

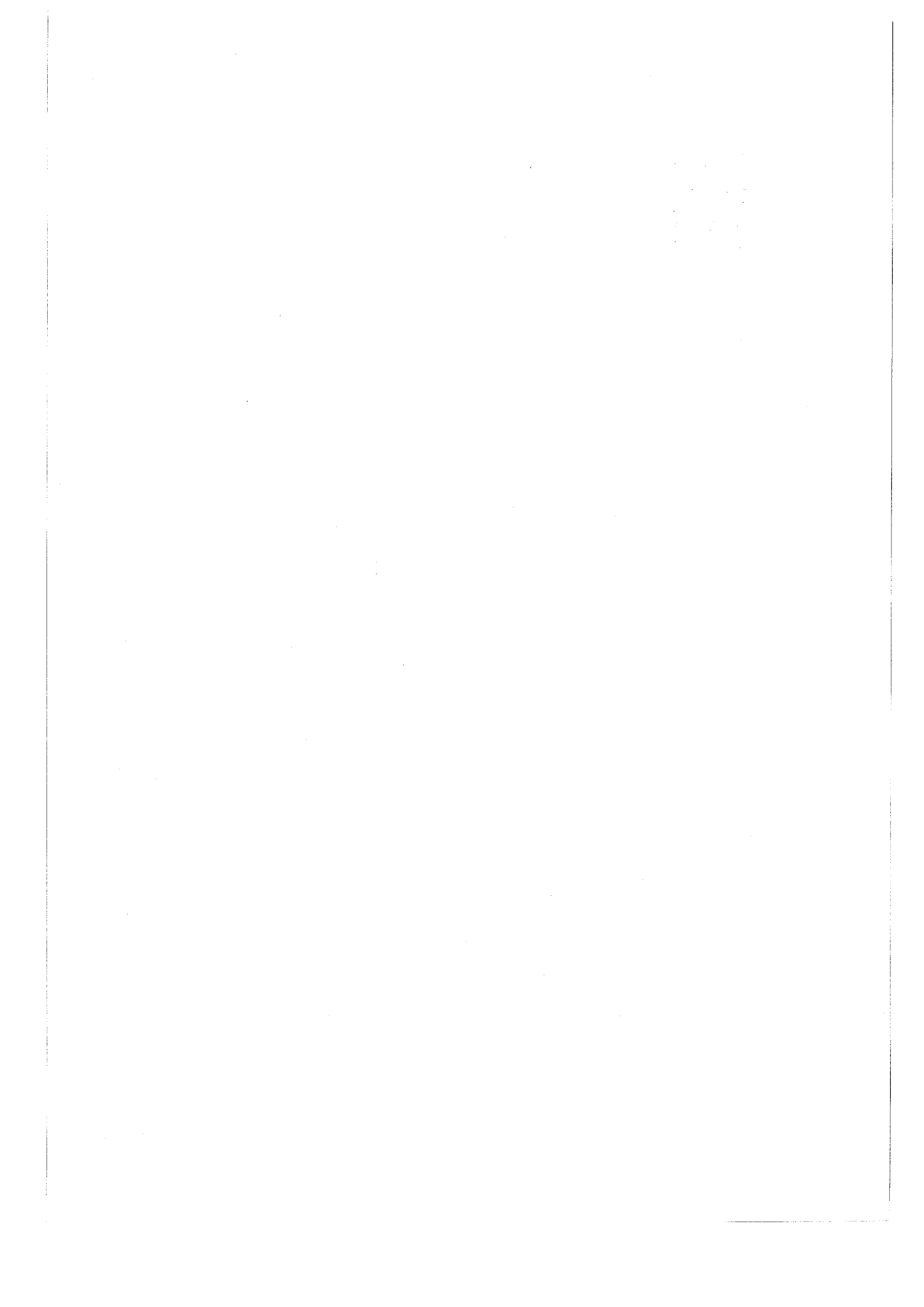
**T.M.M.O.B.
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İZMİR ŞUBESİ**

ÇOK KATLI YAPILAR SEMPOZYUMU

(21-22-23 Eylül 1989)

Prof. Uğur ERSOY

**ÇOK KATLI YAPILARIN ÇÖZÜMÜNDE
HAREKETLİ YÜK DÜZENLENMESİ**



ÇOK KATLI YAPILARIN ÇÖZÜMÜNDE HAREKETLİ YÜK DÜZENLENMESİ

Uğur ERSOY

Profesör, ODTÜ İnşaat Müh. Böl.

