

ANKASTRE MESNETLERİ PERDELİ SİSTEMLERİN ÇÖZÜMÜ İÇİN BİR ÖNERİ

Sinan YELKEN (*)

Deprem bölgelerindeki yüksek yapılarda, taşıyıcı sistemi alışılmış çerçeve sistemler yerine, perde duvarlı çerçeve sistem olarak düzenlemek hem güvenlik açısından hem de ekonomik yönden daha uygun olmaktadır.

Çünkü :

- Perdeler kesme kuvvetlerinin önemli bir kısmını (bilassa yapının en çok zorlandığı alt katlarda) yüklenir ve emniyetle temele aktarabilirler.
- Deplasmanların aşırı boyutlara varmasını önleyerek, genellikle orta şiddetteki depremlerin neden olduğu duvar çatlaması, cam kırılması sıvaların dökülmesi ve diğer minari hasarla eşya tahribatını kontrol altına alabilirler.
- Alt katlarda kolon ve kiriş boyutlarının aşırı büyümesi önlenerek faydalı kullanma hacmi artırılabilir.
- Kolon donatısından yapılan tasarruf ile, kaba inşaat- a ortalama % 30 civarında ucuzlama sağlanabilir.

Perdeli sistemlerin çözümü için verilen yöntemlerin bir bölümü lineer denklem takımlarının oluşturulması ve çözümü ile sonuca varmaktadır. Yapıda kat adedi arttıkça bilinmeyenlerin sayısı da arttığı için çözüm zorlaşmaktadır. Bazı yöntemlerde de ardışık yaklaşımlarla sonuca ulaşılmaktadır. Sistemden gelen veriler yeterli yakınsama hızı sağlamıyorsa, bu yöntemlerle de sonuç alabilmek için uzun zaman harcamak gerekmektedir.

Çerçeve kat rijitliklerinin sabit olduğu hallerde sonuçları kesin çözüm sonuçları ile pratikte çıkan, çerçeve kat rijitliklerinin yapı yüksekliğince az değiştiği hallerde de yaklaşık çözüm veren bir yöntem geliştirilmiş ve "Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Sayı 34, Temmuz-1981" de yayınlanmıştır. Bu yöntemle,

- 1- Bağ kirişli perde - çerçeve sistemler,
- 2- Kirişsiz döşemeler,
- 3- Boşluklu perdelerden oluşan sistemler,

veya üstte sayılanların bir araya gelmesiyle oluşturulan combine sistemler, perde temeli dönme etkisi de dikkate alınmak suretiyle yaklaşık olarak ve kolaylıkla çözülebilmektedir.

Bu yazıda, problemin kuramsal çözümü incelenmiyecektir. Pratikte sık rastlanan bir özel durum olan perde temelinin ankastre olması halinde, üstte sayılan sistemlerin hesap yapmaksızın çözümü için hazırlanan 3 tablo verilerek, kullanılışları açıklanacak ve iki yapının incelenmesi ile yetinilecektir.

Şu noktayı da önemle belirtmek gerekir ki, perde temelinin dönmesi önlenmiş ise, mesnetlenme şekli ankastre kabul edilebilir. Aksi halde temel dönmesinin dikkate alınması zorunludur.

Tablolar tek bir parametreye (β) bağlı olarak,

a- Perde ortalama momentlerini (M_x)

b- Bağ kirişi momentlerini ($\bar{M}_x$)

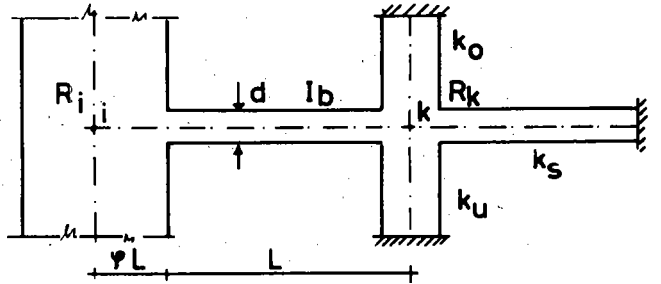
c- Yapı yanal deplasmanlarını (v)

doğrudan doğruya bulmaya yarıyacak faktörleri verirler. Ancak β 'nin hesaplanabilmesi için önceden,

- Çerçeve kolon rijitlikleri, (Muto yöntemindeki D değerleri)
- Bağ kirişi redörleri bulunmalıdır.

