 1.303571$
X85=2.882143	$m_{85} = 1.382143$
X86=2.867857	$m_{86} = 1.367857$
X87=2.760714	$m_{87} = 1.260714$
X88=2.560714	$m_{88} = 1.060714$
X89=2.267857	$m_{89} = 0.767857$
X90=1.882143	$m_{90} = 0.382143$
X91=1.403571	$m_{91} = -0.096429$
X92=0.832143	$m_{92} = -0.667857$
X93=2.632143	$m_{93} = 1.132143$
X94=2.803571	$m_{94} = 1.303571$

X95=2.882143	m ₉₅ = 1.382143
X96=2.867857	m ₉₆ = 1.367857
X97=2.760714	m ₉₇ = 1.260714
X98=2.560714	m ₉₈ = 1.060714
X99=2.267857	m ₉₉ = 0.767857
X100=1.882143	m ₁₀₀ = 0.382143
X101= 1.403571	m ₁₀₁ = -0.096429
X102= 0.832143	m ₁₀₂ = -0.667857
X103=2.632143	m ₁₀₃ = 1.132143
X104=2.803571	m ₁₀₄ = 1.303571
X105= 2.882143	m ₁₀₅ = 1.382143
X106=2.867857	m ₁₀₆ = 1.367857
X107=2.760714	m ₁₀₇ = 1.260714
X108=2.560714	m ₁₀₈ = 1.060714
X109=2.267857	m ₁₀₉ = 0.767857
X110=1.882143	m ₁₁₀ = 0.382143
X111=1.403571	m ₁₁₁ = -0.096429
X112=0.832143	m ₁₁₂ = -0.667857
X113=2.632143	m ₁₁₃ = 1.132143
X114=2.803571	m ₁₁₄ = 1.303571
X115=2.882143	m ₁₁₅ = 1.382143
X116=2.867857	m ₁₁₆ = 1.367857
X117=2.760714	m ₁₁₇ = 1.260714
X118=2.560714	m ₁₁₈ = 1.060714
X119=2.267857	m ₁₁₉ = 0.767857
X120=1.882143	m ₁₂₀ = 0.382143
X121=1.403571	m ₁₂₁ = -0.096429
X122=0.832143	m ₁₂₂ = -0.667857
X123=2.632143	m ₁₂₃ = 1.132143
X124=2.803571	m ₁₂₄ = 1.303571
X125=2.882143	m ₁₂₅ = 1.382143
X126=2.867857	m ₁₂₆ = 1.367857
X127=2.760714	m ₁₂₇ = 1.260714

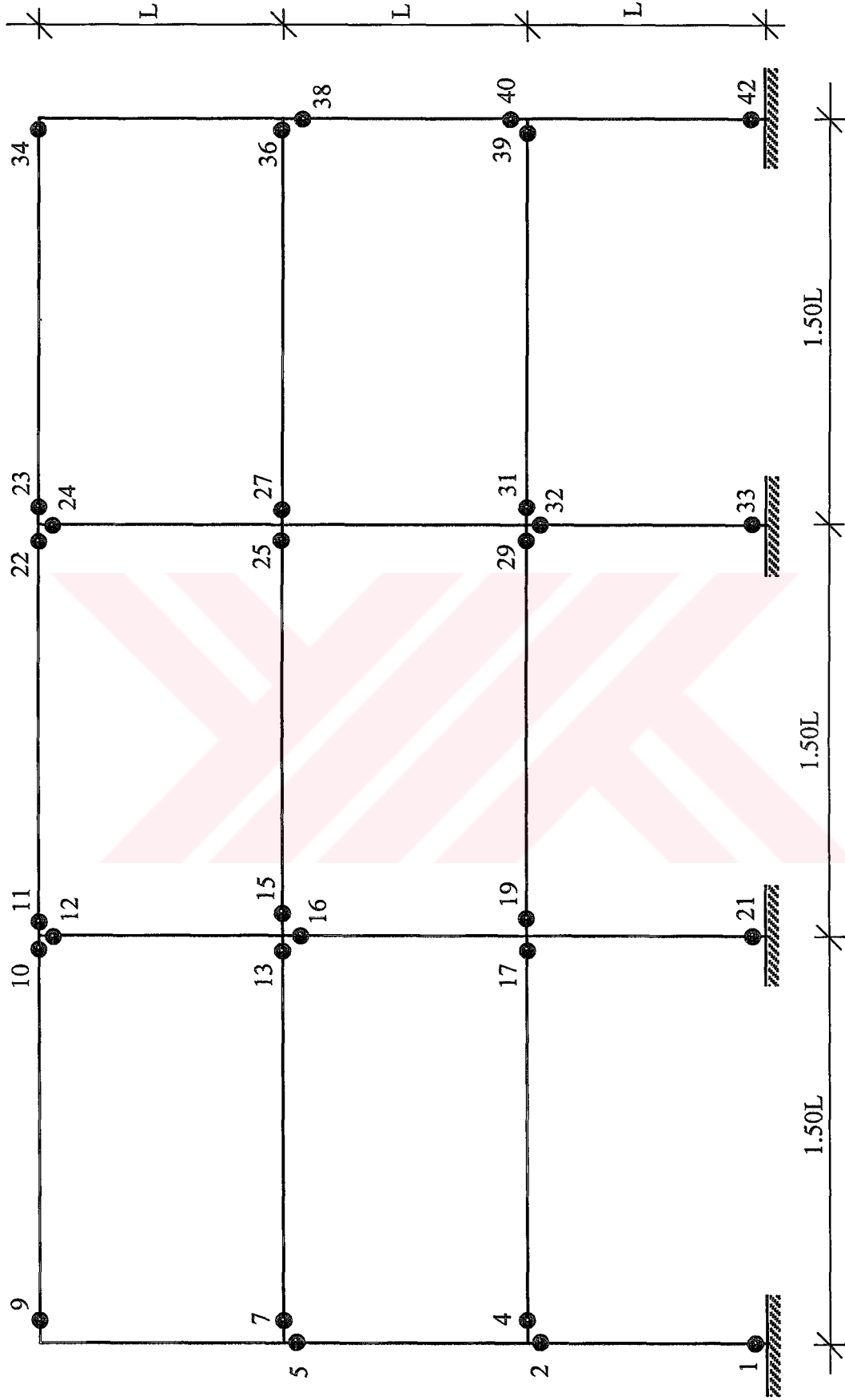
X128=2.560714	$m_{128} = 1.060714$
X129= 2.267857	$m_{129} = 0.767857$
X130=1.882143	$m_{130} = 0.382143$
X131= 1.403571	$m_{131} = -0.096429$
X132= 0.832143	$m_{132} = -0.667857$

Kiriş taşıma momentinin açıklıkta $1.5M_0$, birleşim bölgelerinde M_0 olması durumunda göçme yükü parametresi $f=PL^2/M_0=0.9171076$ olarak elde edilmiştir. Göz önüne alınan çerçevede toplam 30 (hiperstatiklik derecesi+3) adet mafsalları oluşmuştur. Mafsalların tamamı birleşim bölgelerinde oluşmuş, açıklıklarda hiç mafsalları oluşmamıştır. Çerçeve yalın mekanizma durumlarından mafsalları mekanizması durumuna girmiş ve taşıma özelliğini yitirerek labil duruma geçmiştir. Taşıma kapasitesi bakımından monolitik esas sistemle karşılaştırıldığında %14.42 gibi bir kapasite kaybı olduğu görülmüştür. Hesaplamış olduğumuz boyutsuz momentlere bağlı olarak çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler Şekil 5.1 de gösterilmektedir.

5.2 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin $1.1M_0$ Olması Durumunda Çözüm

Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.1M_0$ olması durumunda çözüm yapılacak olursa, bu duruma ait boyutsuz hale getirilen moment denge denklemleri ile kısıtlayıcılar aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
X_2+X_3+X_4 &= 5.1 \\
X_5+X_6+X_7 &= 5.1 \\
X_8+X_9 &= 3.1 \\
X_{10}+X_{11}+X_{12} &= 4.2 \\
X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16} &= 6.2 \\
X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20} &= 6.2 \\
X_{22}+X_{23}+X_{24} &= 4.2 \\
X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28} &= 6.2
\end{aligned}$$



Şekil 5.1 Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin M_0 olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler

$$X_{29}+X_{30}+X_{31}+X_{32}=6.2$$

$$X_{34}+X_{35}=3.1$$

$$X_{36}+X_{37}+X_{38}=5.1$$

$$X_{39}+X_{40}+X_{41}=5.1$$

$$-X_6-X_8-X_{12}-X_{14}-X_{24}-X_{26}-X_{35}-X_{37}-6.075X_{133}=-16$$

$$-X_3-X_5-X_{16}-X_{18}-X_{28}-X_{30}-X_{38}-X_{40}-10.125X_{133}=-16$$

$$-X_1-X_2-X_{20}-X_{21}-X_{32}-X_{33}-X_{41}-X_{42}-12.150X_{133}=-16$$

$$-1.425X_4+0.075X_{17}+1.5X_{43}-0.3796875X_{133}=0.765$$

$$-1.275X_4+0.225X_{17}+1.5X_{44}-0.9871875X_{133}=1.095$$

$$-1.125X_4+0.375X_{17}+1.5X_{45}-1.4428125X_{133}=1.425$$

$$-0.975X_4+0.525X_{17}+1.5X_{46}-1.7465625X_{133}=1.755$$

$$-0.825X_4+0.675X_{17}+1.5X_{47}-1.8984375X_{133}=2.085$$

$$-0.675X_4+0.825X_{17}+1.5X_{48}-1.8984375X_{133}=2.415$$

$$-0.525X_4+0.975X_{17}+1.5X_{49}-1.7465625X_{133}=2.745$$

$$-0.375X_4+1.125X_{17}+1.5X_{50}-1.4428125X_{133}=3.075$$

$$-0.225X_4+1.275X_{17}+1.5X_{51}-0.9871875X_{133}=3.405$$

$$-0.075X_4+1.425X_{17}+1.5X_{52}-0.3796875X_{133}=3.735$$

$$-1.425X_7+0.075X_{13}+1.5X_{53}-0.3796875X_{133}=0.765$$

$$-1.275X_7+0.225X_{13}+1.5X_{54}-0.9871875X_{133}=1.095$$

$$-1.125X_7+0.375X_{13}+1.5X_{55}-1.4428125X_{133}=1.425$$

$$-0.975X_7+0.525X_{13}+1.5X_{56}-1.7465625X_{133}=1.755$$

$$-0.825X_7+0.675X_{13}+1.5X_{57}-1.8984375X_{133}=2.085$$

$$-0.675X_7+0.825X_{13}+1.5X_{58}-1.8984375X_{133}=2.415$$

$$-0.525X_7+0.975X_{13}+1.5X_{59}-1.7465625X_{133}=2.745$$

$$-0.375X_7+1.125X_{13}+1.5X_{60}-1.4428125X_{133}=3.075$$

$$-0.225X_7+1.275X_{13}+1.5X_{61}-0.9871875X_{133}=3.405$$

$$-0.075X_7+1.425X_{13}+1.5X_{62}-0.3796875X_{133}=3.735$$

$$-1.425X_9+0.075X_{10}+1.5X_{63}-0.3796875X_{133}=0.765$$

$$-1.275X_9+0.225X_{10}+1.5X_{64}-0.9871875X_{133}=1.095$$

$$-1.125X_9+0.375X_{10}+1.5X_{65}-1.4428125X_{133}=1.425$$

$$-0.975X_9+0.525X_{10}+1.5X_{66}-1.7465625X_{133}=1.755$$

$$-0.825X_9+0.675X_{10}+1.5X_{67}-1.8984375X_{133}=2.085$$

$$-0.675X_9+0.825X_{10}+1.5X_{68}-1.8984375X_{133}=2.415$$

-0.525X9+0.975X10+1.5X69-1.7465625X133=2.745
-0.375X9+1.125X10+1.5X70-1.4428125X133=3.075
-0.225X9+1.275X10+1.5X71-0.9871875X133=3.405
-0.075X9+1.425X10+1.5X72-0.3796875X133=3.735
-1.425X11+0.075X22+1.5X73-0.3796875X133=0.765
-1.275X11+0.225X22+1.5X74-0.9871875X133=1.095
-1.125X11+0.375X22+1.5X75-1.4428125X133=1.425
-0.975X11+0.525X22+1.5X76-1.7465625X133=1.755
-0.825X11+0.675X22+1.5X77-1.8984375X133=2.085
-0.675X11+0.825X22+1.5X78-1.8984375X133=2.415
-0.525X11+0.975X22+1.5X79-1.7465625X133=2.745
-0.375X11+1.125X22+1.5X80-1.4428125X133=3.075
-0.225X11+1.275X22+1.5X81-0.9871875X133=3.405
-0.075X11+1.425X22+1.5X82-0.3796875X133=3.735
-1.425X15+0.075X25+1.5X83-0.3796875X133=0.765
-1.275X15+0.225X25+1.5X84-0.9871875X133=1.095
-1.125X15+0.375X25+1.5X85-1.4428125X133=1.425
-0.975X15+0.525X25+1.5X86-1.7465625X133=1.755
-0.825X15+0.675X25+1.5X87-1.8984375X133=2.085
-0.675X15+0.825X25+1.5X88-1.8984375X133=2.415
-0.525X15+0.975X25+1.5X89-1.7465625X133=2.745
-0.375X15+1.125X25+1.5X90-1.4428125X133=3.075
-0.225X15+1.275X25+1.5X91-0.9871875X133=3.405
-0.075X15+1.425X25+1.5X92-0.3796875X133=3.735
-1.425X19+0.075X29+1.5X93-0.3796875X133=0.765
-1.275X19+0.225X29+1.5X94-0.9871875X133=1.095
-1.125X19+0.375X29+1.5X95-1.4428125X133=1.425
-0.975X19+0.525X29+1.5X96-1.7465625X133=1.755
-0.825X19+0.675X29+1.5X97-1.8984375X133=2.085
-0.675X19+0.825X29+1.5X98-1.8984375X133=2.415
-0.525X19+0.975X29+1.5X99-1.7465625X133=2.745
-0.375X19+1.125X29+1.5X100-1.4428125X133=3.075
-0.225X19+1.275X29+1.5X101-0.9871875X133=3.405