ÖZET

Yönetmelikler, yapısal çözümlemede hareketli yüklerin en büyük kesit zorlamalarını oluşturacak biçimde düzenlenmesini öngörür. Çok katlı bir yapıda bu kurala aynen uyulursa, yapısal çözümlemenin yüzlerce düzenleme için tekrarlanması gerekir. Bu kadar çok çözümleme yapmak bilgisayarlarla da olsa pratik ve ekonomik değildir. Yapısal çözümleme çok sayıda varsayıma dayandığından, daha kesin sonuç için çözümü bu ölçüde tekrarlamamanın da anlamı yoktur. O halde akılcı yaklaşım, kesinlikten bir miktar ödün vererek, daha az sayıda çözümleme ile sonuç almayı gerektirmektedir. Ancak bu konuda yayınlanmış öneri yok denecek kadar azdır.

Bu bildirinin amacı, hareketli yük düzenlenmesi ile ilgili bazı pratik öneriler oluşturmaktır. Yazar tarafından öneriler düzenleme, çerçevenin kat ve açıklık sayısı ne olursa olsun, 5 çözümleme gerektirmektedir. Bildiride bu yöntemin daha önce önerilenlerden daha kısa olduğu ve ayrıca bu yöntem ile daha doğru sonuçlar elde edilebileceği gösterilmektedir.

1. GİRİŞ

TS-500, Bölüm 7.2.2 de "Deprem ve Rüzgar etkilerinin sözkonusu olduğu kombinezonlar dışında, değişken yük elemanlarda en kritik kesit zorlamalarını yaratacak biçimde düzenlenmelidir" denmektedir. Diğer ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde de benzer hükümler vardır.

Bu kurala aynen uyulduğu takdirde çok katlı, çok açıklıklı bir çerçevede kritik kesit zorlamalarının bulunabilmesi için yüzlerce düzenleme ve yüzlerce çözümleme gerekecektir (tesir çizgilerine göre). Bu tür bir yaklaşım bilgisayar kullanılsa bile pratik ve ekonomik değildir. Aslında bu konuda bu denli titiz davranılması da aşağıda sıralanan nedenlerle gerekli değildir.

1. Yük düzenlemesi sayıca arttıkça, belirli bir yük düzeninin gerçekleşmesi olasılığı azalmaktadır.
2. Kesit zorlamaları o kesitten uzaktaki yüklerden çok az etkilenmektedir.
3. Yapılan doğrusal elastik çözümleme betonarme için tam doğru olmayan birçok varsayım içerdiğinden, "kesin çözümleme" olarak adlandırılan yaklaşımlar da kesin olmaktan uzaktır. Betonarme yapılarda büzülme ve sünme nedeni ile elastisite modülünün azalması, çatlama nedeni ile eylemsizlik momentinin değişimi hesaba tam olarak yansıtılamaz. Bu nedenle gelen hatalar oldukça büyük olabilir.

