

# PERDE ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN YAPILARIN SÜREKLİ SİSTEM MODELİNE GÖRE PERİYOTLARININ TAYİNİ

**Kanat Burak BOZDOĞAN, Erkan KAYA**

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100/Bornova-İzmir

Geliş Tarihi : 17.10.2002

## ÖZET

Bu makalede taşıyıcı sistemi perde çerçevelerden oluşan yapıların periyotlarının tayini için kullanılan sürekli sistem hesap modelinin kesin yöntemlere yakınsaklığı araştırılmıştır. Çalışmada orijinal olarak periyotların bulunmasında kullanılan periyot parametresinin tayini için sayısal çözümleme yardımıyla oluşturulmuş olan bir tablo sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** Perde – çerçeve, Sürekli sistem, Periyot, Periyot parametresi

## ESTIMATING PERIODS FOR WALL-FRAME STRUCTURES BY USING CONTINUUM SYSTEM MODEL

### ABSTRACT

In this paper accuracy of continuum system calculation model with exact methods for determination of periods of shear wall structures is investigated. A table using numeric analysis for determination of used period parameters to find periods originally in this study is presented.

**Key Words :** Shear wall, Continuum system, Period, Period parameter

## 1. GİRİŞ

Bilindiği üzere yapıların dinamik analizinde iki hesap modeli kurulabilmektedir. Bunlar:

- Sürekli sistem hesap modeli ve
- Ayrık sistem hesap modeli'dir.

Sürekli sistem hesap modelinde titreşim hareketini oluşturan rijitlik kütle ve sönümün yapı içinde dağılmış olduğu kabul edilmektedir. Buna karşın ayrık sistem hesap modelinde ise bu üç ögenin sistemin belirli nokta ve bölgelerinde toplandığı varsayılmaktadır.

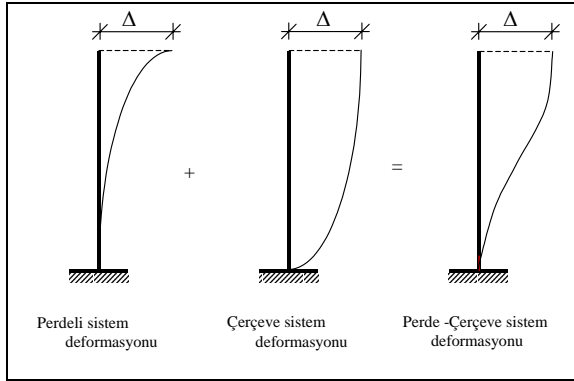
Yapıların dinamik analizi için hem ayrık kütleli hesap modelini hem de sürekli sistem hesap modelini temel alan bir çok çalışma yapılmıştır.

Taşıyıcı sistemi perde – çerçevelerden oluşan sistemlerin Sürekli sistem hesap modeline göre dinamik analizi için Smith and Crowe (1986; Hoenderkamp and Snijder (2000); Sigalov et al. (1976)'un ve son yıllarda özellikle Zalka'nın (2001) çalışmaları dikkat çekmektedir. Ülkemizde ise bu yöntemi tanıtan ve geliştiren araştırmalar (Bilyap 1979; Ertutar, 1995 ve Çelebi, 1997)'dir. Bu çalışmada da bazı kabuller altında perde çerçeve sistemlerin sürekli sistem hesap modeline dayalı olarak periyotlarının tayini incelenmiştir.

## 2. YÖNTEM

Yöntemin çıkartılmasında;

1. Malzemenin lineer elastik olduğu,
2. Çerçeveleri oluşturan kolon ve kirişlerin ortogonal olduğu,
3. Çerçevelerin kayma çerçevesi olduğu,
4. Kat döşemelerinin düzlemleri içinde sonsuz rijit olduğu,
5. Yapı sisteminin burulmasız olduğu,
6. Perdelerde klasik kiriş teorisindeki bağıntıların geçerli olduğu,
7. Kat yüksekliğinin yapı yüksekliği boyunca sabit olduğu,
8. Kolon kiriş ve perde boyutları yapı yüksekliği boyunca sabit olduğu, kabulleri yapılmaktadır. Bilindiği üzere taşıyıcı sistemi perde – çerçevelerden oluşan yapılarda yatay yükü perde ve çerçeveler birlikte taşımaktadır. Ancak perde – çerçeve sistemlerde iki değişik davranışın etkileşimi söz konusudur. Perde duvar yatay yükler altında bir “eğilme kirişi” gibi davranacak, buna karşılık çerçeve bir “kayma kirişi” davranışı gösterecektir. Perde duvarın deformasyon eğrisi “dış bükey”, çerçevenin deformasyon eğrisi ise “iç bükey” olma eğilimi gösterecek, ancak perde ve çerçevelerin beraber davranmaları sonucu sistem Şekil 1’deki gibi hem “eğilme kirişi” hem de “kayma kirişi” özellikleri gösteren bir deformasyon eğrisine sahip olacaktır.