Hesapların aşağıdaki sırayla yapılması uygun olmaktadır.

1- Sistemde bağ kirişleri varsa, perdeyi çerçeveye bağlayan kirişlerde (1), iki perdeyi birbirine bağlayan kirişlerde ise (2) bağıntıları kullanılarak bağ kirişi redörleri bulunur. Şekil (1) ve şekil (2). Bu bağıntılar elde edilirken kesme kuvvetinin deformasyona etkisi de dikkate alınmıştır.



$$m = 6\varphi^2 + 6\varphi + 2 \quad n = 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \frac{1+\varphi}{\varphi}$$

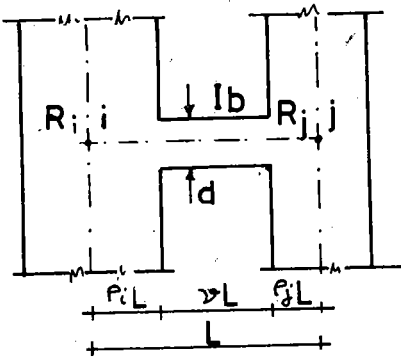
$$p = 1 + 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \frac{1+3\varphi}{\varphi} \quad r = 1 + 3\varphi \quad (1)$$

$$R_k = \frac{4EI_b}{L} \left(\frac{2+n}{2p} \right) \quad \varepsilon = \frac{R_k}{(k_o + k_u + k_s) 0,85}$$

$$R_i = \frac{2EI_b}{Lp} \left[m + n\varphi - \frac{\varepsilon(r+n)^2}{(1+\varepsilon)(2+n)} \right]$$

Şekil 1 -

*) İnş. Y.Müh.



$$R_i = \frac{12EI_b}{L} \frac{1}{2^3} \left(\frac{v}{2} + f_i \right)$$

$$R_j = \frac{12EI_b}{L} \frac{1}{2^3} \left(\frac{v}{2} + f_j \right) \quad (2)$$

$$I'_b = \frac{I_b}{1 + 2\beta \left(\frac{d}{L} \right)^2}$$

Şekil 2

2- Yapıda her kattaki kolonların K. Muto yöntemi ile D sayıları bulunur. Zaten çerçeve hesabı için bu değerler gerekli olacaktır. Bulunan kolon D sayıları her kat için toplanarak çerçeve sistemi rijitliği elde edilir. Hesaplarda D sayılarını kuvvet/uzunluk boyutuyla kullanacağımız için (3) yardımı ile bu dönüşümü yapabiliriz.

$$\bar{D} = \frac{12E}{h^2} D \quad (3)$$

3- Perde atalet momentleri hesaplanarak toplamı bulunur. Bu toplamı I ile gösteriyoruz.

4- Yapıya etkiyen deprem yüklerinin yapı temel üst kotuna göre momenti (M_o) ve yapı kat kesme kuvvetleri (Q_i) bulunur.

5- Yapıya ait sistem parametresi (4) den hesaplanır. H temel üst kotundan itibaren yapı yüksekliğidir. Şekil (3)

$$\beta = H \sqrt{\frac{R/h + \bar{D}h}{EI}} \quad (4)$$

$$R = \sum_{i=1}^n R_i \quad I = \sum_{i=1}^n I_i \quad D = \sum_{i=1}^n D_i \quad \bar{D} = \frac{12E}{h^2} D \quad x = \frac{z}{h}$$

$$M_o = \sum_{i=1}^n F_i z_i \quad Q_i = \sum_{i=1}^n F_i \quad \beta = H \sqrt{\frac{R/h + \bar{D}h}{EI}}$$

Şekil 3 -

6-a. Tablo I den toplam perde ortalama momentlerini,

$$M_x = -M_o x m \quad (5)$$

6-b. Tablo II den toplam kat bağ kirişi momentlerini,

$$\bar{M}_x = M_o \frac{RH}{EI} \bar{m} \quad (6)$$

6-c. Tablo III den yapı yanal deplasmanlarını,

$$v = M_o \frac{H^2}{EI} \frac{\bar{v}}{1000} \quad (7)$$

formüllerini kullanarak bulabiliriz.