Birçok tasarımcı bu durumun bilincindedir ve çözüm sayısının azaltılmasının akılcı bir yaklaşım olacağı inancındadır. Ancak bu konuda herkes tarafından kabul edilen sistematik yaklaşımlar yoktur. İlginç olan, tasarım için bu denli önem taşıyan bir konudaki yayın sayısının yok denecek kadar az olmasıdır. Yapılan literatür taramasında bu konuda somut öneriler getiren tek çalışmanın, 1981 yılında ACI Journal'da Prof. R. Furlong tarafından yayınlanan bir makale olduğu saptanmıştır.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışmanın amacı, kolon ve kiriş kesitlerinde hareketli yük nedeni ile oluşacak zorlamaları olabildiğince gerçeğe yakın bir biçimde, en az çözümleme ile elde edebilmenin yollarını aramaktır. Bu amaçla belirli bir sistematığe dayanan bir düzenleme yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemde, çerçevenin kat ve açıklık sayısı ne olursa olsun, 5 yükleme yeterli olmaktadır. Furlong tarafından önerilen yöntemden daha kestirme olan bu yaklaşımla elde edilen sonuçlar Furlong yöntemi ile karşılaştırılmakta, kısalığın yanısıra elde edilen sonuçların da gerçeğe daha yakın olduğu gösterilmektedir.

3. FURLONG YÖNTEMİ

Furlong yönteminin temel amacı, olabildiğince az hareketli yük düzenlemesi ile çerçeveyi oluşturan kolon ve kirişlerde oluşacak kesme kuvveti ve eğilme momentlerinin gerçeğe yakın bir biçimde elde edilebilmesidir. Furlong tarafından önerilen yük düzenlenmesi Şekil 1 de 5 katlı, 5 açıklıklı bir çerçeve için gösterilmiştir. Bu bildiride Furlong tarafından önerilen yük düzenlenmesi "YÜKLEME-B" olarak anılacaktır. Şekilden görüleceği gibi, (a) ve (b) yüklemeleri kat ve açıklık sayısından bağımsızdır. Buna karşın (c) yüklemesi (m-1) yükleme düzenlemesi gerektirmektedir. Burada "m" çerçevenin açıklık sayısıdır. Bu durumda Furlong yönteminde (YÜKLEME-B), gerekli çözüm sayısı (veya yük düzeni sayısı) $2+(m-1)$ olmaktadır. Örneğin, 8 açıklıklı bir çerçevede hareketli yük için 9 düzenleme ve çözüm gerekmektedir.

4. ÖNERİLEN YÖNTEM

Önerilen yöntemin amacı, Furlong yöntemi ile aynıdır. Önerilen yöntemdeki yük düzenlenmesi YÜKLEME-A olarak adlandırılmıştır.

Kirişlerde maksimum ve minimum açıklık momentlerinin elde edilmesinde önerilen yük düzeni, ders kitaplarında verilen ve tesir çizgilerinden elde edilen klasik düzendir. İki ayrı tür yüklemeyi içeren bu düzen Şekil 3(a) da gösterilmiştir. Kiriş mesnet ve kolon maksimum momentlerini verecek düzenleme için Şekil 2(a) gösterilen yük modeli seçilmiştir (iki boş bir dolu). Bu model çerçeveye uygulanırken, Şekil 2(b) de gösterildiği gibi, her katta bir açıklık kaydırılarak yerleştirilecektir. Bundan sonraki her aşamalarda yük modelinin bir açıklık sağa kaydırılması öngörülmektedir. Örnek olarak seçilen 5 açıklıklı, 5 katlı çerçevedeki düzenleme Şekil 3(b) de gösterilmiştir. Bu durumda yük düzeni sayısı üç olmaktadır. Dikkat edilirse bu yükleme kat ve açıklık sayısından bağımsızdır. Bu durumda, Şekil 3 ten görüleceği gibi, kat ve açıklık sayısı ne olursa olsun, 5 yükleme yeterli olmaktadır. Önerilen yöntemin Furlong yöntemine göre en büyük avantajı da budur. Önerilen yükleme düzeni ile kirişlerdeki maksimum kesme kuvvetlerinin de elde edilebileceği açıktır.