Şekil 1. Perde ve çerçeveye ait deformasyon eğrileri

Buna göre hem eğilme hem de kayma davranışı gösteren Perde – Çerçeve sistemlere ait genel hareket denklemi  $EI =$  Toplam perde eğilme rijitliği,  $GA =$  Toplam Çerçeve kayma rijitliği olmak üzere,

$$EI \frac{\partial^4 Y}{\partial Y^4} - GA \frac{\partial^2 Y}{\partial X^2} + \frac{m}{h} \frac{\partial^2 Y}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Homojen 4. mertebeden kısmi diferansiyel denklem değişkenlerine ayrılırsa

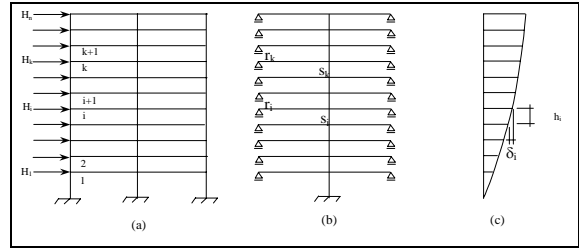
$$Y = X(x).T(t) \quad (2)$$

$$X^{IV} - \frac{GA}{EI} X'' - \frac{m}{h} W^2 X = 0 \quad (3)$$

$$T'' + W^2 T = 0 \quad (4)$$

şekline dönüşür. Genel hareket denkleminde yer alan çerçevelere ait kayma rijitliğinin yaklaşık hesabı için birçok bağıntı geliştirilmiştir. Ancak bunlardan yaygın olarak kullanılanı çok katlı yapılar için yatay öteleme altında moment-sıfır noktalarının kiriş ve kolonlarda ortada olduğu (Şekil 2) kabulüyle

$$(GA)_{\text{cer}} = \frac{12}{h \left( \frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right)} \text{ dir.} \quad (5)$$



Şekil 2. a) Çok katlı çerçeve, b) Fiktif referans sistemi, c) Yatay yer değiştirmeler

Burada ;

$s \rightarrow$  Bir katta bulunan tüm kolon rijitlikleri toplamı

$r \rightarrow$  Bir katta bulunan tüm kiriş rijitlikleri toplamı

$h \rightarrow$  Kat yüksekliği olmak üzere

$$r = \sum_{i=1}^m \frac{EI r_i}{e} \text{ ve } S = \sum_{i=1}^n \frac{EI s_i}{h} \quad (6)$$

Burada;

$m \rightarrow$  O katta bulunan tüm kiriş sayısını

$n \rightarrow$  O katta bulunan tüm kolon sayısını göstermekte olup

$\frac{I r_i}{e} \text{ ve } \frac{I s_i}{h} \rightarrow$  sırayla kiriş ve kolon redörlerini göstermektedir.

Eğer yapıda  $(GA)_{\text{cer}}$  kattan kata değişiyorsa bu durumda yapı için ortalama bir  $(GA)_{\text{cer}}$  değeri alınabilir. Çok katlı yapılarda alt ve üst katlarda moment sıfır noktalarının kolonların orta noktalarında oluşmadığı gerçeğinden hareketle alt ve üst katlar için farklı  $(GA)_{\text{cer}}$  değerleri tanımlanabilir (Taranath, 1988). Çerçevelerin kayma rijitliğinin

bulunması için farklı önerilerde verilebilmektedir. Ancak (5) bağıntısı gerçekten pratik bir bağıntı olup yapılan bilgisayar çözümleriyle de sınanmış ve oldukça iyi sonuçlar vermiştir (Atımtay, 2000).