İlgili faktörleri tablolardan alırken ara değerler için interpolasyon yapılmalıdır. Çerçeve kolonları yapı yüksekliğince boyut değiştiriyorsa $\bar{D}$ ve R ler, her kat için hesaplanacak değerlerin ortalaması alınarak bulunabilir. Yapıda farklı kat yüksekliği varsa, h için de ortalama yükseklik alınmalıdır.

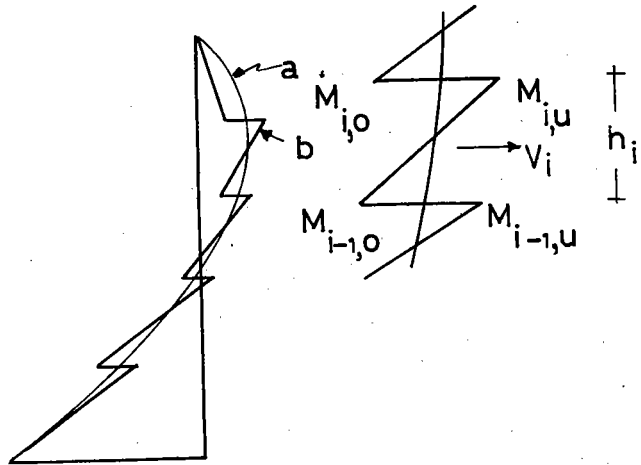
7- (5) Bağıntısı ile bulunan perde ortalama momentleri, yapıdaki perdelerin hepsine aittir. Her perdenin alacağı moment, toplam momenti perdelerle atalet momentleri ile orantılı olarak dağıtarak bulunur.

8- (6) Bağıntısının verdiği bağ kirişi momentleri de o kattaki bütün bağ kirişlerine aittir. Bu moment, o kattaki bağ kirişlerine, bağ kirişi redörleri ile orantılı olarak dağıtılarak, her bağ kirişine gelen moment hesaplanır.

9- Yukarıdaki işlemlerden sonra her perdenin moment diyagramı çizilebilir. Şekil (4)'de görülen a diyagramı "k" numaralı perdenin ortalama moment diyagramı olsun. Bağ kirişi momentleri etkisi ile a diyagramı b diyagramına dönüşür. Moment düzeltmesi

$$M_{i,o} = M_{i,x} - \frac{\bar{M}_{i,x}}{2} \quad M_{i,u} = M_{i,x} + \frac{\bar{M}_{i,x}}{2} \quad (8)$$

bağıntıları ile yapılır.



Şekil 4 -

(8)'deki $\bar{M}_i, x$ "k" numaralı perdenin i' inci katındaki bağ kirişi momentlerinin toplamıdır.

Perde kat kesme kuvvetleri

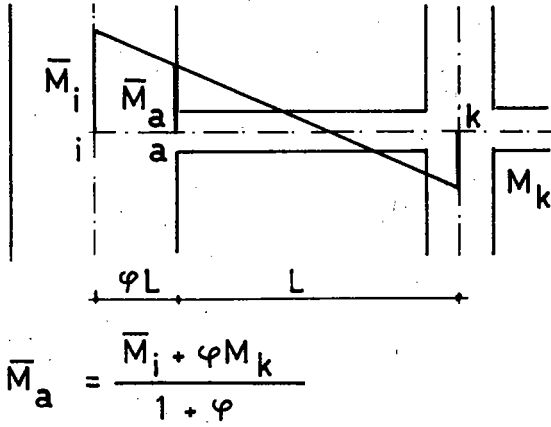
$$V_i = \frac{M_i - 1,0 - M_{i,u}}{h_i} \quad (9)$$

bağıntısından bulunur. Her perde için aynı işlem tekrarlanmalıdır. Böylelikle her kattaki toplam perde kat kesme kuvveti bulunur. Çerçevelere gelen kat kesme kuvveti T_i olsun. T_i ' yapı kat kesme kuvvetinden, perdeler kat kesme kuvveti toplamı çıkarılarak elde edilir.