5. KARŞILAŞTIRMALAR

Önerilen yöntem Furlong yöntemine oranla daha az yükleme düzeni gerektirmektedir. Elde edilen sonuçların ne denli güvenilir ve gerçeğe yakın olduğunu anlamak için iki örnek çerçeve seçilerek iki yöntemden elde edilen sonuçların karşılaştırılması uygun görülmüştür. Seçilen örnek çerçeveler Şekil 4 te gösterilmiştir. Çerçeve-1 düzenli bir çerçeve olup, tüm açıklıklar aynıdır. Çerçeve-2 de ise iki büyük açıklığın ortasında bir küçük açıklık bulunmaktadır (okul, hastane, ofis v.b.).

Çerçeve-1 için Furlong ve yazar tarafından önerilen yük düzenlerine göre (YÜKLEME-B ve A) yapılan çözümleme sonucu çeşitli kiriş ve kolon kesitleri için elde edilen momentler Çizelge-1, 2 ve 3 te özetlenmiştir. Aynı çizelgelerde, belirli noktalarda G.Large tarafından tesir çizgilerine dayanılarak oluşturulan yük düzenlemelerine göre elde edilen sonuçlar da verilmiştir. Yükleme-C olarak adlandırılan, bu yük düzenlemesi, işaretlenen bazı kesitler için Şekil 5 te gösterilmiştir.

Çizelge 1, 2 ve 3 te değişik A, B ve C yüklemelerinden elde edilen sonuçların birbirine oranları, çizelgelerin son kolonlarında verilmiştir. Bu kolonların incelenmesinden, önerilen yöntemle elde edilen momentlerin genelde Furlong yönteminden elde edilenlerden büyük olduğu görülmektedir ($A/B > 1.0$). A/B oranının 1.0 den küçük olduğu birkaç durumda da aradaki fark azdır. Önerilen yöntemle Large yöntemi çok benzer sonuçlar vermektedir ($A/C \approx 1.0$). Bunun tek istisnası 2. ve 5. kat iç kolonlarında gözlenmektedir (Çizelge-3 son iki satır). Bu kolonlarda A ve C yüklemesi ile elde edilen momentlerin farkının yüzde olarak fazla olmasının temel nedeni, söz konusu momentlerin çok küçük olmasıdır. Gerçekte elde edilen momentler arasındaki fark küçüktür. Örneğin, 40 lı kolonda A ve C yüklemesinden elde edilen momentler arasındaki fark 4t-m dir.

Çizelge 4, 5 ve 6 da 2 nolu çerçeve için A ve B yüklemesi ile elde edilen momentler verilmiştir. Bu çizelgelerdeki A/B oranlarının incelenmesinden, genelde önerilen yöntemle elde edilen momentlerin, Furlong yönteminden elde edilenlerden büyük olduğu görülür.

6. SONUÇ

Önerilen yöntem bu konuda kabul görmüş Furlong yönteminden daha az yükleme gerektirmektedir. Buna karşın elde edilen momentler daha büyüktür, yani gerçeğe daha yakındır.

Yükleme-A olarak adlandırılan yükleme düzeni tasarımcılar tarafından güvenle kullanılabilir. Önerilen yöntem, özellikle bilgisayarla çalışanlara, sistematik, akılcı ve pratik bir çözümlene olanağı sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

1. "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları - TS-500", Türk Standartları Enstitüsü, 1984.
2. Furlong, R.W., "Rational Analysis of Multistory Concrete Structures", Concrete International, American Concrete Inst., V.3, No.6, June 1981.
3. Large, G., "Basic Reinforced Concrete Design", The Ronald Press Co., N.Y., 1950.

ÇİZELGE-1 , ÇERÇEVE-1 , KİRİŞ AÇIKLIK MOMENTLERİ

KİRİŞ NO.	YERİ	+ M (t-cm)		A/B
		YÜKLEME-A (Öneri)	YÜKLEME-B (Furlong)	
9	Üst Kat, İç	177.00	139.00	1.27
4	Üst Kat, Kenar	272.00	231.00	1.18
3	Orta Kat, Kenar	273.00	240.00	1.14
13	Orta Kat, İç	171.00	141.00	1.21
1	Alt Kat, Kenar	263.00	264.00	1.00
11	Alt Kat, İç	162.00	144.00	1.13