-0.075X19+1.425X29+1.5X102-0.3796875X133=3.735
-1.425X23+0.075X34+1.5X103-0.3796875X133=0.765
-1.275X23+0.225X34+1.5X104-0.9871875X133=1.095
-1.125X23+0.375X34+1.5X105-1.4428125X133=1.425
-0.975X23+0.525X34+1.5X106-1.7465625X133=1.755
-0.825X23+0.675X34+1.5X107-1.8984375X133=2.085
-0.675X23+0.825X34+1.5X108-1.8984375X133=2.415
-0.525X23+0.975X34+1.5X109-1.7465625X133=2.745
-0.375X23+1.125X34+1.5X110-1.4428125X133=3.075
-0.225X23+1.275X34+1.5X111-0.9871875X133=3.405
-0.075X23+1.425X34+1.5X112-0.3796875X133=3.735
-1.425X27+0.075X36+1.5X113-0.3796875X133=0.765
-1.275X27+0.225X36+1.5X114-0.9871875X133=1.095
-1.125X27+0.375X36+1.5X115-1.4428125X133=1.425
-0.975X27+0.525X36+1.5X116-1.7465625X133=1.755
-0.825X27+0.675X36+1.5X117-1.8984375X133=2.085
-0.675X27+0.825X36+1.5X118-1.8984375X133=2.415
-0.525X27+0.975X36+1.5X119-1.7465625X133=2.745
-0.375X27+1.125X36+1.5X120-1.4428125X133=3.075
-0.225X27+1.275X36+1.5X121-0.9871875X133=3.405
-0.075X27+1.425X36+1.5X122-0.3796875X133=3.735
-1.425X31+0.075X39+1.5X123-0.3796875X133=0.765
-1.275X31+0.225X39+1.5X124-0.9871875X133=1.095
-1.125X31+0.375X39+1.5X125-1.4428125X133=1.425
-0.975X31+0.525X39+1.5X126-1.7465625X133=1.755
-0.825X31+0.675X39+1.5X127-1.8984375X133=2.085
-0.675X31+0.825X39+1.5X128-1.8984375X133=2.415
-0.525X31+0.975X39+1.5X129-1.7465625X133=2.745
-0.375X31+1.125X39+1.5X130-1.4428125X133=3.075
-0.225X31+1.275X39+1.5X131-0.9871875X133=3.405
-0.075X31+1.425X39+1.5X132-0.3796875X133=3.735

X1<4	X34<2.2	X67<3	X100<3
X2<4	X35<4	X68<3	X101<3
X3<4	X36<2.2	X69<3	X102<3
X4<2.2	X37<4	X70<3	X103<3
X5<4	X38<4	X71<3	X104<3
X6<4	X39<2.2	X72<3	X105<3
X7<2.2	X40<4	X73<3	X106<3
X8<4	X41<4	X74<3	X107<3
X9<2.2	X42<4	X75<3	X108<3
X10<2.2	X43<3	X76<3	X109<3
X11<2.2	X44<3	X77<3	X110<3
X12<4	X45<3	X78<3	X111<3
X13<2.2	X46<3	X79<3	X112<3
X14<4	X47<3	X80<3	X113<3
X15<2.2	X48<3	X81<3	X114<3
X16<4	X49<3	X82<3	X115<3
X17<2.2	X50<3	X83<3	X116<3
X18<4	X51<3	X84<3	X117<3
X19<2.2	X52<3	X85<3	X118<3
X20<4	X53<3	X86<3	X119<3
X21<4	X54<3	X87<3	X120<3
X22<2.2	X55<3	X88<3	X121<3
X23<2.2	X56<3	X89<3	X122<3
X24<4	X57<3	X90<3	X123<3
X25<2.2	X58<3	X91<3	X124<3
X26<4	X59<3	X92<3	X125<3
X27<2.2	X60<3	X93<3	X126<3
X28<4	X61<3	X94<3	X127<3
X29<2.2	X62<3	X95<3	X128<3
X30<4	X63<3	X96<3	X129<3
X31<2.2	X64<3	X97<3	X130<3
X32<4	X65<3	X98<3	X131<3
X33<4	X66<3	X99<3	X132<3

Denklem takımının çözümünden elde edilen X_i değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan m_i boyutsuz moment değerleri aşağıda verilmektedir.

$$f=PL^2/M_0= X_{133}=0.9664903$$

$X_1=0.000000$	$m_1 = X_1-K_1= 0.00-2.00 = -2.00 *$
$X_2=2.457143$	$m_2 = 0.457143$
$X_3=0.442857$	$m_3 = -1.557143$
$X_4=2.200000$	$m_4 = 1.10*$
$X_5=1.071428$	$m_5=-0.928572$
$X_6=1.828572$	$m_6 = -0.171428$
$X_7=2.200000$	$m_7 = 1.10 *$
$X_8=0.900000$	$m_8 = -1.10$
$X_9=2.200000$	$m_9 = 1.10 *$
$X_{10}=2.200000$	$m_{10} = 1.00 *$
$X_{11}=2.000000$	$m_{11} = 0.90$
$X_{12}=0.000000$	$m_{12} = -2.00 *$
$X_{13}=2.200000$	$m_{13} = 1.10 *$
$X_{14}=1.800000$	$m_{14} = -0.20$
$X_{15}=2.200000$	$m_{15} = 1.10 *$
$X_{16}=0.000000$	$m_{16} = -2.00 *$
$X_{17}=2.200000$	$m_{17} = 1.10 *$
$X_{18}=0.000000$	$m_{18} = -2.00*$
$X_{19}=2.200000$	$m_{19} = 1.10 *$
$X_{20}=1.800000$	$m_{20} = -0.20$
$X_{21}=0.000000$	$m_{21} = -2.00 *$
$X_{22}=2.000000$	$m_{22} = 0.90$
$X_{23}=2.200000$	$m_{23} = 1.10 *$
$X_{24}=0.000000$	$m_{24} = -2.00 *$
$X_{25}=2.200000$	$m_{25} = 1.10 *$
$X_{26}=1.800000$	$m_{26} = -0.20$
$X_{27}=2.200000$	$m_{27} = 1.10 *$
$X_{28}=0.000000$	$m_{28} = -2.00*$

X29=2.200000	m ₂₉ = 1.10 *
X30=1.800000	m ₃₀ = -0.20
X31=2.200000	m ₃₁ = 1.10 *
X32=0.000000	m ₃₂ = -2.00 *
X33=0.000000	m ₃₃ = -2.00 *
X34=2.200000	m ₃₄ = 1.10 *
X35=0.900000	m ₃₅ = -1.10
X36=2.200000	m ₃₆ = 1.10 *
X37=2.900000	m ₃₇ = 0.90
X38=0.000000	m ₃₈ = -2.00 *
X39=2.200000	m ₃₉ = 1.10 *
X40=2.900000	m ₄₀ = 0.90
X41=0.000000	m ₄₁ = -2.00*
X42=0.000000	m ₄₂ = -2.00 *
X43=2.734643	m ₄₃ = 1.234643
X44=2.906071	m ₄₄ = 1.406071
X45=2.979643	m ₄₅ = 1.479643
X46=2.955357	m ₄₆ = 1.455357
X47=2.833214	m ₄₇ = 1.333214
X48=2.613214	m ₄₈ = 1.113214
X49=2.295357	m ₄₉ = 0.795357
X50= 1.879643	m ₅₀ = 0.379643
X51=1.366071	m ₅₁ = -0.133929
X52=0.754643	m ₅₂ = -0.745357
X53 =2.734643	m ₅₃ = 1.234643
X54=2.906071	m ₅₄ = 1.406071
X55=2.979643	m ₅₅ = 1.479643
X56=2.955357	m ₅₆ = 1.455357
X57=2.833214	m ₅₇ = 1.333214
X58=2.613214	m ₅₈ = 1.113214
X59=2.295357	m ₅₉ = 0.795357
X60=1.879643	m ₆₀ = 0.379643
X61=1.366071	m ₆₁ = -0.133929

X62=0.754643	m ₆₂ = -0.745357
X63=2.734643	m ₆₃ = 1.234643
X64=2.906071	m ₆₄ = 1.406071
X65=2.979643	m ₆₅ = 1.479643
X66=2.955357	m ₆₆ = 1.455357
X67=2.833214	m ₆₇ = 1.333214
X68=2.613214	m ₆₈ = 1.113214
X69=2.295357	m ₆₉ = 0.795357
X70=1.879643	m ₇₀ = 0.379643
X71=1.366071	m ₇₁ = -0.133929
X72=0.754643	m ₇₂ = -0.745357
X73=2.554643	m ₇₃ = 1.054643
X74=2.766071	m ₇₄ = 1.266071
X75=2.879643	m ₇₅ = 1.379643
X76=2.895357	m ₇₆ = 1.395357
X77=2.813214	m ₇₇ = 1.313214
X78=2.633214	m ₇₈ = 1.133214
X79=2.355357	m ₇₉ = 0.855357
X80=1.979643	m ₈₀ = 0.479643
X81=1.506071	m ₈₁ = 0.006071
X82=0.934643	m ₈₂ = -0.565357
X83=2.734643	m ₈₃ = 1.234643
X84=2.906071	m ₈₄ = 1.406071
X85=2.979643	m ₈₅ = 1.479643
X86=2.955357	m ₈₆ = 1.455357
X87=2.833214	m ₈₇ = 1.333214
X88=2.613214	m ₈₈ = 1.113214
X89=2.295357	m ₈₉ = 0.795357
X90=1.879643	m ₉₀ = 0.379643
X91=1.366071	m ₉₁ = -0.133929
X92=0.754643	m ₉₂ = -0.745357
X93=2.734643	m ₉₃ = 1.234643
X94=2.906071	m ₉₄ = 1.406071

X95=2.979643	m ₉₅ = 1.479643
X96=2.955357	m ₉₆ = 1.455357
X97=2.833214	m ₉₇ = 1.333214
X98=2.613214	m ₉₈ = 1.113214
X99=2.295357	m ₉₉ = 0.795357
X100=1.879643	m ₁₀₀ = 0.379643
X101= 1.366071	m ₁₀₁ = -0.133929
X102= 0.754643	m ₁₀₂ = -0.745357
X103=2.734643	m ₁₀₃ = 1.234643
X104=2.906071	m ₁₀₄ = 1.406071
X105= 2.979643	m ₁₀₅ = 1.479643
X106=2.955357	m ₁₀₆ = 1.455357
X107=2.833214	m ₁₀₇ = 1.333214
X108=2.613214	m ₁₀₈ = 1.113214
X109=2.295357	m ₁₀₉ = 0.795357
X110=1.879643	m ₁₁₀ = 0.379643
X111=1.366071	m ₁₁₁ = -0.133929
X112=0.754643	m ₁₁₂ = -0.745357
X113=2.734643	m ₁₁₃ = 1.234643
X114=2.906071	m ₁₁₄ = 1.406071
X115=2.979643	m ₁₁₅ = 1.479643
X116=2.955357	m ₁₁₆ = 1.367857
X117=2.833214	m ₁₁₇ = 1.333214
X118=2.613214	m ₁₁₈ = 1.113214
X119=2.295357	m ₁₁₉ = 0.795357
X120=1.879643	m ₁₂₀ = 0.379643
X121=1.366071	m ₁₂₁ = -0.133929
X122=0.754643	m ₁₂₂ = -0.745357
X123=2.734643	m ₁₂₃ = 1.234643
X124=2.906071	m ₁₂₄ = 1.406071
X125=2.979643	m ₁₂₅ = 1.479643
X126=2.955357	m ₁₂₆ = 1.455357
X127=2.833214	m ₁₂₇ = 1.333214

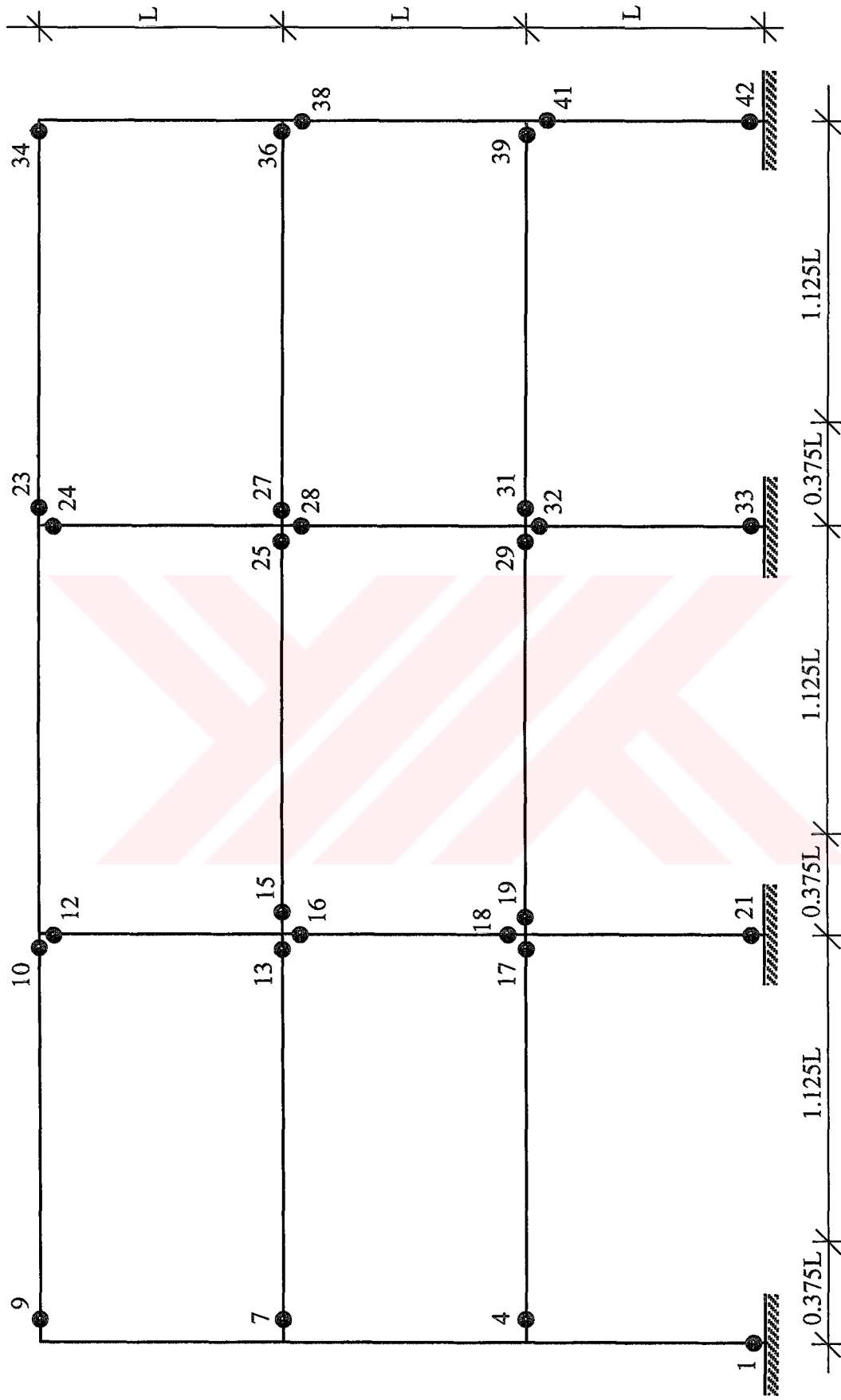
X128=2.613214	$m_{128} = 1.113214$
X129=2.295357	$m_{129} = 0.795357$
X130=1.879643	$m_{130} = 0.379643$
X131= 1.366071	$m_{131} = -0.133929$
X132= 0.754643	$m_{132} = -0.745357$

Kiriş taşıma momentinin açıklıkta $1.5M_0$, birleşim bölgelerinde $1.1M_0$ olması durumunda göçme yükü parametresi $f=PL^2/M_0=0.9664903$ olarak elde edilmiştir. Göz önüne alınan çerçevede toplam 28 (hiperstatiklik derecesi+1) adet mafsall oluşmuştur. Mafsalların tamamı birleşim bölgelerinde oluşmuş, açıklıklarda hiç mafsall oluşmamıştır. Çerçeve yalın mekanizma durumlarından mafsall mekanizması durumuna girmiştir. Taşıma kapasitesi bakımından monolitik esas sistemle karşılaştırıldığında %9.81 gibi bir kapasite kaybı olduğu görülmüştür. Hesaplanmış olduğumuz boyutsuz momentlere bağlı olarak çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler Şekil 5.2 de gösterilmektedir.