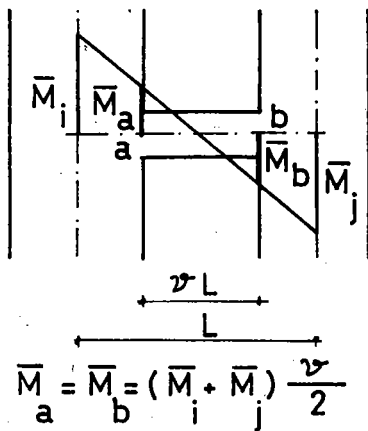
$$T_i = Q_i - \sum V_i \quad (10)$$

Çerçevenin yanal yükler için analizi K. Muto yöntemiyle tamamlanır.

10- Bağ kirişi momentleri, perde eksenindeki değerlerdir. Kiriş mukavemet hesapları için perde kenarındaki momentlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu momentleri bulmak için şekil (5) ve şekil (6)'daki bağıntılar kullanılabilir.



Şekil 5 -

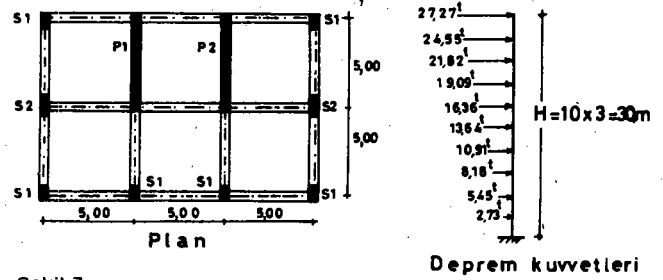


Şekil 6 -

Örnek I'de perde-çerçeve sistemli bir yapının ayrıntılı çözümü verilmiştir. Örnek II'de ise perdeli kirişsiz döşemelerden oluşan bir yapının çözüm sonuçları (kesin yöntemlerle karşılaştırılabilir amaçla) verilmektedir.

ÖRNEK I :

Planı, taşıyıcı eleman boyutları ve yanal yükleri verilen 10 katlı yapının yanal yükler için analizi istenmektedir.



Şekil 7 -

Kirişler 30/60 I = 54 dm⁴,

Kolonlar S1 30/60 I = 54 dm⁴, S2 30/80 I = 128 dm⁴

Perdeler 30/530 I₁ = 3,722 m⁴, I₂ = 2I₁ = 7,444 m⁴

Kat yüksekliği h = 3 m, Yapı yüksekliği H = 30 m

$$M = \sum F_i z_i = 3150,03 \text{ tm}$$

a) Bağ kirişi redörleri :

$$\varphi = \frac{2,65}{4,85} = 0,546 \quad \frac{d}{L} = 0,124$$

$$m = 6\varphi^2 + 6\varphi + 2 = 7,065$$

$$n = 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \frac{1 + \varphi}{\varphi} = 0,061$$

$$p = 1 + 1,4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \frac{1 + 3\varphi}{\varphi} = 1,104$$

$$r = 1 + 3\varphi = 2,638$$

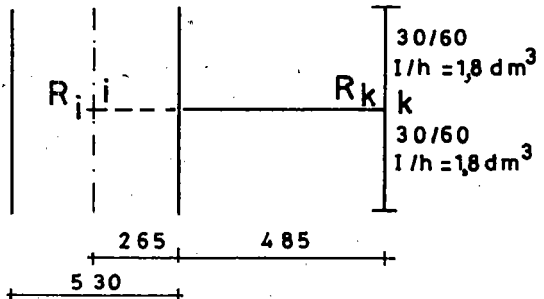
$$R = \frac{4EI}{L} \left(\frac{2 + n}{2p} \right) = 1,039 \text{ dm}^3$$