(*)Yüklem-A, Large tarafından önerilen yüklem ile aynı

ÇİZELGE-2 , ÇERÇEVE-1 , KİRİŞ MESNET MOMENTLERİ

KİRİŞ NO.	YERİ	- M (t-cm)			A/B	A/C
		YÜKLEME-A (Öneri)	YÜKLEME-B (Furlong)	YÜKLEME-C (Large)		
4	Üst kat , Kenar	323.00	350.00		0.92	
4-9	Üst Kat , 1. İç	367.00	331.00		1.11	
9-14	Üst Kat , İç	292.00	202.00		1.45	
3	Orta Kat , Kenar	321.00	340.00	334.00	0.94	0.96
3-8	Orta Kat , 1. İç	371.00	340.00	358.00	1.09	1.04
8-13	Orta Kat , İç	284.00	260.00	273.00	1.09	1.04
1	Alt Kat , Kenar	356.00	373.00		0.95	
1-6	Alt Kat , 1. İç	391.00	373.00		1.05	
6-11	Alt Kat , İç	269.00	235.00		1.14	

ÇİZELGE- 3, ÇERÇEVE-1, KOLON UÇ MOMENTLERİ

KOLON NO.	YERİ	MAXIMUM UÇ MOMENTLERİ (t-cm)			A/B	A/C
		YÜKLEME-A (Öneri)	YÜKLEME-B (Furlong)	YÜKLEME-C (Large)		
26	Kenar Kolon, 1. Kat	153.00	126.00	152.00	1.21	1.01
28	Kenar Kolon, 2. Kat	198.00	160.00	201.00	1.24	0.99
30	Kenar Kolon, 5. Kat	265.00	249.00	262.00	1.06	1.01
31	1. İç Kolon, 1. Kat	140.00	109.00	140.00	1.28	1.00
33	1. İç Kolon, 2. Kat	150.00	145.00	181.00	1.03	0.83
35	1. İç Kolon, 5. Kat	202.00	216.00	219.00	0.94	0.92
36	Orta Kolon, 1. Kat	97.00	66.00	97.00	1.47	1.00
38	Orta Kolon, 2. Kat	77.00	85.00	117.00	0.91	0.66
40	Orta Kolon, 5. Kat	94.00	125.00	130.00	0.75	0.72

ÇİZELGE-4 , ÇERÇEVE-2 , KİRİŞ AÇIKLIK MOMENTLERİ

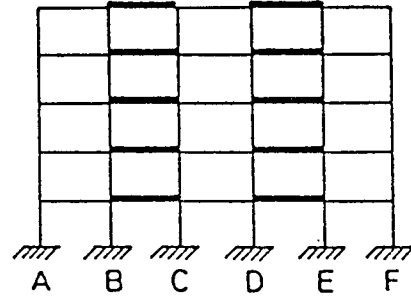
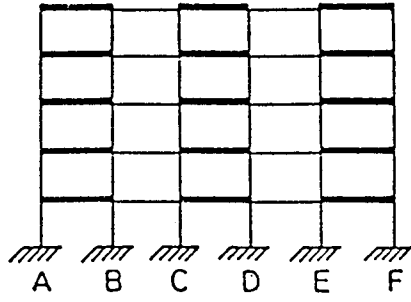
KİRİŞ NO.	YERİ	+ M (t-cm)		A/B
		YÜKLEME-A (Öneri)	YÜKLEME-B (Furlong)	
4	Üst Kat , Kenar	329.00	294.00	1.12
9	Üst Kat , İç	116.40	84.00	1.39
2	Alt Kat , Kenar	280.30	250.00	1.12
7	Alt Kat , İç	105.00	65.00	1.62