5.3 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin $1.3M_0$ Olması Durumunda Çözüm

Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.3M_0$ olması durumunda çözüm yapılacak olursa, bu duruma ait boyutsuz hale getirilen moment denge denklemleri ile kısıtlayıcılar aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
X_2+X_3+X_4 &= 5.3 \\
X_5+X_6+X_7 &= 5.3 \\
X_8+X_9 &= 3.3 \\
X_{10}+X_{11}+X_{12} &= 4.6 \\
X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16} &= 6.6 \\
X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20} &= 6.6 \\
X_{22}+X_{23}+X_{24} &= 4.6 \\
X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28} &= 6.6
\end{aligned}$$



Şekil 5.2 Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.1M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler

$$\begin{aligned}
&X_{29}+X_{30}+X_{31}+X_{32}=6.6 \\
&X_{34}+X_{35}=3.3 \\
&X_{36}+X_{37}+X_{38}=5.3 \\
&X_{39}+X_{40}+X_{41}=5.3 \\
&-X_6-X_8-X_{12}-X_{14}-X_{24}-X_{26}-X_{35}-X_{37}-6.075X_{133}=-16 \\
&-X_3-X_5-X_{16}-X_{18}-X_{28}-X_{30}-X_{38}-X_{40}-10.125X_{133}=-16 \\
&-X_1-X_2-X_{20}-X_{21}-X_{32}-X_{33}-X_{41}-X_{42}-12.150X_{133}=-16 \\
&-1.425X_4+0.075X_{17}+1.5X_{43}-0.3796875X_{133}=0.495 \\
&-1.275X_4+0.225X_{17}+1.5X_{44}-0.9871875X_{133}=0.885 \\
&-1.125X_4+0.375X_{17}+1.5X_{45}-1.4428125X_{133}=1.275 \\
&-0.975X_4+0.525X_{17}+1.5X_{46}-1.7465625X_{133}=1.665 \\
&-0.825X_4+0.675X_{17}+1.5X_{47}-1.8984375X_{133}=2.055 \\
&-0.675X_4+0.825X_{17}+1.5X_{48}-1.8984375X_{133}=2.445 \\
&-0.525X_4+0.975X_{17}+1.5X_{49}-1.7465625X_{133}=2.835 \\
&-0.375X_4+1.125X_{17}+1.5X_{50}-1.4428125X_{133}=3.225 \\
&-0.225X_4+1.275X_{17}+1.5X_{51}-0.9871875X_{133}=3.615 \\
&-0.075X_4+1.425X_{17}+1.5X_{52}-0.3796875X_{133}=4.005 \\
&-1.425X_7+0.075X_{13}+1.5X_{53}-0.3796875X_{133}=0.495 \\
&-1.275X_7+0.225X_{13}+1.5X_{54}-0.9871875X_{133}=0.885 \\
&-1.125X_7+0.375X_{13}+1.5X_{55}-1.4428125X_{133}=1.275 \\
&-0.975X_7+0.525X_{13}+1.5X_{56}-1.7465625X_{133}=1.665 \\
&-0.825X_7+0.675X_{13}+1.5X_{57}-1.8984375X_{133}=2.055 \\
&-0.675X_7+0.825X_{13}+1.5X_{58}-1.8984375X_{133}=2.445 \\
&-0.525X_7+0.975X_{13}+1.5X_{59}-1.7465625X_{133}=2.835 \\
&-0.375X_7+1.125X_{13}+1.5X_{60}-1.4428125X_{133}=3.225 \\
&-0.225X_7+1.275X_{13}+1.5X_{61}-0.9871875X_{133}=3.615 \\
&-0.075X_7+1.425X_{13}+1.5X_{62}-0.3796875X_{133}=4.005 \\
&-1.425X_9+0.075X_{10}+1.5X_{63}-0.3796875X_{133}=0.495 \\
&-1.275X_9+0.225X_{10}+1.5X_{64}-0.9871875X_{133}=0.885 \\
&-1.125X_9+0.375X_{10}+1.5X_{65}-1.4428125X_{133}=1.275 \\
&-0.975X_9+0.525X_{10}+1.5X_{66}-1.7465625X_{133}=1.665 \\
&-0.825X_9+0.675X_{10}+1.5X_{67}-1.8984375X_{133}=2.055 \\
&-0.675X_9+0.825X_{10}+1.5X_{68}-1.8984375X_{133}=2.445
\end{aligned}$$

-0.525X9+0.975X10+1.5X69-1.7465625X133=2.835
-0.375X9+1.125X10+1.5X70-1.4428125X133=3.225
-0.225X9+1.275X10+1.5X71-0.9871875X133=3.615
-0.075X9+1.425X10+1.5X72-0.3796875X133=4.005
-1.425X11+0.075X22+1.5X73-0.3796875X133=0.495
-1.275X11+0.225X22+1.5X74-0.9871875X133=0.885
-1.125X11+0.375X22+1.5X75-1.4428125X133=1.275
-0.975X11+0.525X22+1.5X76-1.7465625X133=1.665
-0.825X11+0.675X22+1.5X77-1.8984375X133=2.055
-0.675X11+0.825X22+1.5X78-1.8984375X133=2.445
-0.525X11+0.975X22+1.5X79-1.7465625X133=2.835
-0.375X11+1.125X22+1.5X80-1.4428125X133=3.225
-0.225X11+1.275X22+1.5X81-0.9871875X133=3.615
-0.075X11+1.425X22+1.5X82-0.3796875X133=4.005
-1.425X15+0.075X25+1.5X83-0.3796875X133=0.495
-1.275X15+0.225X25+1.5X84-0.9871875X133=0.885
-1.125X15+0.375X25+1.5X85-1.4428125X133=1.275
-0.975X15+0.525X25+1.5X86-1.7465625X133=1.665
-0.825X15+0.675X25+1.5X87-1.8984375X133=2.055
-0.675X15+0.825X25+1.5X88-1.8984375X133=2.445
-0.525X15+0.975X25+1.5X89-1.7465625X133=2.835
-0.375X15+1.125X25+1.5X90-1.4428125X133=3.225
-0.225X15+1.275X25+1.5X91-0.9871875X133=3.615
-0.075X15+1.425X25+1.5X92-0.3796875X133=4.005
-1.425X19+0.075X29+1.5X93-0.3796875X133=0.495
-1.275X19+0.225X29+1.5X94-0.9871875X133=0.885
-1.125X19+0.375X29+1.5X95-1.4428125X133=1.275
-0.975X19+0.525X29+1.5X96-1.7465625X133=1.665
-0.825X19+0.675X29+1.5X97-1.8984375X133=2.055
-0.675X19+0.825X29+1.5X98-1.8984375X133=2.445
-0.525X19+0.975X29+1.5X99-1.7465625X133=2.835
-0.375X19+1.125X29+1.5X100-1.4428125X133=3.225
-0.225X19+1.275X29+1.5X101-0.9871875X133=3.615

-0.075X19+1.425X29+1.5X102-0.3796875X133=4.005
-1.425X23+0.075X34+1.5X103-0.3796875X133=0.495
-1.275X23+0.225X34+1.5X104-0.9871875X133=0.885
-1.125X23+0.375X34+1.5X105-1.4428125X133=1.275
-0.975X23+0.525X34+1.5X106-1.7465625X133=1.665
-0.825X23+0.675X34+1.5X107-1.8984375X133=2.055
-0.675X23+0.825X34+1.5X108-1.8984375X133=2.445
-0.525X23+0.975X34+1.5X109-1.7465625X133=2.835
-0.375X23+1.125X34+1.5X110-1.4428125X133=3.225
-0.225X23+1.275X34+1.5X111-0.9871875X133=3.615
-0.075X23+1.425X34+1.5X112-0.3796875X133=4.005
-1.425X27+0.075X36+1.5X113-0.3796875X133=0.495
-1.275X27+0.225X36+1.5X114-0.9871875X133=0.885
-1.125X27+0.375X36+1.5X115-1.4428125X133=1.275
-0.975X27+0.525X36+1.5X116-1.7465625X133=1.665
-0.825X27+0.675X36+1.5X117-1.8984375X133=2.055
-0.675X27+0.825X36+1.5X118-1.8984375X133=2.445
-0.525X27+0.975X36+1.5X119-1.7465625X133=2.835
-0.375X27+1.125X36+1.5X120-1.4428125X133=3.225
-0.225X27+1.275X36+1.5X121-0.9871875X133=3.615
-0.075X27+1.425X36+1.5X122-0.3796875X133=4.005
-1.425X31+0.075X39+1.5X123-0.3796875X133=0.495
-1.275X31+0.225X39+1.5X124-0.9871875X133=0.885
-1.125X31+0.375X39+1.5X125-1.4428125X133=1.275
-0.975X31+0.525X39+1.5X126-1.7465625X133=1.665
-0.825X31+0.675X39+1.5X127-1.8984375X133=2.055
-0.675X31+0.825X39+1.5X128-1.8984375X133=2.445
-0.525X31+0.975X39+1.5X129-1.7465625X133=2.835
-0.375X31+1.125X39+1.5X130-1.4428125X133=3.225
-0.225X31+1.275X39+1.5X131-0.9871875X133=3.615
-0.075X31+1.425X39+1.5X132-0.3796875X133=4.005

X1<4	X34<2.6	X67<3	X100<3
X2<4	X35<4	X68<3	X101<3
X3<4	X36<2.6	X69<3	X102<3
X4<2.6	X37<4	X70<3	X103<3
X5<4	X38<4	X71<3	X104<3
X6<4	X39<2.6	X72<3	X105<3
X7<2.6	X40<4	X73<3	X106<3
X8<4	X41<4	X74<3	X107<3
X9<2.6	X42<4	X75<3	X108<3
X10<2.6	X43<3	X76<3	X109<3
X11<2.6	X44<3	X77<3	X110<3
X12<4	X45<3	X78<3	X111<3
X13<2.6	X46<3	X79<3	X112<3
X14<4	X47<3	X80<3	X113<3
X15<2.6	X48<3	X81<3	X114<3
X16<4	X49<3	X82<3	X115<3
X17<2.6	X50<3	X83<3	X116<3
X18<4	X51<3	X84<3	X117<3
X19<2.6	X52<3	X85<3	X118<3
X20<4	X53<3	X86<3	X119<3
X21<4	X54<3	X87<3	X120<3
X22<2.6	X55<3	X88<3	X121<3
X23<2.6	X56<3	X89<3	X122<3
X24<4	X57<3	X90<3	X123<3
X25<2.6	X58<3	X91<3	X124<3
X26<4	X59<3	X92<3	X125<3
X27<2.6	X60<3	X93<3	X126<3
X28<4	X61<3	X94<3	X127<3
X29<2.6	X62<3	X95<3	X128<3
X30<4	X63<3	X96<3	X129<3
X31<2.6	X64<3	X97<3	X130<3
X32<4	X65<3	X98<3	X131<3
X33<4	X66<3	X99<3	X132<3

Denklem takımının çözümünden elde edilen X_i değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan m_i boyutsuz moment değerleri aşağıda verilmektedir.

$$f=PL^2/M_0= X133=1.021588$$

$X1=0.000000$	$m_1 = X_1-K_1= 0.00-2.00 = -2.00 *$
$X2=0.000000$	$m_2 = -2.00 *$
$X3=2.876853$	$m_3 = 0.876853$
$X4=2.423146$	$m_4 = 1.123146$
$X5=0.513562$	$m_5 = -1.486438$
$X6=2.363291$	$m_6 = 0.363291$
$X7=2.423146$	$m_7 = 1.123146$
$X8=0.876853$	$m_8 = -1.123146$
$X9=2.423146$	$m_9 = 1.123146$
$X10=2.600000$	$m_{10} = 1.30 *$
$X11=2.000000$	$m_{11} = 0.70$
$X12=0.000000$	$m_{12} = -2.00 *$
$X13=2.600000$	$m_{13} = 1.30 *$
$X14=1.576854$	$m_{14} = -0.423146$
$X15=2.423146$	$m_{15} = 1.123146$
$X16=0.000000$	$m_{16} = -2.00 *$
$X17=2.600000$	$m_{17} = 1.30 *$
$X18=0.000000$	$m_{18} = -2.00*$
$X19=2.423146$	$m_{19} = 1.123146$
$X20=1.576854$	$m_{20} = -0.423146$
$X21=0.000000$	$m_{21} = -2.00 *$
$X22=2.176853$	$m_{22} = 0.876853$
$X23=2.423146$	$m_{23} = 1.123146$
$X24=0.000000$	$m_{24} = -2.00 *$
$X25=2.600000$	$m_{25} = 1.30 *$
$X26=1.576854$	$m_{26} = -0.423146$
$X27=2.423146$	$m_{27} = 1.123146$
$X28=0.000000$	$m_{28} = -2.00*$