$$\epsilon = \frac{R_k}{(k_o + k_u + k_s) 0,85} = 0,34$$

$$R_i = \frac{2EI}{LP} \left[m + n\varphi - \frac{\epsilon(r+n)^2}{(1+\epsilon)(2+n)} \right] = 1,2508 \times 10^{-2} E$$

$$R = 2R_i = 2,5017 \times 10^{-2} E \text{ (tm/rd)}$$

b) Çerçeve rijitliği :



Şekil 8 -

Çerçevelere Muto yöntemi uygulanarak $D = 4,19 \text{ dm}^3$ bulunmuştur. Perdeye birleşen kirişlerde redör olarak R_k değeri kullanılmıştır. (3) Bağıntısı ile D değeri, $\bar{D}$ (kuvvet/uzunluk) boyutuna dönüştürülmüştür.

$$\bar{D} = \frac{12E}{h^2} D = 5,5866 \times 10^{-3} E \text{ t/m}$$

c) Sistem Parametresi :

Yapı sistem parametresi (4) bağıntısından bulunur.

$$\beta = H \sqrt{\frac{R/h + \bar{D} h}{EI}} = 1,742$$

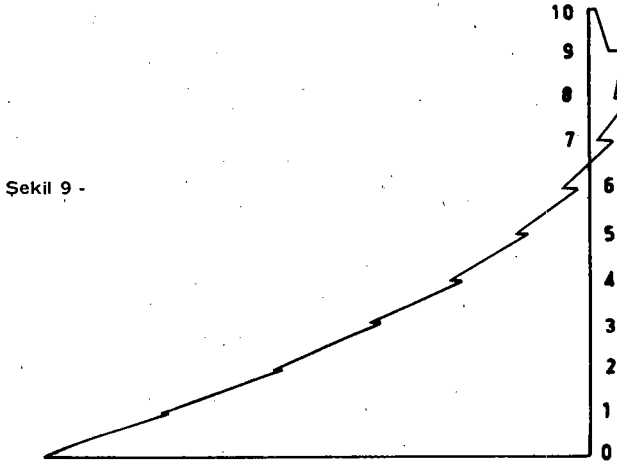
Hesaplar Tablo 1 de yapılmıştır.

Tablo 1 -

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KAT	$\bar{v}$	1000 m	1000 $\bar{m}$	v (mm)	M_x (tm)	$\bar{M}_x$ (tm)	$\bar{M}_x/2$	M_{L0}	M_{L1}	V_1 (t)	Q_1 (t)	M_1 (t)
10	129,42	0	153,23	23,47	0	24,33	12,17	0	12,17	-7,96	27,27	43,19
9	114,03	-30,70	155,00	20,68	48,35	24,61	12,31	360,4	606,6	5,86	51,82	401,0
8	98,37	-35,32	156,51	17,84	55,63	25,17	12,59	430,4	68,22	1,806	7,364	37,52
7	82,36	-17,06	161,30	14,94	26,87	25,61	12,81	14,03	39,68	2,893	9,273	35,07
6	66,19	21,99	161,24	12,00	-34,00	25,80	12,90	-46,80	-21,20	3,643	109,09	32,23
5	50,27	78,77	156,37	9,12	-12,406	24,83	12,42	-13,648	-11,64	4,838	12,273	25,97
4	35,14	153,19	144,91	6,37	-24,128	23,01	15,51	-256,79	-225,77	56,21	133,64	21,22
3	21,53	244,09	125,18	3,90	-38,445	19,88	9,94	-39,439	-374,51	62,10	141,82	17,62
2	10,44	351,23	95,95	1,89	-55,319	15,24	7,62	-56,081	-54,557	68,90	147,27	9,47
1	28,3	474,89	54,39	0,51	-74,794	8,54	4,32	-75,225	-74,362	75,44	150,00	-0,88
0	0	615,82	0	0	-96,993	0	0	-96,993	0	0	0	0