ÇİZELGE-5 , ÇERÇEVE-2 , KİRİŞ MESNET MOMENTLERİ

KİRİŞ NO.	YERİ	+ M (t-cm)		A/B
		YÜKLEME-A (Öneri)	YÜKLEME-B (furlong)	
5-10	Üst Kat , 1. İç	357.00	294.00	1.21
3-8	Orta Kat, 1. İç	403.00	333.00	1.21
1-6	Alt Kat , 1. İç	377.00	357.00	1.06
5	Üst Kat , Kenar	139.00	135.00	1.03
3	Orta Kat, Kenar	194.00	193.00	1.01
1	Alt Kat , Kenar	274.00	291.00	0.94

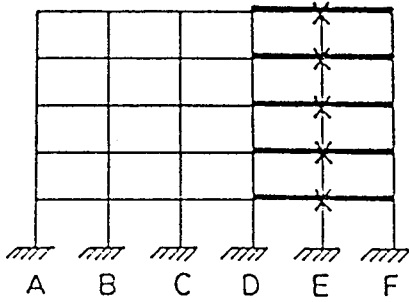
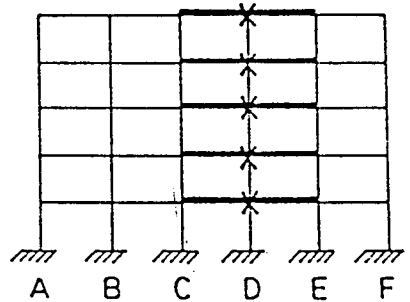
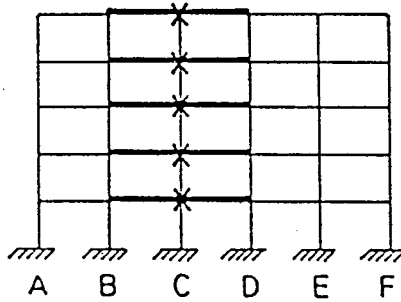
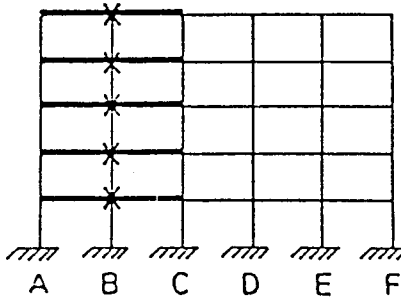
ÇİZELGE-6 , ÇERÇEVE-2 , KOLON UÇ MOMENTLERİ

KOLON NO.	YERİ	MAX. KOLON MOMENTİ (t-cm)		A/B
		YÜKLEME-A (Öneri)	YÜKLEME-B (Furlong)	
20	Üst Kat , Kenar	167.00	135.00	1.24
18	Orta Kat, Kenar	111.00	91.00	1.22
16	Alt Kat , Kenar	149.00	115.00	1.30
25	Üst Kat , Kenar	101.00	100.00	1.01
23	Orta Kat, Kenar	167.00	173.00	0.97
21	Alt Kat , İç	168.00	137.00	1.23



- a) max. M, kolon (A,B,C,D,E,F de)
 max. (-) M, kiriş (A,F de)
 max. (+) M, kiriş, (AB ve CD de)

- b) max. M, kolon (B,C,D ve E de)
 max. (+) M, kiriş (BC, DE de)