X29=2.600000	m ₂₉ = 1.30 *
X30=1.576854	m ₃₀ = -0.423146
X31=2.423146	m ₃₁ = 1.123146
X32=0.000000	m ₃₂ = -2.00 *
X33=0.000000	m ₃₃ = -2.00 *
X34=2.600000	m ₃₄ = 1.30 *
X35=0.700000	m ₃₅ = -1.30
X36=2.600000	m ₃₆ = 1.30 *
X37=2.700000	m ₃₇ = 0.70
X38=0.000000	m ₃₈ = -2.00 *
X39=2.600000	m ₃₉ = 1.30 *
X40=0.689150	m ₄₀ = -1.31085
X41=1.010850	m ₄₁ = 0.010850
X42=0.000000	m ₄₂ = -2.00 *
X43=2.760579	m ₄₃ = 1.260579
X44=2.932007	m ₄₄ = 1.432007
X45=3.000000	m ₄₅ = 1.50*
X46=2.964557	m ₄₆ = 1.464557
X47=2.825678	m ₄₇ = 1.325678
X48=2.583364	m ₄₈ = 1.083364
X49=2.237613	m ₄₉ = 0.737613
X50= 1.788427	m ₅₀ = 0.288427
X51=1.235805	m ₅₁ = -0.264195
X52=0.579747	m ₅₂ = -0.920253
X53 =2.760579	m ₅₃ = 1.260579
X54=2.932007	m ₅₄ = 1.432007
X55=3.000000	m ₅₅ = 1.50*
X56=2.964557	m ₅₆ = 1.464557
X57=2.825678	m ₅₇ = 1.325678
X58=2.583364	m ₅₈ = 1.083364
X59=2.237613	m ₅₉ = 0.737613
X60=1.788427	m ₆₀ = 0.288427
X61=1.235805	m ₆₁ = -0.264195

X62=0.579747	m ₆₂ = -0.920253
X63=2.760579	m ₆₃ = 1.260579
X64=2.932007	m ₆₄ = 1.432007
X65=3.000000	m ₆₅ = 1.50*
X66=2.964557	m ₆₆ = 1.464557
X67=2.825678	m ₆₇ = 1.325678
X68=2.583364	m ₆₈ = 1.083364
X69=2.237613	m ₆₉ = 0.737613
X70=1.788427	m ₇₀ = 0.288427
X71=1.235805	m ₇₁ = -0.264195
X72=0.579747	m ₇₂ = -0.920253
X73=2.379747	m ₇₃ = 0.879747
X74=2.635805	m ₇₄ = 1.135805
X75=2.788427	m ₇₅ = 1.288427
X76=2.837613	m ₇₆ = 1.337613
X77=2.783364	m ₇₇ = 1.283364
X78=2.625678	m ₇₈ = 1.125678
X79=2.364557	m ₇₉ = 0.864557
X80=2.000000	m ₈₀ = 0.50
X81=1.532007	m ₈₁ = 0.032007
X82=0.960579	m ₈₂ = -0.539421
X83=2.760579	m ₈₃ = 1.260579
X84=2.932007	m ₈₄ = 1.432007
X85=3.000000	m ₈₅ = 1.50*
X86=2.964557	m ₈₆ = 1.464557
X87=2.825678	m ₈₇ = 1.325678
X88=2.583364	m ₈₈ = 1.083364
X89=2.237613	m ₈₉ = 0.737613
X90=1.788427	m ₉₀ = 0.288427
X91=1.235805	m ₉₁ = -0.264195
X92=0.579747	m ₉₂ = -0.920253
X93=2.760579	m ₉₃ = 1.260579
X94=2.932007	m ₉₄ = 1.432007

X95=3.000000	$m_{95} = 1.50^*$
X96=2.964557	$m_{96} = 1.464557$
X97=2.825678	$m_{97} = 1.325678$
X98=2.583364	$m_{98} = 1.083364$
X99=2.237613	$m_{99} = 0.737613$
X100=1.788427	$m_{100} = 0.288427$
X101=1.235805	$m_{101} = -0.264195$
X102=0.579747	$m_{102} = -0.920253$
X103=2.760579	$m_{103} = 1.260579$
X104=2.932007	$m_{104} = 1.432007$
X105=3.000000	$m_{105} = 1.50^*$
X106=2.964557	$m_{106} = 1.464557$
X107=2.825678	$m_{107} = 1.325678$
X108=2.583364	$m_{108} = 1.083364$
X109=2.237613	$m_{109} = 0.737613$
X110=1.788427	$m_{110} = 0.288427$
X111=1.235805	$m_{111} = -0.264195$
X112=0.579747	$m_{112} = -0.920253$
X113=2.760579	$m_{113} = 1.260579$
X114=2.932007	$m_{114} = 1.432007$
X115=3.000000	$m_{115} = 1.50^*$
X116=2.964557	$m_{116} = 1.464557$
X117=2.825678	$m_{117} = 1.325678$
X118=2.583364	$m_{118} = 1.083364$
X119=2.237613	$m_{119} = 0.737613$
X120=1.788427	$m_{120} = 0.288427$
X121=1.235805	$m_{121} = -0.264195$
X122=0.579747	$m_{122} = -0.920253$
X123=2.760579	$m_{123} = 1.260579$
X124=2.932007	$m_{124} = 1.432007$
X125=3.000000	$m_{125} = 1.50^*$
X126=2.964557	$m_{126} = 1.464557$
X127=2.825678	$m_{127} = 1.325678$

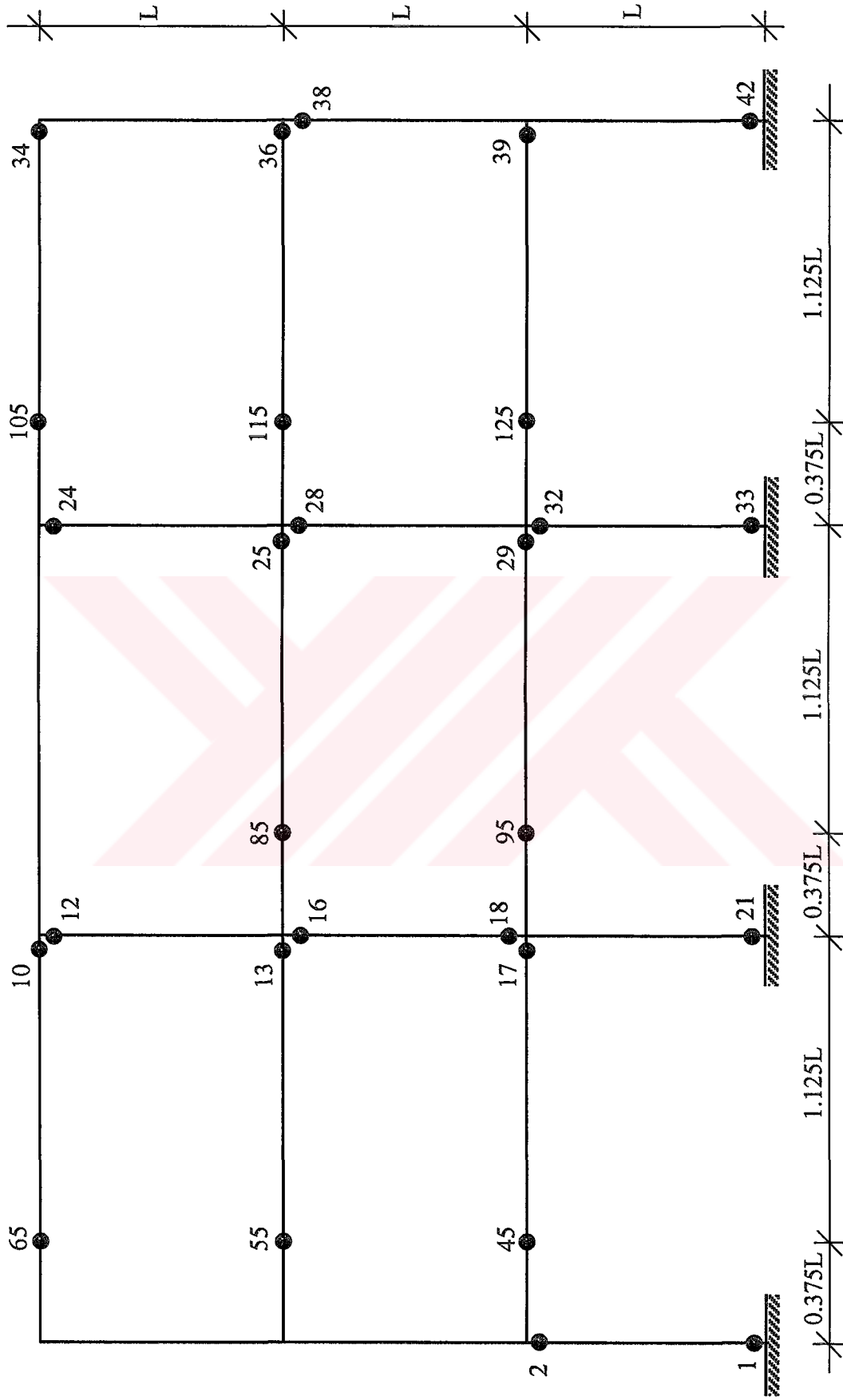
X128=2.583364	$m_{128} = 1.083364$
X129= 2.237613	$m_{129} = 0.737613$
X130=1.788427	$m_{130} = 0.288427$
X131= 1.235805	$m_{131} = -0.264195$
X132= 0.579747	$m_{132} = -0.920253$

Kiriş taşıma momentinin açıklıkta $1.5M_0$, birleşim bölgelerinde $1.3M_0$ olması durumunda göçme yükü parametresi $f=PL^2/M_0=1.021588$ olarak elde edilmiştir. Göz önüne alınan çerçevede toplam 28 (hiperstatiklik derecesi+1) adet mafsalları oluşmuştur. Mafsalların 20 adeti birleşim bölgelerinde, 8 adeti ise açıklıklarda oluşarak çerçeve birleşik mekanizma durumuna girmiştir. Taşıma kapasitesi bakımından monolitik esas sistemle karşılaştırıldığında %4.67 gibi bir kapasite kaybı olduğu görülmüştür. Hesaplamış olduğumuz boyutsuz momentlere bağlı olarak çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler Şekil 5.3 de gösterilmektedir.

5.4 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin $1.4M_0$ Olması Durumunda Çözüm

Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.4M_0$ olması durumunda çözüm yapılacak olursa, bu duruma ait boyutsuz hale getirilen moment denge denklemleri ile kısıtlayıcılar aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned}
X_2+X_3+X_4 &= 5.4 \\
X_5+X_6+X_7 &= 5.4 \\
X_8+X_9 &= 3.4 \\
X_{10}+X_{11}+X_{12} &= 4.8 \\
X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16} &= 6.8 \\
X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{20} &= 6.8 \\
X_{22}+X_{23}+X_{24} &= 4.8 \\
X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28} &= 6.8 \\
X_{29}+X_{30}+X_{31}+X_{32} &= 6.8
\end{aligned}$$



Şekil 5.3 Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.3M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluşturduğu kesitler

$$\begin{aligned}
&X_{34}+X_{35}=3.4 \\
&X_{36}+X_{37}+X_{38}=5.4 \\
&X_{39}+X_{40}+X_{41}=5.4 \\
&-X_6-X_8-X_{12}-X_{14}-X_{24}-X_{26}-X_{35}-X_{37}-6.075X_{133}=-16 \\
&-X_3-X_5-X_{16}-X_{18}-X_{28}-X_{30}-X_{38}-X_{40}-10.125X_{133}=-16 \\
&-X_1-X_2-X_{20}-X_{21}-X_{32}-X_{33}-X_{41}-X_{42}-12.150X_{133}=-16 \\
&-1.425X_4+0.075X_{17}+1.5X_{43}-0.3796875X_{133}=0.36 \\
&-1.275X_4+0.225X_{17}+1.5X_{44}-0.9871875X_{133}=0.78 \\
&-1.125X_4+0.375X_{17}+1.5X_{45}-1.4428125X_{133}=1.20 \\
&-0.975X_4+0.525X_{17}+1.5X_{46}-1.7465625X_{133}=1.62 \\
&-0.825X_4+0.675X_{17}+1.5X_{47}-1.8984375X_{133}=2.04 \\
&-0.675X_4+0.825X_{17}+1.5X_{48}-1.8984375X_{133}=2.46 \\
&-0.525X_4+0.975X_{17}+1.5X_{49}-1.7465625X_{133}=2.88 \\
&-0.375X_4+1.125X_{17}+1.5X_{50}-1.4428125X_{133}=3.30 \\
&-0.225X_4+1.275X_{17}+1.5X_{51}-0.9871875X_{133}=3.72 \\
&-0.075X_4+1.425X_{17}+1.5X_{52}-0.3796875X_{133}=4.14 \\
&-1.425X_7+0.075X_{13}+1.5X_{53}-0.3796875X_{133}=0.36 \\
&-1.275X_7+0.225X_{13}+1.5X_{54}-0.9871875X_{133}=0.78 \\
&-1.125X_7+0.375X_{13}+1.5X_{55}-1.4428125X_{133}=1.20 \\
&-0.975X_7+0.525X_{13}+1.5X_{56}-1.7465625X_{133}=1.62 \\
&-0.825X_7+0.675X_{13}+1.5X_{57}-1.8984375X_{133}=2.04 \\
&-0.675X_7+0.825X_{13}+1.5X_{58}-1.8984375X_{133}=2.46 \\
&-0.525X_7+0.975X_{13}+1.5X_{59}-1.7465625X_{133}=2.88 \\
&-0.375X_7+1.125X_{13}+1.5X_{60}-1.4428125X_{133}=3.30 \\
&-0.225X_7+1.275X_{13}+1.5X_{61}-0.9871875X_{133}=3.72 \\
&-0.075X_7+1.425X_{13}+1.5X_{62}-0.3796875X_{133}=4.14 \\
&-1.425X_9+0.075X_{10}+1.5X_{63}-0.3796875X_{133}=0.36 \\
&-1.275X_9+0.225X_{10}+1.5X_{64}-0.9871875X_{133}=0.78 \\
&-1.125X_9+0.375X_{10}+1.5X_{65}-1.4428125X_{133}=1.20 \\
&-0.975X_9+0.525X_{10}+1.5X_{66}-1.7465625X_{133}=1.62 \\
&-0.825X_9+0.675X_{10}+1.5X_{67}-1.8984375X_{133}=2.04 \\
&-0.675X_9+0.825X_{10}+1.5X_{68}-1.8984375X_{133}=2.46 \\
&-0.525X_9+0.975X_{10}+1.5X_{69}-1.7465625X_{133}=2.88
\end{aligned}$$