Tablo I, II ve III den interpolasyonla bulunan 1000m, 1000 $\bar{m}$ ve $\bar{v}$ değerleri tablo 1 in 2, 3 ve 4 numaralı kolonlarına yazılmıştır. (7), (5) ve (6) bağıntıları ile hesaplanan v (mm) deplasman, M_x ortalama perde momenti ve $\bar{M}_x$ perde bağ kirişi değerleri de tablonun 5, 6 ve 7. kolonlarındadır.

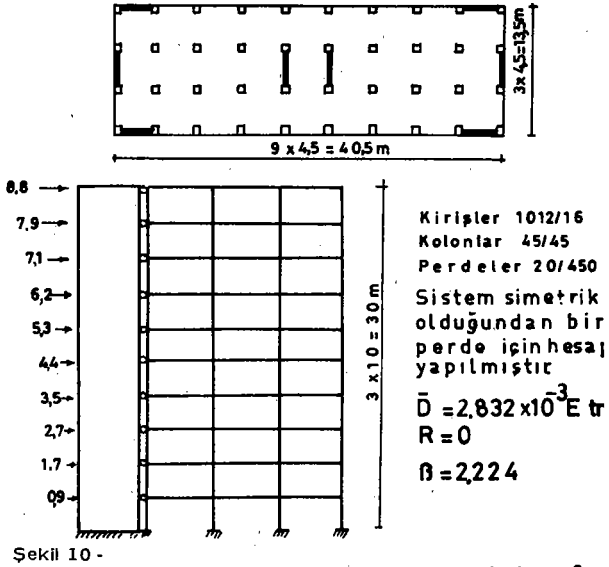
Sistem simetrik olduğu için I adet perdenin statik etkileri (5) ve (6) bağıntılarında M_0 yerine $M_0/2$ alınarak hesaplanmıştır. Yine I perde için (8) bağıntısıyla, 9 ve 10. kolonlar elde edilmiş ve (9) numaralı formülden bulunan perde kat kesme kuvvetleri, yapı toplam kat kesme kuvvetinden çıkarılarak 13 numaralı kolonda bulunan çerçeve kat kesme kuvvetleri bulunmuştur. Perdeye ilişkin değerler bulunduğundan, hesaplama son verilmiştir. 13. kolondaki çerçeve kat kesme kuvvetleri Muto yöntemiyle kolonlara dağıtılarak, çerçeve analizi de kolaylıkla yapılabilir. Bir adet perdeye ait moment diyagramı şekil 9 dadır.



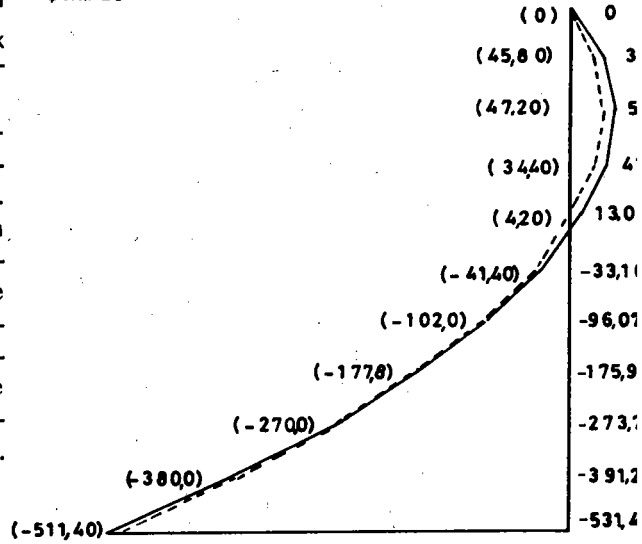
Şekil 9 -

ÖRNEK II :