- c) İşaretli Yerlerde Kiriş max. (-) M ve V

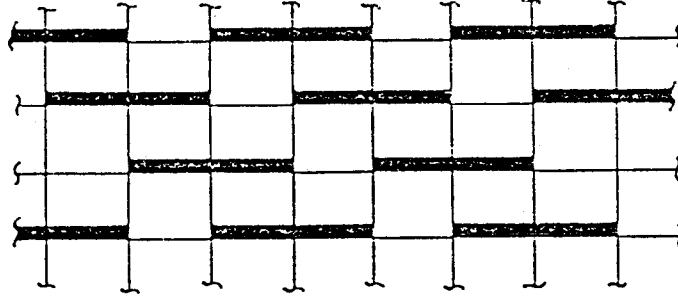
YÜKLEME - B

Yükleme sayısı = $2+(m-1)$ m = açıklık sayısı

Şekil - 1

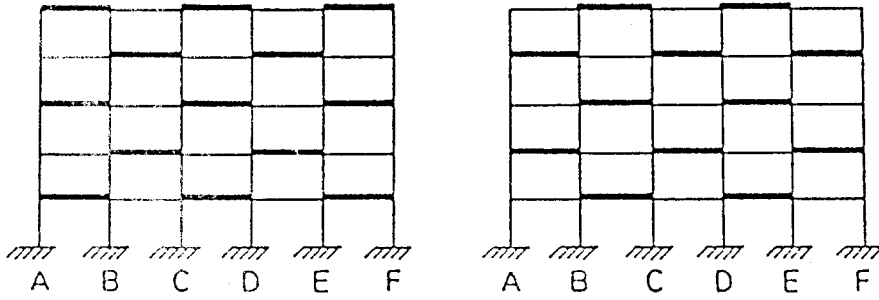


a) Model yük

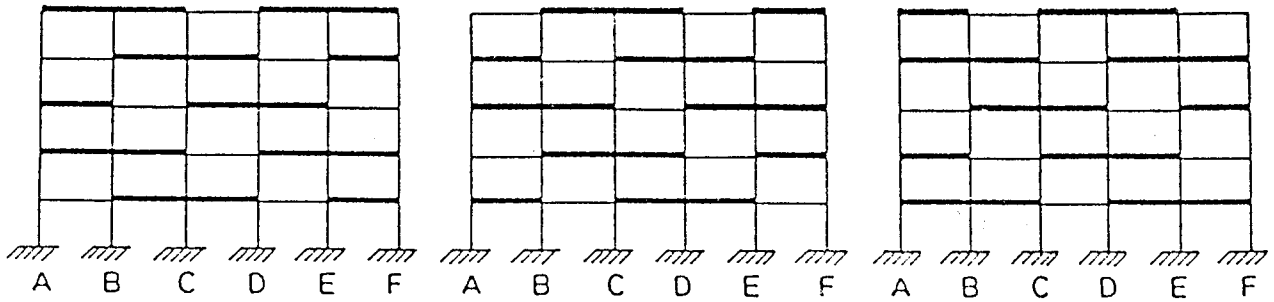


b) Model yükün çerçeveye uygulanması

Şekil - 2



a) max. (+M), kiriş ve mak. M kolonlar



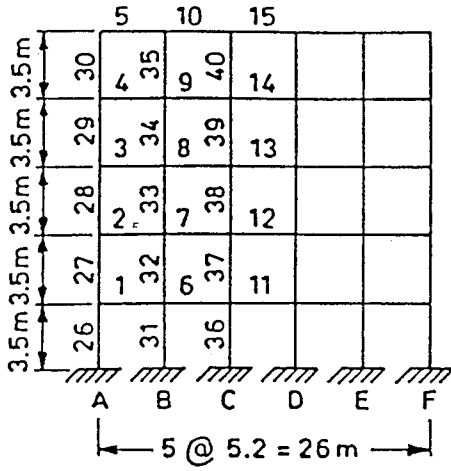
b) max. (-) M ve V, kiriş ve max. M kolonlar

YÜKLEME - A

Yüklemeye sayısı = sabit = 5

Şekil - 3

ŞEKİL - 5



a) Çerçeve - 1

Kiriş hareketli yükü (katsayısız) = $q = 1.7 \text{ t/m}$

Kirişler : 30x50 cm,

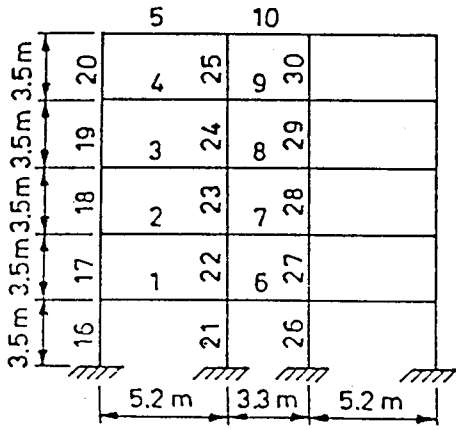
$$I_b = 0.0035 \text{ m}^4 \text{ (çatlamış kesit)}$$