-0.375X9+1.125X10+1.5X70-1.4428125X133=3.30
-0.225X9+1.275X10+1.5X71-0.9871875X133=3.72
-0.075X9+1.425X10+1.5X72-0.3796875X133=4.14
-1.425X11+0.075X22+1.5X73-0.3796875X133=0.36
-1.275X11+0.225X22+1.5X74-0.9871875X133=0.78
-1.125X11+0.375X22+1.5X75-1.4428125X133=1.20
-0.975X11+0.525X22+1.5X76-1.7465625X133=1.62
-0.825X11+0.675X22+1.5X77-1.8984375X133=2.04
-0.675X11+0.825X22+1.5X78-1.8984375X133=2.46
-0.525X11+0.975X22+1.5X79-1.7465625X133=2.88
-0.375X11+1.125X22+1.5X80-1.4428125X133=3.30
-0.225X11+1.275X22+1.5X81-0.9871875X133=3.72
-0.075X11+1.425X22+1.5X82-0.3796875X133=4.14
-1.425X15+0.075X25+1.5X83-0.3796875X133=0.36
-1.275X15+0.225X25+1.5X84-0.9871875X133=0.78
-1.125X15+0.375X25+1.5X85-1.4428125X133=1.20
-0.975X15+0.525X25+1.5X86-1.7465625X133=1.62
-0.825X15+0.675X25+1.5X87-1.8984375X133=2.04
-0.675X15+0.825X25+1.5X88-1.8984375X133=2.46
-0.525X15+0.975X25+1.5X89-1.7465625X133=2.88
-0.375X15+1.125X25+1.5X90-1.4428125X133=3.30
-0.225X15+1.275X25+1.5X91-0.9871875X133=3.72
-0.075X15+1.425X25+1.5X92-0.3796875X133=4.14
-1.425X19+0.075X29+1.5X93-0.3796875X133=0.36
-1.275X19+0.225X29+1.5X94-0.9871875X133=0.78
-1.125X19+0.375X29+1.5X95-1.4428125X133=1.20
-0.975X19+0.525X29+1.5X96-1.7465625X133=1.62
-0.825X19+0.675X29+1.5X97-1.8984375X133=2.04
-0.675X19+0.825X29+1.5X98-1.8984375X133=2.46
-0.525X19+0.975X29+1.5X99-1.7465625X133=2.88
-0.375X19+1.125X29+1.5X100-1.4428125X133=3.30
-0.225X19+1.275X29+1.5X101-0.9871875X133=3.72
-0.075X19+1.425X29+1.5X102-0.3796875X133=4.14

-1.425X23+0.075X34+1.5X103-0.3796875X133=0.36
-1.275X23+0.225X34+1.5X104-0.9871875X133=0.78
-1.125X23+0.375X34+1.5X105-1.4428125X133=1.20
-0.975X23+0.525X34+1.5X106-1.7465625X133=1.62
-0.825X23+0.675X34+1.5X107-1.8984375X133=2.04
-0.675X23+0.825X34+1.5X108-1.8984375X133=2.46
-0.525X23+0.975X34+1.5X109-1.7465625X133=2.88
-0.375X23+1.125X34+1.5X110-1.4428125X133=3.30
-0.225X23+1.275X34+1.5X111-0.9871875X133=3.72
-0.075X23+1.425X34+1.5X112-0.3796875X133=4.14
-1.425X27+0.075X36+1.5X113-0.3796875X133=0.36
-1.275X27+0.225X36+1.5X114-0.9871875X133=0.78
-1.125X27+0.375X36+1.5X115-1.4428125X133=1.20
-0.975X27+0.525X36+1.5X116-1.7465625X133=1.62
-0.825X27+0.675X36+1.5X117-1.8984375X133=2.04
-0.675X27+0.825X36+1.5X118-1.8984375X133=2.46
-0.525X27+0.975X36+1.5X119-1.7465625X133=2.88
-0.375X27+1.125X36+1.5X120-1.4428125X133=3.30
-0.225X27+1.275X36+1.5X121-0.9871875X133=3.72
-0.075X27+1.425X36+1.5X122-0.3796875X133=4.14
-1.425X31+0.075X39+1.5X123-0.3796875X133=0.36
-1.275X31+0.225X39+1.5X124-0.9871875X133=0.78
-1.125X31+0.375X39+1.5X125-1.4428125X133=1.20
-0.975X31+0.525X39+1.5X126-1.7465625X133=1.62
-0.825X31+0.675X39+1.5X127-1.8984375X133=2.04
-0.675X31+0.825X39+1.5X128-1.8984375X133=2.46
-0.525X31+0.975X39+1.5X129-1.7465625X133=2.88
-0.375X31+1.125X39+1.5X130-1.4428125X133=3.30
-0.225X31+1.275X39+1.5X131-0.9871875X133=3.72
-0.075X31+1.425X39+1.5X132-0.3796875X133=4.14

X1<4	X34<2.8	X67<3	X100<3
X2<4	X35<4	X68<3	X101<3
X3<4	X36<2.8	X69<3	X102<3
X4<2.8	X37<4	X70<3	X103<3
X5<4	X38<4	X71<3	X104<3
X6<4	X39<2.8	X72<3	X105<3
X7<2.8	X40<4	X73<3	X106<3
X8<4	X41<4	X74<3	X107<3
X9<2.8	X42<4	X75<3	X108<3
X10<2.8	X43<3	X76<3	X109<3
X11<2.8	X44<3	X77<3	X110<3
X12<4	X45<3	X78<3	X111<3
X13<2.8	X46<3	X79<3	X112<3
X14<4	X47<3	X80<3	X113<3
X15<2.8	X48<3	X81<3	X114<3
X16<4	X49<3	X82<3	X115<3
X17<2.8	X50<3	X83<3	X116<3
X18<4	X51<3	X84<3	X117<3
X19<2.8	X52<3	X85<3	X118<3
X20<4	X53<3	X86<3	X119<3
X21<4	X54<3	X87<3	X120<3
X22<2.8	X55<3	X88<3	X121<3
X23<2.8	X56<3	X89<3	X122<3
X24<4	X57<3	X90<3	X123<3
X25<2.8	X58<3	X91<3	X124<3
X26<4	X59<3	X92<3	X125<3
X27<2.8	X60<3	X93<3	X126<3
X28<4	X61<3	X94<3	X127<3
X29<2.8	X62<3	X95<3	X128<3
X30<4	X63<3	X96<3	X129<3
X31<2.8	X64<3	X97<3	X130<3
X32<4	X65<3	X98<3	X131<3
X33<4	X66<3	X99<3	X132<3

Denklem takımının çözümünden elde edilen X_i değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan m_i boyutsuz moment değerleri aşağıda verilmektedir.

$$f=PL^2/M_0= X133=1.046592$$

$X_1=0.000000$	$m_1 = X_1-K_1= 0.00-2.00 = -2.00 *$
$X_2=2.875588$	$m_2 = 0.875588$
$X_3=0.000000$	$m_3 = -2.00*$
$X_4=2.524412$	$m_4 = 1.124412$
$X_5=0.000000$	$m_5 = -2.00*$
$X_6=2.875588$	$m_6 = 0.875588$
$X_7=2.524412$	$m_7 = 1.124412$
$X_8=0.875588$	$m_8 = -1.124412$
$X_9=2.524412$	$m_9 = 1.124412$
$X_{10}=2.800000$	$m_{10} = 1.40 *$
$X_{11}=2.000000$	$m_{11} = 0.60$
$X_{12}=0.000000$	$m_{12} = -2.00 *$
$X_{13}=2.800000$	$m_{13} = 1.40 *$
$X_{14}=1.475588$	$m_{14} = -0.524412$
$X_{15}=2.524412$	$m_{15} = 1.124412$
$X_{16}=0.000000$	$m_{16} = -2.00 *$
$X_{17}=2.800000$	$m_{17} = 1.40 *$
$X_{18}=1.475588$	$m_{18} = -0.524412$
$X_{19}=2.524412$	$m_{19} = 1.124412$
$X_{20}=0.000000$	$m_{20} = -2.00*$
$X_{21}=0.000000$	$m_{21} = -2.00 *$
$X_{22}=2.800000$	$m_{22} = 1.40*$
$X_{23}=2.000000$	$m_{23} = 0.60$
$X_{24}=0.000000$	$m_{24} = -2.00 *$
$X_{25}=2.800000$	$m_{25} = 1.40 *$
$X_{26}=1.475588$	$m_{26} = -0.524412$
$X_{27}=2.524412$	$m_{27} = 1.124412$
$X_{28}=0.000000$	$m_{28} = -2.00*$

X29=2.800000	m ₂₉ = 1.40 *
X30=1.475588	m ₃₀ = -0.524412
X31=2.524412	m ₃₁ = 1.124412
X32=0.000000	m ₃₂ = -2.00 *
X33=0.000000	m ₃₃ = -2.00 *
X34=2.800000	m ₃₄ = 1.40 *
X35=0.600000	m ₃₅ = -1.40
X36=2.600000	m ₃₆ = 1.40 *
X37=2.339602	m ₃₇ = 0.339602
X38=0.260398	m ₃₈ = -1.739602
X39=2.800000	m ₃₉ = 1.40 *
X40=2.191682	m ₄₀ = 0.191682
X41=0.408318	m ₄₁ = -1.591682
X42=0.000000	m ₄₂ = -2.00 *
X43=2.763110	m ₄₃ = 1.263110
X44=2.934539	m ₄₄ = 1.434539
X45=3.000000	m ₄₅ = 1.50*
X46=2.959494	m ₄₆ = 1.459494
X47=2.813020	m ₄₇ = 1.313020
X48=2.560579	m ₄₈ = 1.060579
X49=2.202170	m ₄₉ = 0.702170
X50= 1.737794	m ₅₀ = 0.237794
X51=1.167450	m ₅₁ = -0.332550
X52=0.491139	m ₅₂ = -1.008861
X53 =2.763110	m ₅₃ = 1.263110
X54=2.934539	m ₅₄ = 1.434539
X55=3.000000	m ₅₅ = 1.50*
X56=2.959494	m ₅₆ = 1.459494
X57=2.813020	m ₅₇ = 1.313020
X58=2.560579	m ₅₈ = 1.060579
X59=2.202170	m ₅₉ = 0.702170
X60=1.737794	m ₆₀ = 0.237794

X61=1.167450	m ₆₁ = -0.332550
X62=0.491139	m ₆₂ = -1.008861
X63=2.763110	m ₆₃ = 1.263110
X64=2.934539	m ₆₄ = 1.434539
X65=3.000000	m ₆₅ = 1.50*
X66=2.959494	m ₆₆ = 1.459494
X67=2.813020	m ₆₇ = 1.313020
X68=2.560579	m ₆₈ = 1.060579
X69=2.202170	m ₆₉ = 0.702170
X70=1.737794	m ₇₀ = 0.237794
X71=1.167450	m ₇₁ = -0.332550
X72=0.491139	m ₇₂ = -1.008861
X73=2.264919	m ₇₃ = 0.764919
X74=2.488788	m ₇₄ = 0.988788
X75=2.606691	m ₇₅ = 1.106691
X76=2.618626	m ₇₆ = 1.118626
X77=2.524593	m ₇₇ = 1.024593
X78=2.324593	m ₇₈ = 0.824593
X79=2.018625	m ₇₉ = 0.518625
X80=1.606691	m ₈₀ = 0.106691
X81=1.088789	m ₈₁ = -0.411211
X82=0.464919	m ₈₂ = -1.035081
X83=2.763110	m ₈₃ = 1.263110
X84=2.934539	m ₈₄ = 1.434539
X85=3.000000	m ₈₅ = 1.50*
X86=2.959494	m ₈₆ = 1.459494
X87=2.813020	m ₈₇ = 1.313020
X88=2.560579	m ₈₈ = 1.060579
X89=2.202170	m ₈₉ = 0.702170
X90=1.737794	m ₉₀ = 0.237794
X91=1.167450	m ₉₁ = -0.332550
X92=0.491139	m ₉₂ = -1.008861

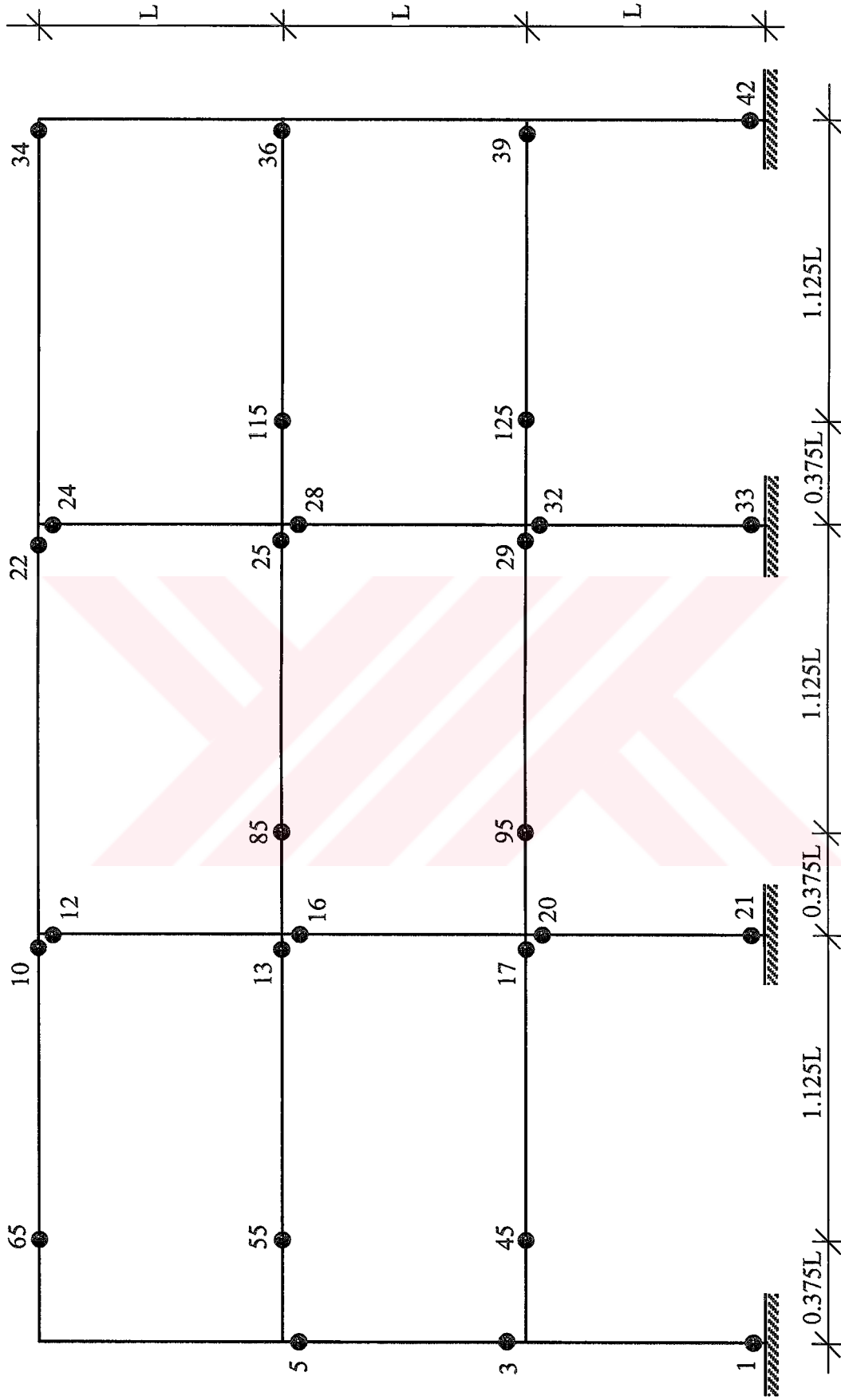
X93=2.763110	m ₉₃ = 1.263110
X94=2.934539	m ₉₄ = 1.434539
X95=3.000000	m ₉₅ = 1.50*
X96=2.959494	m ₉₆ = 1.459494
X97=2.813020	m ₉₇ = 1.313020
X98=2.560579	m ₉₈ = 1.060579
X99=2.202170	m ₉₉ = 0.702170
X100=1.737794	m ₁₀₀ = 0.237794
X101=1.167450	m ₁₀₁ = -0.332550
X102= 0.491139	m ₁₀₂ = -1.008861
X103=2.264919	m ₁₀₃ = 0.764919
X104=2.488788	m ₁₀₄ = 0.988788
X105=2.606691	m ₁₀₅ = 1.106691
X106=2.618626	m ₁₀₆ = 1.118626
X107=2.524593	m ₁₀₇ = 1.024593
X108=2.324593	m ₁₀₈ = 0.824593
X109=2.018625	m ₁₀₉ = 0.518625
X110=1.606691	m ₁₁₀ = 0.106691
X111=1.088789	m ₁₁₁ = -0.411211
X112=0.464919	m ₁₁₂ = -1.035081
X113=2.763110	m ₁₁₃ = 1.263110
X114=2.934539	m ₁₁₄ = 1.434539
X115=3.000000	m ₁₁₅ = 1.50*
X116=2.959494	m ₁₁₆ = 1.459494
X117=2.813020	m ₁₁₇ = 1.313020
X118=2.560579	m ₁₁₈ = 1.060579
X119=2.202170	m ₁₁₉ = 0.702170
X120=1.737794	m ₁₂₀ = 0.237794
X121=1.167450	m ₁₂₁ = -0.332550
X122=0.491139	m ₁₂₂ = -1.008861
X123=2.763110	m ₁₂₃ = 1.263110
X124=2.934539	m ₁₂₄ = 1.434539