Plan, enkesit ve yükleri şekil 10'da görülen yapının zümü verilen tablolarla yapılmıştır. Şekil 11 de I adet perdeye ait ortalama moment diyagramı görülmektedir. Ke çizgili diyagram ve parantez içindeki moment değeri Sn. Prof. Dr. Semih Tezcan tarafından "Teknik Bülten Sayı 8 İ.M.O. 1971 Aralık"ta verilen kesin sonuçlara ait



Şekil 10 -



Şekil 11 -

10. Katta bu yöntemle hesaplanan deplasman $v = 27,8 \text{ mm}$. (Kesin sonuç : $v = 28 \text{ mm}$)

Önerilen yöntemin bu örnekte ortalama hatası % mertebesinde. Çeşitli örneklerle yapılan karşılaştırmalar da aynı sonucu vermiştir.

Sonuç : Ankastre mesnetli perdeleri içeren her tür yapının yanal yüklerle göre analizi için basit bir yöntem önerilmiştir. Perdeli sistemlerin hesabı verilen tablo yardımı ile, uzun işlemlere gerek kalmaksızın yapılabilir. Sonuçların yaklaşıklığı pratikte yeterlidir.

β	X										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.5	937.38	788.98	645.56	509.76	384.23	271.67	174.79	99.58	39.16	6.04	0
1.0	801.77	656.03	519.86	394.90	282.90	185.74	105.45	44.24	4.48	-11.12	0
1.5	667.37	524.83	397.12	284.38	187.07	105.99	42.33	-2.33	-26.01	-26.24	0
2.0	560.86	421.62	302.30	201.14	117.08	49.75	-0.52	-32.77	-45.24	-35.45	0
2.5	480.81	344.85	233.57	143.00	70.45	14.40	-25.67	-49.27	-54.85	-39.75	0
3.0	420.08	287.36	183.73	102.80	40.23	-6.53	-38.81	-56.47	-58.09	-40.80	0
3.5	372.72	243.21	146.82	74.67	20.85	-18.27	-44.49	-58.04	-57.55	-39.94	0
4.0	334.77	208.38	118.82	54.61	8.38	-24.34	-45.80	-56.45	-54.97	-38.08	0
4.5	303.63	180.28	97.12	40.05	0.39	-26.98	-44.66	-53.23	-51.40	-35.75	0
5.0	277.59	157.20	79.99	29.33	-4.65	-27.58	-42.23	-49.28	-47.47	-33.21	0
6.0	236.52	121.73	55.19	15.30	-9.63	-25.78	-36.04	-41.11	-39.80	-28.52	0
7.0	205.65	96.09	38.68	7.26	-11.07	-22.56	-29.94	-33.85	-33.17	-24.41	0
8.0	181.67	76.97	27.38	2.59	-10.96	-19.25	-24.72	-27.89	-27.75	-21.02	0
9.0	162.56	62.40	19.49	-0.11	-10.21	-16.30	-20.48	-23.14	-23.39	-18.23	0
10.0	147.00	51.08	13.90	-1.65	-9.24	-13.81	-17.09	-19.37	-19.89	-15.95	0
15.0	99.11	20.78	2.27	-2.90	-5.09	-6.60	-7.95	-9.18	-10.00	-9.02	0
20.0	74.62	9.35	-1.33	-2.07	-2.97	-3.75	-4.50	-5.23	-5.86	-5.73	0
50.0	2.997	0.08	-0.23	-0.36	-0.47	-0.60	-0.72	-0.84	-0.96	-1.08	0