Perde çerçeve sistem için kurulan matematik modele ait sınır koşulları olan,

- i)  $X(0) = 0$ ,
  - ii)  $X'(0) = 0$ ,
  - iii)  $EIX''(H) = 0$ , IV)  $EIX'''(H) - GAX'(H) = 0$
- değerleri 3'üncü adı diferansiyel denklemin çözümünde kullanılırsa perde-çerçeve sisteme ait X şekil fonksiyonu aşağıdaki şekilde elde edilir,

$$X_n(x) = \text{Cosh}(\alpha_n x) - \text{Cos}(\beta_n x) + C_n \left[ \text{Sinh}(\alpha_n x) - \frac{\alpha_n}{\beta_n} \text{Sin}(\beta_n x) \right] \quad (7)$$

Burada;

$$C_n = - \frac{\alpha_n^2 \text{Cosh}(\alpha_n H) + \beta_n^2 \text{Cos}(\beta_n H)}{\alpha_n^2 \text{Sinh}(\alpha_n H) + \alpha_n \beta_n \text{Sin}(\beta_n H)} \quad (8)$$

Yukarıda verilen sınır koşullarına bağlı olarak frekans denklemi

$$f = 2\eta^2 + (k^4 + 2\eta^2) \text{Cosh} \left( \sqrt{\frac{k^2 + \sqrt{k^4 + 4\eta^2}}{2}} \right) \text{Cos} \sqrt{\frac{k^4 + 4\eta^2}{2}} + \eta k^2 \text{Sinh} \sqrt{\frac{k^2 + \sqrt{k^4 + 4\eta^2}}{2}} \text{Sin} \sqrt{\frac{k^4 + 4\eta^2}{2}} = 0 \quad (14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada k periyot parametresi olup (15)'nolu aşkın denklem k'nın çeşitli değerlerine bağlı olarak şekilde nümerik çözümlerse η'nun değerleri bulunabilir. Burada karakteristik denklemin köklerine ait özelliklerinden yararlanarak

$$\frac{\lambda_1^2 \lambda_2^2}{H^4} = \frac{mW_i^2}{hEI} \quad (15)$$

olur. Buradan perde-çerçeve sisteme ait periyotlar

$$T_i = S_i H^2 \sqrt{\frac{m}{EIh}} \quad (16)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;  $S_i = \frac{2\pi}{\eta}$

Zalka (2000), yapılarda kütlelerin döşeme hizalarında daha yoğun olarak bulunduğu

$$\Delta = 2\lambda_1^2 \lambda_2^2 + (\lambda_1^4 + \lambda_2^4) \text{Cosh} \lambda_1 \text{Cos} \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1^2 - \lambda_2^2) \text{Sinh} \lambda_1 \text{Sin} \lambda_2 = 0 \quad (9)$$

şekindedir. Burada;

$$\lambda_1 = \alpha_n H \text{ ve } \lambda_2 = \beta_n H \quad (10)$$

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{\frac{GA}{EI} + \sqrt{\left(\frac{GA}{EI}\right)^2 + \frac{4mw^2}{hEI}}}{2}} \quad (11)$$

$$\beta_n = \sqrt{\frac{\left(\frac{GA}{EI}\right)^2 + \frac{4mw^2}{hEI} - \frac{GA}{EI}}{2}} \quad (12)$$

H toplam yapı yüksekliğini göstermektedir. Frekans denkleminde

$$k = H \sqrt{\frac{GA}{EI}} \quad (13)$$

ve  $\lambda_1 \lambda_2 = \eta$  olarak düzenlenirse frekans denklemi

gerçeğinden hareketle bir düzeltme katsayısı tanımlamıştır. Böylece periyotlar

$$T_i = S_i H^2 \sqrt{\frac{m}{r_f^2 EIh}} \quad (17)$$

formülüyle tanımlanmaktadır. Burada  $r_f$  düzeltme katsayısını ifade etmektedir ve tek katlı yapılar için  $r_f=0.493$ , iki katlı yapılar için  $r_f=0.653$ , üç ve daha yüksek katlı yapılar için n kat sayısı olmak üzere

$$r_f = \sqrt{\frac{n}{n + 2.06}} \quad (18)$$

Aşağıda Tablo 1'de ilk üç mod için (15) bağıntısındaki k değerlerine bağlı olarak  $S_i$  değerleri verilmiştir.