X125=3.000000	$m_{125} = 1.50^*$
X126=2.959494	$m_{126} = 1.459494$
X127=2.813020	$m_{127} = 1.313020$
X128=2.560579	$m_{128} = 1.060579$
X129= 2.202170	$m_{129} = 0.702170$
X130=1.737794	$m_{130} = 0.237794$
X131= 1.167450	$m_{131} = -0.332550$
X132= 0.491139	$m_{132} = -1.008861$

Kiriş taşıma momentinin açıklıkta $1.5M_0$, birleşim bölgelerinde $1.4M_0$ olması durumunda göçme yükü parametresi $f=PL^2/M_0=1.046592$ olarak elde edilmiştir. Göz önüne alınan çerçevede toplam 28 (hiperstatiklik derecesi+1) adet mafsalları oluşmuştur. Mafsalların 21 adeti birleşim bölgelerinde, 7 adeti ise açıklıklarda oluşarak çerçeve birleşik mekanizma durumuna girmiştir. Taşıma kapasitesi bakımından monolitik esas sistemle karşılaştırıldığında %2.33 gibi bir kapasite kaybı olduğu görülmüştür. Hesaplamış olduğumuz boyutsuz momentlere bağlı olarak çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler Şekil 5.4 de gösterilmektedir.

5.5 Birleşim Bölgelerinde Kiriş Taşıma Momentinin Değişimine ait Çözümlerin Değerlendirilmesi

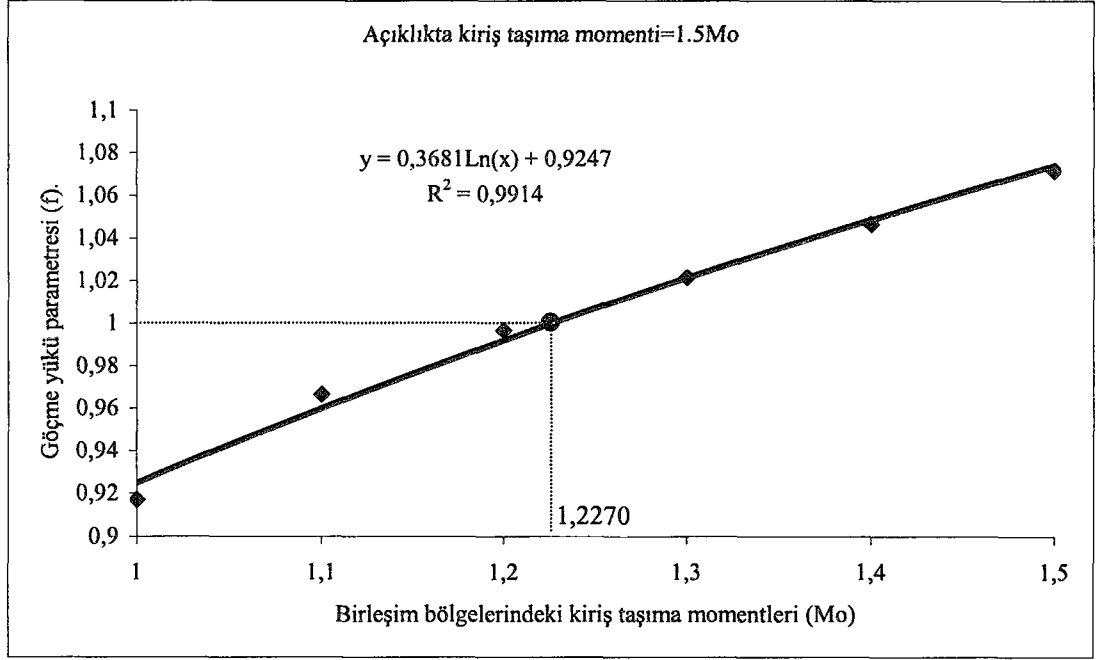
Prefabrike betonarme çerçevelerin birleşim bölgelerinde birleşimlerin dönme redörlerine bağlı olarak değişen farklı kiriş taşıma momentlerinin göz önüne alınması ile yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1 de toplu olarak verilmektedir. Ayrıca birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentleri ile göçme yükü parametresi arasındaki ilişki Şekil 5.5 de, kiriş taşıma momentlerinin oranı ile göçme yükü parametresi arasındaki ilişki Şekil 5.6 da, göçme yükü parametresi ve taşıma kaybı ile birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentleri arasındaki ilişkiler Şekil 5.7 de gösterilmektedir.



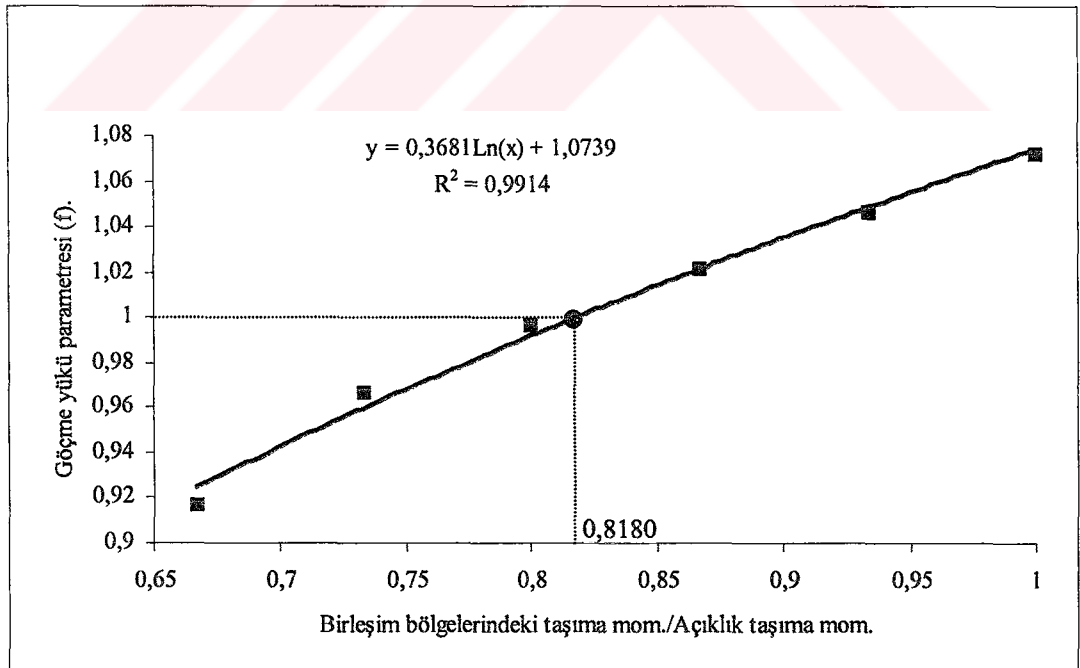
Şekil 5.4 Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentinin $1.4M_0$ olması durumunda çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler

Çizelge 5.1 Birleşim bölgelerinde kiriş taşıma momentlerinin değişimine ait çözüm sonuçları

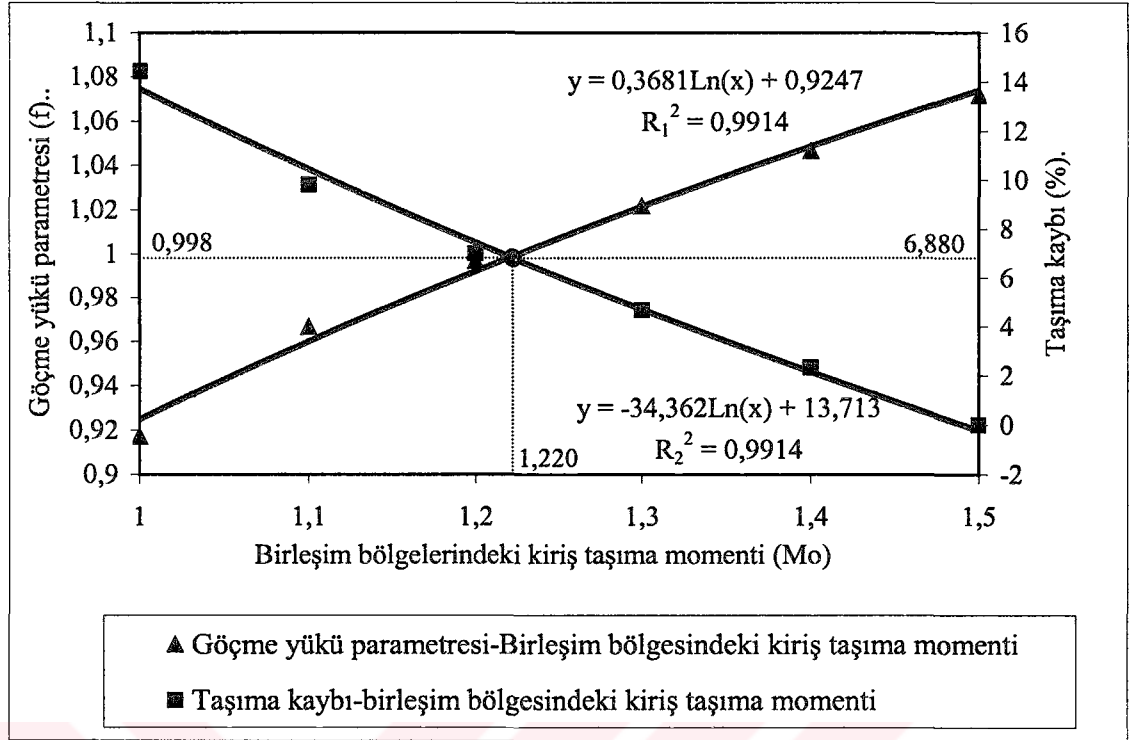
KIRIŞ TAŞIMA MOMENTİ		GÖÇME YÜKÜ PARAMETRESİ $f=PL^2/M_0$	ÇERÇEVEDE MAFSALLARIN OLUŞMA YERLERİ VE SAYISI			TAŞIMA KAYBI (%)
AÇIKLIK	BİRLEŞİM BÖLGESİ		BİRLEŞİM BÖLGESİ	AÇIKLIK	TOPLAM	
1.5 M ₀	M ₀	0.9171076	30	-	30	14.42
1.5 M ₀	1.1 M ₀	0.9664903	28	-	28	9.81
1.5 M ₀	1.2 M ₀	0.9965843	20	8	28	7.00
1.5 M ₀	1.3 M ₀	1.021588	20	8	28	4.67
1.5 M ₀	1.4 M ₀	1.046592	21	7	28	2.33
1.5 M ₀	1.5 M ₀	1.071596	21	7	28	0.00



Şekil 5.5 Birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerinin değişimine bağlı olarak göçme yükü parametresinin değişimi



Şekil 5.6 Kiriş taşıma momentlerinin oranına bağlı olarak göçme yükü parametresinin değişimi



Şekil 5.7 Birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerine bağlı olarak göçme yükü parametresi ve taşıma kaybının değişimi

Birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentleri ile göçme yükü parametresi arasındaki ilişkinin gösterildiği Şekil 5.5 ile kiriş taşıma momentlerinin oranı ile göçme yükü parametresi arasındaki ilişkinin gösterildiği Şekil 5.6 incelendiğinde; birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerinin $\Delta M = 1.5M_0 - 1.2M_0 = 0.3M_0$ (% 20) dan daha fazla kaybı halinde göçme yükü parametresi 1'den daha küçük değerlere gitmekte ve çerçevedeki bütün mafsallar birleşim bölgelerinde oluşarak, çerçeve yalın mekanizma durumlarından mafsal mekanizması durumuna girmektedir. Ayrıca birleşim bölgelerindeki kiriş taşıma momentlerine bağlı olarak göçme yükü parametresi ile taşıma kaybı değişimini gösteren Şekil 5.7 incelendiğinde; birleşim bölgesindeki kiriş taşıma momenti-göçme yükü parametresi ve birleşim bölgesindeki kiriş taşıma momenti-taşıma kaybı grafiklerinin kesim noktasında, birleşim bölgesindeki kiriş taşıma momentinin yaklaşık $1.22M_0$ olması durumunda göçme yükü parametresinin $f=0.998$ ve taşıma kaybının yaklaşık %6.880 olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarında bir miktar dönmelerin olduğu bilinen bir gerçektir. Bu tip yapıların analizi yapılırken, birleşim noktalarındaki dönmeler nedeni ile oluşan taşıma kayıplarının göz önüne alınarak çözüm yapılması uygundur. Bu çalışmada verilen hesap tekniği, prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarındaki dönmeler nedeni ile oluşan taşıma kayıplarının göz önüne alındığı bir çözüm tekniğidir.