TABLO I 1000 m Değerleri

$$M_x = -M_o m$$

β	X										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.5	0	86.29	157.97	215.64	248.24	292.93	315.09	328.49	335.08	337.07	337.21
1.0	0	72.82	131.52	177.16	210.94	234.24	248.65	255.96	262.21	257.66	256.86
1.5	0	59.49	105.46	139.41	162.85	177.36	184.63	186.46	184.86	182.04	180.49
2.0	0	48.95	84.99	110.01	125.78	133.99	136.30	134.48	130.41	126.18	124.17
2.5	0	41.06	69.79	88.46	98.99	102.18	102.40	98.51	93.15	88.23	86.02
3.0	0	35.10	58.44	72.60	79.61	81.17	78.79	73.90	68.03	62.91	60.65
3.5	0	30.47	49.74	60.64	65.28	65.30	62.06	56.82	50.92	45.88	43.67
4.0	0	26.79	42.90	51.39	54.42	53.52	49.92	44.72	39.03	34.23	32.12
4.5	0	23.78	37.39	44.07	45.97	44.56	40.90	35.93	30.60	26.11	24.11
5.0	0	21.29	32.87	38.16	39.29	37.60	34.04	29.40	24.48	20.32	18.45
6.0	0	17.38	25.94	29.30	29.49	27.66	24.53	20.62	16.51	12.99	11.38
7.0	0	14.49	20.93	23.08	22.81	21.09	18.43	15.21	11.81	8.84	7.44
8.0	0	12.27	17.19	18.56	18.09	16.54	14.32	11.67	8.85	6.33	5.11
9.0	0	10.53	14.34	15.19	14.62	13.28	11.43	9.23	6.88	4.73	3.65
10.0	0	9.14	12.11	12.62	11.74	10.87	9.32	7.49	5.55	3.65	2.70
15.0	0	5.07	6.01	5.93	5.52	4.94	4.21	3.35	2.38	1.41	0.83
20.0	0	3.19	3.51	3.38	3.13	2.79	2.38	1.89	1.34	0.74	0.36
50.0	0	0.59	0.58	0.55	0.50	0.45	0.38	0.31	0.22	0.11	0.02

TABLO II 1000 m Değerleri

$$\bar{M}_x = M_o \frac{RH}{EI} \bar{m}$$

β	X										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.5	0	4.44	16.78	35.58	59.45	87.22	117.70	162.83	183.18	216.70	250.53
1.0	0	3.77	14.10	29.63	49.13	71.47	95.68	120.97	146.71	172.51	198.23
1.5	0	3.09	11.45	23.78	38.98	56.06	74.21	92.80	111.39	129.73	147.84
2.0	0	2.56	9.36	19.14	31.05	44.10	57.65	71.22	84.48	97.30	109.78
2.5	0	2.20	7.80	15.79	25.22	35.37	45.68	55.70	65.33	74.39	83.07
3.0	0	1.87	6.63	13.25	20.91	28.99	37.01	44.66	51.76	58.29	64.44
3.5	0	1.70	5.79	11.37	17.71	24.28	30.67	36.62	42.01	46.83	51.27
4.0	0	1.45	5.00	9.77	15.10	20.52	25.71	30.46	34.64	38.29	41.58
4.5	0	1.29	4.42	8.54	13.08	17.62	21.91	25.76	29.09	31.91	35.20
5.0	0	1.16	3.94	7.53	11.43	15.29	18.89	22.07	24.76	26.99	28.90
6.0	0	0.96	3.19	5.98	8.94	11.81	14.43	16.69	18.55	20.01	21.21
7.0	0	0.81	2.63	4.86	7.17	9.73	11.35	13.04	14.39	15.42	16.21
8.0	0	0.70	2.21	4.02	5.87	7.60	9.15	10.45	11.48	12.23	12.79
9.0	0	0.61	1.89	3.78	4.88	6.28	7.52	8.55	9.36	9.94	10.34
10.0	0	0.54	1.63	2.88	4.12	5.27	6.28	7.12	7.77	8.23	8.53
15.0	0	0.32	0.89	1.49	2.06	2.59	3.04	3.42	3.71	3.90	4.00
20.0	0	0.21	0.55	0.89	1.23	1.52	1.78	2.00	2.16	2.26	2.31
50.0	0	0.05	0.11	0.16	0.22	0.26	0.30	0.34	0.37	0.38	0.39

TABLO III $\bar{v}$ Değerleri

$$\bar{v} = M_o \frac{H^2}{EI} \frac{\bar{v}}{1000}$$