Tablo 1. k Değerlerine Bağlı Olarak  $S_i$  Değerleri

K	$S_1$	$S_2$	$S_3$	k	$S_1$	$S_2$	$S_3$	k	$S_1$	$S_2$	$S_3$
0.0	1.788	0.285	0.102	8.0	0.432	0.132	0.068	16.5	0.227	0.073	0.042
0.1	1.784	0.285	0.102	8.5	0.411	0.126	0.066	17.0	0.221	0.072	0.041
0.5	1.710	0.283	0.102	9.0	0.391	0.121	0.064	17.5	0.215	0.070	0.040
1.0	1.529	0.276	0.101	9.5	0.373	0.116	0.061	18.0	0.209	0.068	0.039
1.5	1.332	0.266	0.100	10.0	0.357	0.111	0.060	18.5	0.204	0.066	0.038
2.0	1.160	0.254	0.098	10.5	0.342	0.107	0.058	19.0	0.199	0.065	0.037
2.5	1.020	0.240	0.096	11.0	0.328	0.103	0.056	19.5	0.194	0.063	0.036
3.0	0.908	0.227	0.094	11.5	0.315	0.100	0.054	20.0	0.190	0.062	0.036
3.5	0.818	0.213	0.091	12.0	0.304	0.096	0.053	30.0	0.129	0.042	0.025
4.0	0.744	0.200	0.089	12.5	0.293	0.093	0.051	40.0	0.097	0.032	0.019
4.5	0.683	0.189	0.086	13.0	0.282	0.090	0.050	50.0	0.078	0.026	0.016
5.0	0.631	0.178	0.083	13.5	0.273	0.087	0.049	60.0	0.066	0.022	0.013
5.5	0.586	0.169	0.080	14.0	0.264	0.085	0.047	70.0	0.056	0.019	0.011
6.0	0.547	0.160	0.078	14.5	0.256	0.082	0.046	80.0	0.049	0.016	0.010
6.5	0.513	0.152	0.075	15.0	0.248	0.080	0.045	90.0	0.044	0.015	0.009
7.0	0.483	0.144	0.073	15.5	0.240	0.078	0.044	100	0.040	0.013	0.008
7.5	0.456	0.138	0.070	16.0	0.234	0.075	0.043	>100	$\frac{4}{k}$	$\frac{1.33}{k}$	$\frac{0.8}{k}$

Bilindiği üzere yüksek ve dar yapılarda eksenel deformasyonların katkısı ihmal edilemeyecek mertebelere sahiptir. İşte bu etkilerde perde-çerçeve sistemlerin periyot ve modlarının hesabında kolayca dikkate alınabilmektedir (Zalka, 2001). Buna göre burada yapıda eksenel deformasyonların katkısını sağlamak üzere bir efektif kayma rijitliği ( $GA$ ) değeri tanımlanmaktadır. Buna göre;

$$(GA)_{\text{etkili}} = S_j^2 (GA) \quad (19)$$

olarak alınmaktadır. Burada;

$$S_j^2 = \frac{f_{\text{eks}}^2}{f_{\text{eks}}^2 + f_{\text{kayma}}^2} \quad (20)$$

$$f_{\text{eks}}^2 = \frac{0.313EeI_{g,j} h}{H^4 m} \quad (21)$$

$$f_{\text{kayma}}^2 = \frac{1}{(4H)^2} \frac{GA.h}{m} \quad (22)$$

Burada;

$I_{g,j} \rightarrow$  kolonların yatay düzlemde eğilme rijitliği olup

$$I_{g,j} = \sum_{i=1}^n A_{\text{Kolon},i} t_i^2 \quad (23)$$

Burada;

$A_{\text{kolon}} \rightarrow$  i inci kolon alanı ve

$t_i \rightarrow$  i inci kolonun kolon kesitleri ağırlık merkezinden uzaklığıdır.

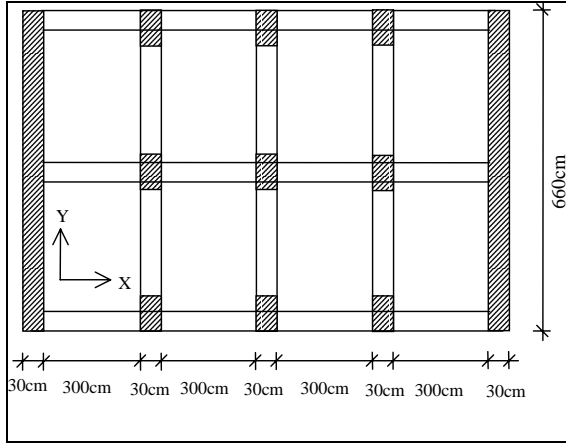
Taşıyıcı sistemi perde çerçevelerden oluşan yapıların eksenel deformasyonların katkısını da dikkate alarak periyotlarının tayini için (14)'nolu bağıntıda  $GA$  yerine (20)'nolu bağıntıdaki  $(GA)_{\text{etkili}}$  konularak işlemlere devam edilir.