Çalışmada kullanılan hesap tekniği ile yapılan çözümlerin sonucunda aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür:

1) Prefabrike betonarme çerçevelerde, monolitik betonarme çerçevelere nazaran taşıma kaybı olduğu kesindir. Prefabrike betonarme çerçevelerdeki taşıma kaybına, bu yapıların birleşim noktalarındaki bağlantıların yeterince rijit yapılamamasından kaynaklanan dönmelerin neden olduğu söylenebilir. Birleşimlerin dönme redörlerine göre değişen farklı taşıma momentleri göz önüne alınarak, çalışmada verilen hesap tekniği ile yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlara göre; prefabrike betonarme çerçevelerde monolitik betonarme çerçevelere nazaran yaklaşık % 2.33-14.42 arasında değişen oranda taşıma kaybı olduğu görülmüştür

2) Prefabrike betonarme çerçevelerdeki taşıma kaybı arttıkça, hesap sonucunda elde edilen göçme yükü parametresi ($f=PL^2/M_0$) değerinin küçüldüğü görülmektedir. Bu sonuçtan yola çıkarak prefabrike betonarme çerçevelerin monolitik betonarme çerçevelere nazaran daha küçük göçme yükü ile göçeceği söylenebilir.

3) Prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarındaki taşıma kayıpları arttıkça, mevcut yükler altında sistemde oluşacak olan mafsallar birleşim

noktalarına doğru kaymakta ve sistem yalın mekanizma durumlarından mafsallık mekanizması durumuna girme eğilimi göstermektedir.

4) Prefabrike betonarme çerçeve yapıların birleşim noktalarındaki taşıma kaybı çok fazla ise yani birleşim noktalarındaki bağlantılar yeterince rijit yapılamamış ise sistem mekanizma durumuna girerken, oluşması gereken mafsallardan son mafsallık oluşması sırasında ani olarak daha fazla mafsallık oluşmakta ve sistem taşıma özelliğini yitirerek, labil duruma geçmektedir. Bu da sistemin yeterince rijit olmadığını göstermektedir.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda, çalışmayla ilgili olarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

a) Prefabrike konut yapı inşaatlarının düşey ve yatay yüklere göre hesabında, çalışmamızda verilen hesap tekniğinin uygulanması gerçek göçme yükünün belirlenmesi açısından uygundur.

b) Göçme yükünden ne kadar uzakta kalınacağı standart konusu olup, bu konunun standartlara konulmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Ayrıca hesaplar göçmeye bağlı olarak yapılmış olduğundan $P_{işletme}/P_{göçme}$ değeri hesaplanarak, bu değer yapının göçmeye karşı güvenlik sayısı olarak belirlenebilir.

c) Prefabrike çerçeve yapıların birleşim noktalarındaki dönme redörlerinin deneysel olarak belirlendikten sonra, hesaplara katılarak çözüm yapılmasında fayda görülmektedir.

d) Hesap tekniğinin açıklanması amacıyla [36] nolu literatürde verilen dört katlı ve üç açıklıklı bir çerçevenin çözümü bilgi için ekte verilmiştir.

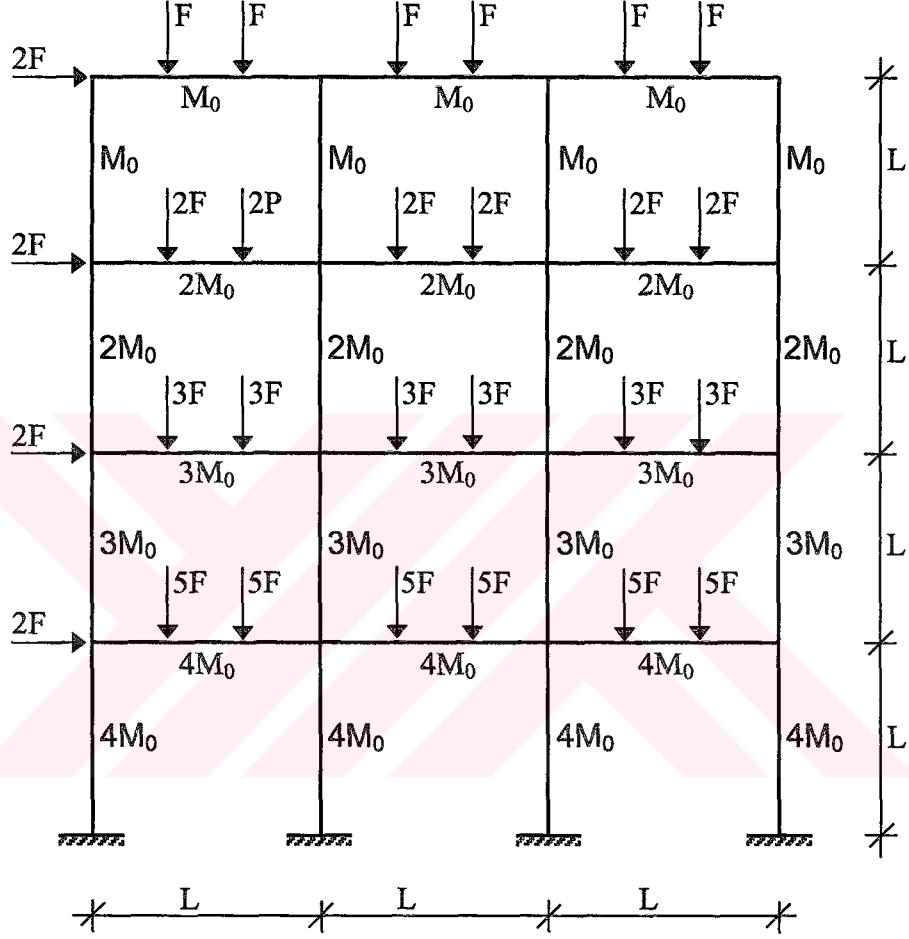
Genel olarak prefabrike betonarme çerçevelerde monolitik betonarme çerçevelere nazaran, birleşim noktalarındaki bağlantıların yeterince rijit yapılamamasından kaynaklanan taşıma kayıplarının olduğu bir gerçektir. Prefabrike konut inşaatlarında kirişlerin kolonlarla birleştiği düğüm noktalarında kirişin

mesnetteki taşıma kapasitesinin azalması ve birleşimin rijitliğinin azalmasında en fazla $1.5M_0 - 1.2M_0 = 0.3M_0 / 1.5M_0 = \%20$ oranında bir azalmaya müsaade edilmesi uygun görülmektedir. Bu orandan daha fazla taşıma kaybı olması durumunda yapı karmaşık mekanizma durumuna girmeden yalın mafsalsal mekanizması ile taşıma özelliğini yitirmektedir. Taşıma kaybının miktarı, birleşim noktalarındaki bağlantıların rijitliği ile değişmekle beraber, prefabrike betonarme çerçeveler ile monolitik betonarme çerçeveler arasında yaklaşık %10 civarında bir taşıma kaybından söz etmek mümkündür. Bu nedenle prefabrike betonarme çerçeve yapıların analizi yapılırken, taşıma kayıplarının göz önünde bulundurularak hesap yapılması uygun görülmektedir.



EK

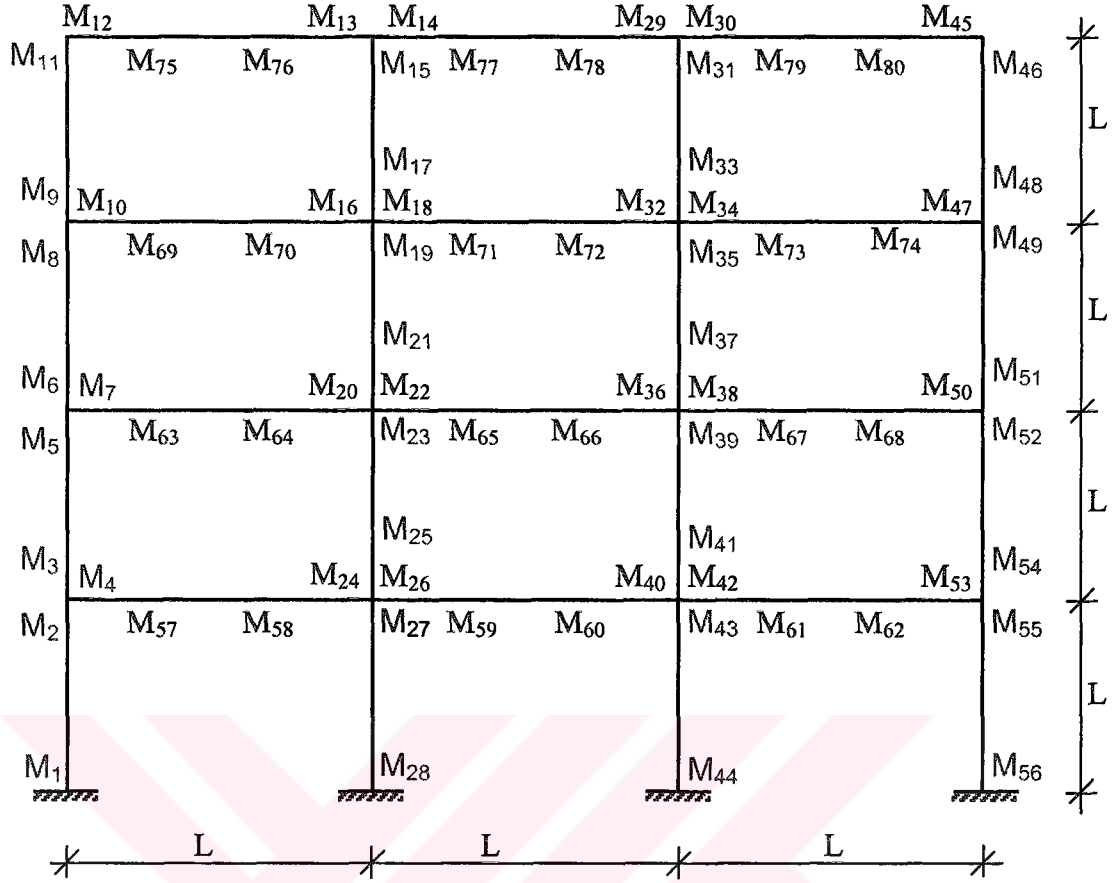
[36] nolu literatürde bulunan dört katlı ve üç açıklıklı bir çerçevenin çalışmamızda verilen hesap tekniği ile çözümü :



Şekil 1 [36] nolu literatürde çözümü yapılan çerçeve

[36] nolu literatürde çözümü yapılan çerçevenin kritik kesitlerinde göz önüne alınacak momentler Şekil 2 de gösterilmektedir. Bu çerçeveye ait boyutsuz moment denge denklemleri ve kısıtlayıcılar aşağıda verilmektedir.

$$\begin{aligned} X_2 + X_3 + X_4 &= 11 \\ X_5 + X_6 + X_7 &= 8 \\ X_8 + X_9 + X_{10} &= 5 \\ X_{11} + X_{12} &= 2 \\ X_{13} + X_{14} + X_{15} &= 3 \\ X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} &= 7 \end{aligned}$$



Şekil 2 Kritik kesitlerde oluşan momentler

$$X_{20}+X_{21}+X_{22}+X_{23}=11$$

$$X_{24}+X_{25}+X_{26}+X_{27}=15$$

$$X_{29}+X_{30}+X_{31}=3$$

$$X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35}=7$$

$$X_{36}+X_{37}+X_{38}+X_{39}=11$$

$$X_{40}+X_{41}+X_{42}+X_{43}=15$$

$$X_{45}+X_{46}=2$$

$$X_{47}+X_{48}+X_{49}=5$$

$$X_{50}+X_{51}+X_{52}=8$$

$$X_{53}+X_{54}+X_{55}=11$$

$$-X_1-X_2-X_{27}-X_{28}-X_{43}-X_{44}-X_{55}-X_{56}-8X_{81}=-32$$

$$-X_3-X_5-X_{23}-X_{25}-X_{39}-X_{41}-X_{52}-X_{54}-6X_{81}=-24$$

$$-X_6-X_8-X_{19}-X_{21}-X_{35}-X_{37}-X_{49}-X_{51}-4X_{81}=-16$$

$$-X_9-X_{11}-X_{15}-X_{17}-X_{31}-X_{33}-X_{46}-X_{48}-2X_{81}=-8$$

$$-2X_4+X_{24}+3X_{57}-5X_{81}=8$$

$$-X_4+2X_{24}+3X_{58}-5X_{81}=16$$

$$-2X_{26}+X_{40}+3X_{59}-5X_{81}=8$$

$$-X_{26}+2X_{40}+3X_{60}-5X_{81}=16$$

$$-2X_{42}+X_{53}+3X_{61}-5X_{81}=8$$

$$-X_{42}+2X_{53}+3X_{62}-5X_{81}=16$$

$$\begin{aligned}
& -2X7+X20+3X63-3X81=6 \\
& -X7+2X20+3X64-3X81=12 \\
& -2X22+X36+3X65-3X81=6 \\
& -X22+2X36+3X66-3X81=12 \\
& -2X38+X50+3X67-3X81=6 \\
& -X38+2X50+3X68-3X81=12 \\
& -2X10+X16+3X69-2X81=4 \\
& -X10+2X16+3X70-2X81=8 \\
& -2X18+X32+3X71-2X81=4 \\
& -X18+2X32+3X72-2X81=8 \\
& -2X34+X47+3X73-2X81=4 \\
& -X34+2X47+3X74-2X81=8 \\
& -2X12+X13+3X75-X81=2 \\
& -X12+2X13+3X76-X81=4 \\
& -2X14+X29+3X77-X81=2 \\
& -X14+2X29+3X78-X81=4 \\
& -2X30+X45+3X79-X81=2 \\
& -X30+2X45+3X80-X81=4
\end{aligned}$$

X1<8	X21<4	X41<6	X61<8
X2<8	X22<6	X42<8	X62<8
X3<6	X23<6	X43<8	X63<6
X4<8	X24<8	X44<8	X64<6
X5<6	X25<6	X45<2	X65<6
X6<4	X26<8	X46<2	X66<6
X7<6	X27<8	X47<4	X67<6
X8<4	X28<8	X48<2	X68<6
X9<2	X29<2	X49<4	X69<4
X10<4	X30<2	X50<6	X70<4
X11<2	X31<2	X51<4	X71<4
X12<2	X32<4	X52<6	X72<4
X13<2	X33<2	X53<8	X73<4
X14<2	X34<4	X54<6	X74<4
X15<2	X35<4	X55<8	X75<2
X16<4	X36<6	X56<8	X76<2
X17<2	X37<4	X57<8	X77<2
X18<4	X38<6	X58<8	X78<2
X19<4	X39<6	X59<8	X79<2
X20<6	X40<8	X60<8	X80<2