Kolonlar : 40x40 cm

$$I_{cal} = 0.002133 \text{ m}^4$$

$$E = 20 \times 10^5 \text{ t/m}^2$$

$$\mu = 0.20$$



b) Çerçeve - 2

Kiriş hareketli yükü (faktörsüz) :

$$q = 1.7 \text{ t/m (kenardakiler)}$$

$$q = 1.0 \text{ t/m (içtekiler)}$$

Kiriş : 30x50 cm

$$I_b = 0.0035 \text{ m}^4 \text{ (çatlamış kesit)}$$

Kolon : 40x40 cm (alt katlar)

$$I_c = 0.00213 \text{ m}^4$$

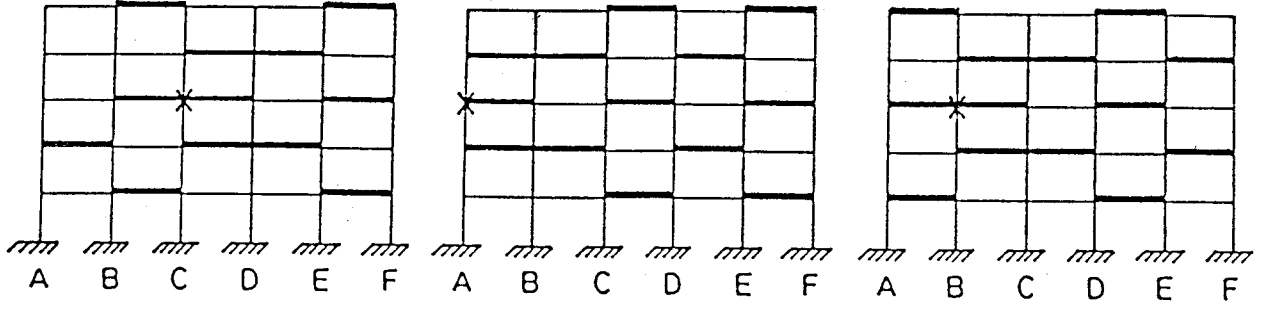
30x30 cm (üst katlar)

$$I_c = 0.000675 \text{ m}^4$$

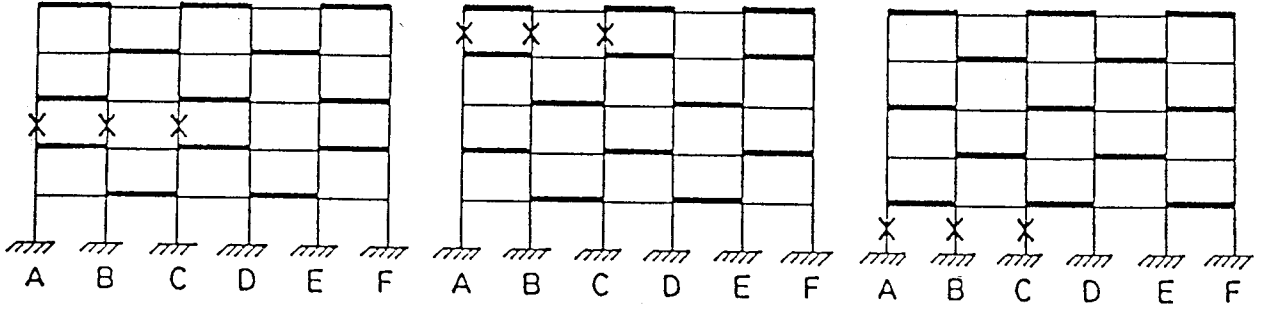
$$E = 20 \times 10^5 \text{ t/m}^2$$

$$\mu = 0.20$$

Şekil - 4



a) max. (-) M, 3. kattaki işaretli kirişler



b/ max. M, işaretli kolonlar

YÜKLEME - C