Yöntemin uygulanmasında izlenecek işlem adımları

1. Çerçevelerin eşdeğer kayma rijitliği (5) bağıntısıyla bulunur,
2. Yapının toplam eğilme rijitliği bulunur,
3. k parametresi (14) bağıntısıyla bulunur,
4. k' dan yararlanarak Tablo1' den  $S_1, S_2, S_3$  okunur,
5. Kat yüksekliğine bağlı olarak  $r_f$  katsayısı (19) bağıntısıyla belirlenir,
6. (18) bağıntısıyla periyotlar bulunur.

## 2. 1. Metodun Yakınsaklığı

Şekil 3'te planı görülen yapıda bütün kirişler 25/50 cm, bütün kolonlar 30/60 cm, perdeler ise 30/660 cm ve kat yükseklikleri ise 3 m olarak alınmıştır. Y yönündeki çerçeve mesafeleri 3 m, elastisite modülü  $3.10^5 \text{ kg/cm}^2$ , kat kütlesi  $80 \text{ kg.sn}^2/\text{cm}$  olarak alınmıştır. Bu yapının Y yönündeki 1. ve 2. mod periyotları SAP2000 paket programıyla üç boyutlu olarak ve sürekli sistem hesap modeline göre hesaplanarak hata oranı Tablo 2'de gösterilmiştir. Uygulama 10, 15 ve 25 katlı yapılar için tekrarlanmıştır. Perdeler SAP2000 ile modellenirken eşdeğer kolon olarak modellenmiştir (Atımtay, 2000).



Şekil 3. Örnek için seçilen yapı planı

Tablo 2 . Örneğe Ait Periyotların Karşılaştırılması

Kat Sayısı	Modlar	Periyot (sn)		
		Sap2000	Sürekli Sistem	Hata (%)
10 Kat	1. Mod	0.40	0.39	2.5
	2. Mod	0.08	0.07	12.5
15 Kat	1. Mod	0.83	0.85	2.4
	2. Mod	0.15	0.15	0
25 Kat	1. Mod	2.14	2.32	8.4
	2. Mod	0.39	0.41	5.1

### 3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Özellikle yapı sistemlerinin hesabında kullanılan bilgisayar programlarının karmaşık sonuçlarına birebir güvenmek yerine, elde edilen sonuçların pratik yöntemlerle kontrol edilmesi yapılan projeye vakıf olma ve yapılan işin bilincinde olma açısından son derece önemlidir. Ayrıca elle yapılan hesaplarda, karmaşık çözümlerlerin zorluğundan ve olası hatalardan kaçınmak için pratik yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Bu çalışmada perde-çerçeve sistemlerin periyotlarının tayini için sürekli sistem hesap modeline dayalı olarak bir formül önerilmiştir. Bu formül salt perde veya salt çerçeve yapılar içinde uygulanabilmektedir. Yapılan örneklerde bu çalışmada sunulan yöntemle elde edilen periyot değerlerinin, SAP2000 ile bulunan periyot değerlerine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Sonuç olarak önerilen yöntemin perde

çerçeve sistemlerin periyotlarının tayini için ön boyutlandırma aşamasında ve proje aşamasında güvenle kullanılabilmesine inanılmaktadır.

### 4. KAYNAKLAR

Atımtay, E. 2000. Çerçevesiz ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı, Ankara.

Bilyap, S. 1979. Betonarme Yüksek Yapılarda Burulmasız Perde-Çerçeve Sistemlerinin Yatay Yüklere Göre Yaklaşık Hesap Yöntemleri ve Dinamik Karakteristikleri, E. Ü. Müh. Fak. Yayınları, İzmir.

Çelebi, Ü. 1997. Yapıların Doğal Titreşim Periyotlarının Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Hesabı İçin Bir Öneri, Yeni Deprem Yönetmeliği ve Uygulama Sorunları Sempozyumu, İzmir.

Ertutar, Y. 1995. Betonarme Yapılarda Yatay Yük Etkisi, D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları, İzmir.

Hoenderkamp, J., Snijder, H. 2000. Approximate Analysis of High-Rise Frames With Flexible Connections, The Structural Design of Tall Buildings (9), 233-248.

Sigalov, E., Murashev, E., Baikov, V. 1976. Design of Reinforced Concrete Structures, Mir Publishers, Moscow.

Stafford, S., Crowe, E. 1986. Estimating Periods of Vibration of Tall Buildings, Journal of the Structural Division, ASCE 112 (5): 1005-1019.

Taranath, S. B. 1988. Structural Analysis and Design of Tall Buildings, Mc Graw Hill.

Zalka, K. 2001. A Simplified Method for Calculation Natural Frequencies of Wall-Frame Buildings, Engineering Structures, 23 1544-1555.