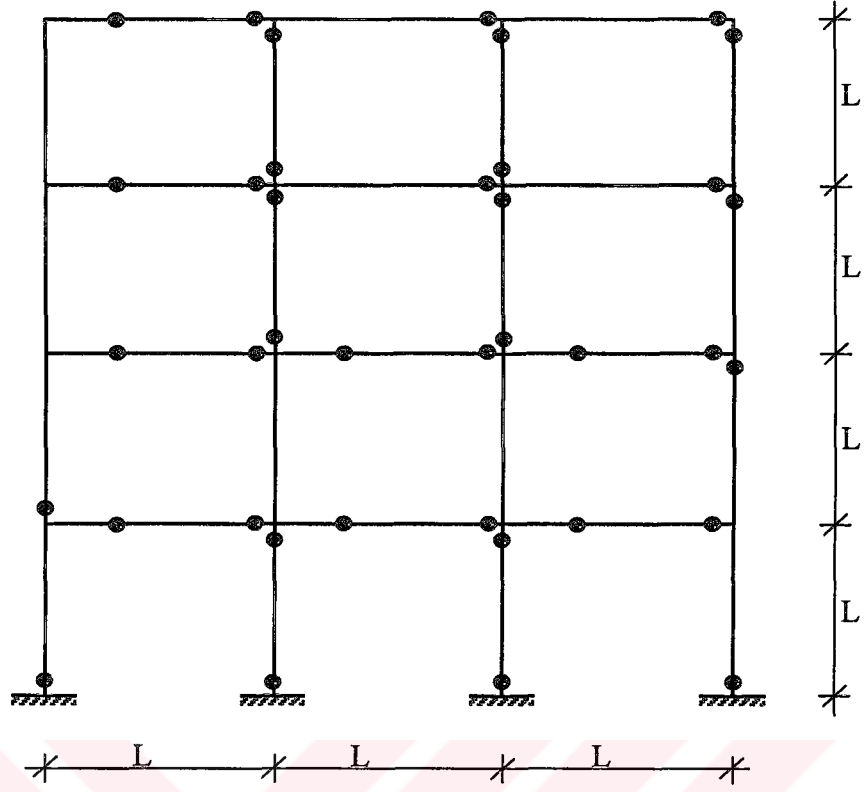
Yukarıda verilen denklem takımının çözümünden elde edilen X_i değerleri ve bu değerlere bağlı olarak hesaplanan m_i boyutsuz moment değerleri aşağıda verilmektedir.

$$f=FL/M_0= X81= 2.865672$$

X1=0.000000	m ₁ =-4.00*
X2=6.164179	m ₂ =2.164179
X3=0.000000	m ₃ =-3.00*
X4=4.835821	m ₄ =0.835821
X5=1.791045	m ₅ =-1.208955
X6=1.507463	m ₆ =-0.492537
X7=4.701492	m ₇ =1.701492
X8=1.029851	m ₈ =-0.970149
X9=0.835821	m ₉ =-0.164179
X10=3.134328	m ₁₀ =1.134328
X11=0.432836	m ₁₁ =-0.567164
X12=1.567164	m ₁₂ =0.567164
X13=2.000000	m ₁₃ =1.00*
X14=1.000000	m ₁₄ =0.00
X15=0.000000	m ₁₅ =-1.00*
X16=4.000000	m ₁₆ =2.00*
X17=0.000000	m ₁₇ =-1.00*
X18=3.000000	m ₁₈ =1.00
X19=0.000000	m ₁₉ =-2.00*
X20=6.000000	m ₂₀ =3.00*
X21=0.000000	m ₂₁ =-2.00*
X22=4.701492	m ₂₂ =1.701492
X23=0.298507	m ₂₃ =-2.701493
X24=8.000000	m ₂₄ =4.00*
X25=2.164179	m ₂₅ =-0.835821
X26=4.835821	m ₂₆ =0.835821
X27=0.000000	m ₂₇ =-4.00*
X28=0.000000	m ₂₈ =-4.00*
X29=2.000000	m ₂₉ =1.00*
X30=1.000000	m ₃₀ =0.00
X31=0.000000	m ₃₁ =-1.00*
X32=4.000000	m ₃₂ =2.00*
X33=0.000000	m ₃₃ =-1.00*
X34=3.000000	m ₃₄ =1.00
X35=0.000000	m ₃₅ =-2.00*
X36=6.000000	m ₃₆ =3.00*
X37=0.000000	m ₃₇ =-2.00*
X38=4.701492	m ₃₈ =1.701492
X39=0.298507	m ₃₉ =-2.701493
X40=8.000000	m ₄₀ =4.00*
X41=2.164179	m ₄₁ =-0.835821
X42=4.835821	m ₄₂ =0.835821
X43=0.000000	m ₄₃ =-4.00*
X44=0.000000	m ₄₄ =-4.00*
X45=2.000000	m ₄₅ =1.00*
X46=0.000000	m ₄₆ =-1.00*
X47=4.000000	m ₄₇ =2.00*

X48=1.000000	m ₄₈ =0.00
X49=0.000000	m ₄₉ =-2.00*
X50=6.000000	m ₅₀ =3.00*
X51=2.000000	m ₅₁ =0.00
X52=0.000000	m ₅₂ =-3.00*
X53=8.000000	m ₅₃ =4.00*
X54=0.089552	m ₅₄ =-2.910448
X55=2.910448	m ₅₅ =-1.089552
X56=0.000000	m ₅₆ =-4.00*
X57=8.000000	m ₅₇ =4.00*
X58=6.388060	m ₅₈ =2.388060
X59=8.000000	m ₅₉ =4.00*
X60=6.388060	m ₆₀ =2.388060
X61=8.000000	m ₆₁ =4.00*
X62=6.388060	m ₆₂ =2.388060
X63=6.000000	m ₆₃ =3.00*
X64=4.432836	m ₆₄ =1.432836
X65=6.000000	m ₆₅ =3.00*
X66=4.432836	m ₆₆ =1.432836
X67=6.000000	m ₆₇ =3.00*
X68=4.432836	m ₆₈ =1.432836
X69=4.000000	m ₆₉ =2.00*
X70=2.955224	m ₇₀ =0.955224
X71=3.910448	m ₇₁ =1.910448
X72=2.910448	m ₇₂ =0.910448
X73=3.910448	m ₇₃ =1.910448
X74=2.910448	m ₇₄ =0.910448
X75=2.000000	m ₇₅ =1.00*
X76=1.477612	m ₇₆ =0.477612
X77=1.621891	m ₇₇ =0.621891
X78=1.288557	m ₇₈ =0.288557
X79=1.621891	m ₇₉ =0.621891
X80=1.288557	m ₈₀ =0.288557

Hesaplanan boyutsuz momentlere bağılı olarak çerçevede mafsalların oluştuğu kesitler Şekil 3 de gösterilmektedir. [36] nolu literatürde bu çerçeveye ait göçme yükü parametresi $f=FL/M_0=2.866$ hesaplanırken, çalışmamızda verilen hesap tekniği ile yapılan çözümlerin sonucunda bu değer $f=FL/M_0=2.865672$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3 Çerçeve mafsalların oluştuğu kesitler

KAYNAKLAR

- [1] Özden, K., “Betonarme ve Öngerilmeli Beton Prefabrike Taşıyıcı Eleman, Sistem ve Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları-Öneri”, Deprem Mükendisliği Türk Milli Komitesi Yayınları, İstanbul, (1988).
- [2] Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, TS 9967, Birinci Baskı, (1992).
- [3] Ayaydın, Y., “Betonarme Çok Katlı Prefabrike İskelet Sistemler”, Çağdaş Yapım Sistemleri Yayın Dizisi, Cilt 1-2, İstanbul, (1992).
- [4] Tuna, M.E., “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, Gazi Üniversitesi, Ankara, Kasım, (2000).
- [5] Yağcı, S., “Behaviour of an Improved Exterior Precast Beam-Column Joint Under Reversed Cyclic Loading”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, (1993).
- [6] Özden, K., “Prefabrike İnşaat Şartname Hükümleri ve Hesap Esasları”, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul, 23-26 Haziran, (1997),29.
- [7] Başığit, C., Terzi, S., Gençer, Ö., “Marmara Depremi Sonrası Prefabrike Yapılardaki Hasarlar ve Çözüm Önerileri”, 10. Prefabrikasyon Sempozyumu, İstanbul, (2000).
- [8] Pillai, S.U., Kirk, D.W., “Ductile Beam-Column Connections in Precast Concrete”, *ACI Structural Journal*, 78, 6, Nov.-Dec. (1981), Pages 480-487.
- [9] French, C.W., Hafner, M., Jayashankar, V., “Connection Between Precast Elements-Failure Within Connection Region”, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 115, 12, Dec. (1989), Pages 3171-3192.
- [10] Sucuoğlu, H., Kuş, A.Y., “Prefabrike Kiriş-Kolon Birleşim Rijitliğinin Çerçeve Deprem Davranışına etkisi”, Prefabrik Birliği, Sayı 25, Ocak (1993),5.
- [11] Elliott, K.S., Davies, G., Görgün, H., “The Determination of Moment-Rotation in Semirigid Precast Concrete Connections Using the Component Method”, COST C1 The Second State of The Art Workshop, Control of the Semi-Rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections, Prague, 26-28 October (1994), Pages 31-40.
- [12] Ersoy, U., Tankut, T., Özcebe, G., “Prefabrike Betonarme Yapı Birleşimlerinin Deprem davranışı”, Poje No: INTAG 504, Sonuç Raporu, Ankara, Ocak (1995).

- [13] Sucuoğlu, H., Öndökümlü Beton Yapı Birleşimlerinin Deprem Dayanımı”, Tübitak destekli INTAG 501(Mag 739/A) Projesi, Ankara , Şubat (1995).
- [14] Elliott, K.S., Davies, G., Görgün, H., “Component Method Validation Test in Precast Concrete Semi-Rigid Connections”, IABSE Colloquium Semi-Rigid Structural Connections, İstanbul, (1996), Pages 299-308.
- [15] Çolak M., “Prefabrike Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Elastik Dönme Redörünün Hesabı”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, (1996).
- [16] Elliott, K.S., Davies, G., Görgün, H., “Semi-Rigid Connections İn Precast Concrete Frames”, FIB Symposium, (1997).
- [17] Christopher, J.E., Bjorhovde, R., “Response Characteristics of Frames with Semi-Rigid Connections”, *J.Construct. Steel Res.*, Vol 46, Pages 253-254, Paper Number 141, (1998).
- [18] Viridi, K.S., Ragupathy, P., Elliott, K.S., Davies, G., Görgün, H., “Semi-Rigid frame Analysis using Rigorous and Simplified Methods”, COST C1 International Conference, Control of the Semi-Rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections, Liege, 17 to 19 September (1998), Pages 75-84.
- [19] Elliott, K.S., Davies, G., Mahdi, A., Görgün, H., “Precast Concrete Semi-Rigid Beam to Column Connections in Skeletal Frames”, COST C1 International Conference, Control of the Semi-Rigid Behaviour of Civil Engineering Structural Connections, Liege, 17 to 19 September (1998), Pages 45-54
- [20] Cheok, G.S., Stone, W.C., Kunnath,S.K., “Seismic Response of Precast Concrete Frames with Hybrid Connections”, *ACI Structural Journal*, Sep.-Oct. (1998), Pages 527-539.
- [21] Nakaki, S.D., Stanton, J.F., Sritharon, S., “An Overview of the Press Five-Story Precast test Building”, Special Report, *PCI Journal*, March-April (1999), Pages 26-39.
- [22] Alcocer, S.M., Carranza, R., Perez-Navarrete, D., “Behaviour of a Precast Concrete Beam-Column Connection”, 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zeland, (2000), Paper No:1543.
- [23] El-Sheikh, M., Pessiki, S., Sause, R., Le-Wu Lu, “Moment Rotation Behavior of Unbonded Post-Tensioned precast Concrete Beam-Column Connections”, *ACI Structural Journal*, Jan.-Feb., (2000), Pages 122-131.
- [24] Elliott, K.S., “Research and Development in Precast Concrete Frame Structures”, *Progress in Structural Engineering and Materials*, Volume 2, Issue 4, October-December (2000), Pages 405-428.

- [25] Pampanın, S., Priestley, M.N.J., Sritharan,S., “Analytical Modelling of the Seismic Behaviour of Precast Concrete Frames Designed with Ductile Connections”, *Journal of Earthquake Engineering*, Vol.5, No.3, (2001), Pages 329-367.
- [26] Gülay, G., Çolak, M., “Birleşim Noktalarının Elastik Dönme Redörünün Hesabı”, Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul, 23-26 Haziran, (1997).
- [27] Aydın, T.S., “Betonarme Çok Katlı Prefabrike İskelet Sistemler ve Düğüm Noktaları”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ekim, (1995).
- [28] Karaesmen, E., Boyacı, N., “Prefabrike Sistemlerin Birleşme ve Düğümleme Biçimlerine Göre Guruplandırılması”, 7. Prefabrikasyon Sempozyumu, Türkiye Prefabrik Birliği, (1993).
- [29] “Beton Prefabrike Elemanların Birleşim Detayları-Taşıyıcı Sistem Birleşimleri”, Türkiye Prefabrike Beton/Betonarme Yapı ve Eleman Üreten Kuruluş Mensupları Birliği, Ankara, Ocak, (1997).
- [30] Çakıroğlu, A., Çetmeli, E., “Yapı Statiği”, Cilt 1-2, Beta Yayınları, İstanbul, (1991).
- [31] “Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95)”, American Concrete Institute, Third Printing, October, (1996).
- [32] “Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 3233)”, Türk Standartları Enstitüsü, Şubat, (1979).
- [33] Nilson, A.H., Winter, G., “Design of Concrete Structures”, Eleventh Edition, Mc Graw-Hill, (1991).
- [34] Leet, K., “Reinforced Concrete Design (Conforms to 1989 ACI Codes)”, McGraw-Hill Inc., (1991).
- [35] Oğuz, S., “Çelik ve Betonarme Yapıların Göçme Yüğü Teorisi”, Balıkesir, Ocak, (2001).
- [36] Hodge,G.P., “Yapıların Plastik Analizi”, Çeviri: Şuhubi, E.-Cinemre,V., Arı Kitabevi Matbaası, (1967).
- [37] Oğuz, S., “Çerçeve Yapıların Plastik analizi”, BA.Ü. Müh-Mim.Fak., Haziran, (1993).
- [38] “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, (1999).

[39] akıroğlu, A., “Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metodları”, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, Beşinci Baskı, İstanbul, (1992).

[40] “LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer) Lineer optimizasyon Bilgisayar Programı”, Release 6.1 (12 May 03), LINDO Systems, Inc., Chicago.

