

## Az Katlı Düzenli Çerçevesel Yapıların Periyot Hesabı İçin Bir Yaklaşım Önerisi

Hacer ÇOLAK<sup>1,\*</sup>, Hakan T. TÜRKER<sup>2</sup>, Hilmi COŞKUN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 79000, Kilis

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

<sup>3</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 31200, Hatay

### YAYIN BİLGİSİ

#### Tarihçe:

Alınış: Aralık 2019

Kabul: Aralık 2019

Online Yayınlanma: Aralık 2019

#### Anahtar Kelimeler:

Hâkim periyot

Düzenli çerçevesel yapı

Yanal kat rijitliği

### ÖZET

Periyot ifadesi yapıların en önemli dinamik karakteristiklerinden biridir ve literatürde periyot hesaplamasıyla ilgili çalışmalar önemli yer tutmaktadır. Bu çalışmada, çok katlı yapıların periyodunu hesaplayan periyot denklemleri elde edilmiştir. Önerilen formüller kat sayısına, kat yüksekliğine, kütesine ve rijitliğe bağlı olarak binanın hâkim periyodunu hesaplamaktadır. Önerilen denklemin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla iki ve üç katlı sayısal yapı modelleri oluşturulmuştur. Kesme tipi çerçeve modelleri için Özdeğer analizi ile, elastik kirişli çerçeve modelleri için Rayleigh yöntemi ile elde edilen hâkim periyot değerleri teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşımın gerçekçi yapı modellerinde de geçerliliğini test etmek için üç, beş ve yedi katlı yapı modelleri ele alınmıştır. Bu modellerin SAP2000 programı yardımıyla nümerik analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen hâkim periyotların teorik ve nümerik sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Oluşturulan yapı modelleri için sonuçların iyi uyum gösterdiği bu yaklaşımın SAP2000 yapı modelleri için de kabul edilebilir yakınsaklıkta sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

## An Approach Proposal for Period Calculation of Low-Rised Regular Framed Structures

### ARTICLE INFO

#### History:

Received: December 2019

Accept: December 2019

Available online: December 2019

#### Keywords:

Fundamental period

Regular frame building

Lateral story stiffness

### ABSTRACT

Period is one of the most important dynamic characteristics of structures, and studies on period calculation have an important place in the literature. In this study, period equations for multi-story buildings are obtained. The proposed formulas calculate the fundamental period of the building depending on the number of stories, story height, mass and stiffness. In order to evaluate the accuracy of the proposed equation, two- and three-story building models were generated. For these buildings models, the fundamental period values obtained by (i) eigen-value analysis for shear type frame models and (ii) Rayleigh method for elastic beam frame models were compared to (iii) theoretical values. Additionally, to test the validity of the proposed approach in realistic building models, three, five and seven story building models were also considered. Numerical analysis of these models was performed with SAP2000 program. The theoretical and numerical results of the obtained fundamental periods were compared to each other. It was observed that this approach, in which the results of the building models were well adapted, yielded acceptable convergence results for the SAP2000 building models.

## 1. Giriş

Dinamik yükler etkisi altındaki yapı davranışı yapının dinamik karakteristik özelliklerine bağlıdır. Periyot yapıların önemli dinamik karakteristiklerindedir. Yapıların serbestlik

derecelerine bağlı olarak birçok periyot ve bunlara karşı gelen mod şekilleri vardır. Yapının dinamik etkilerini hesaplamada birinci hâkim periyot en baskın ve önemli olanıdır [1]. Bu sebeple, yapıların dinamik analizi için özellikle hâkim periyotların kabul edilebilir yakınsaklıkla hesap edilmesine

yönelik çalışmalar yapılmıştır. Goel ve Chopra [2], Salama [3] ve Sangamnerkar ve Dubey [4] bina yönetmeliklerinde moment aktaran çerçevesel binalar için deprem kayıtlarıyla ölçülmüş verilerle elde edilen ampirik periyot denklemlerini regresyon analizleriyle geliştirerek periyot ifadeleri önermişlerdir. İncetaş ve Tanrikulu [5], binaların hâkim periyodunun yaklaşık hesabı için çeşitli deprem yönetmeliklerinde verilen yaklaşık formülleri farklı taşıyıcı sistemlerle irdelemişlerdir. Dirioğlu [6], çok katlı kesme tipi yapıların periyot hesabı için dalga hızını dikkate alarak bir yaklaşım önermiştir. Hsiao [7], az katlı moment aktaran çerçevesel sistemlerin hâkim periyot hesabı için indirgenmiş rijitlik matrisi tanımlayarak yaklaşık bir el hesabı geliştirmiştir. Şahin [8] çalışmasında periyodik kesme çerçevesel yapıların dinamik analizinde z-transform yöntemini uygulamıştır. Aninthaneni ve Dhakal [9], düzenli çerçevesel binaların hâkim periyodunu tahmin etmek için Macleod modelini düzenleyerek bir periyot tahmin denklemi önermiştir.

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan binaların hâkim doğal titreşim periyodunu kat sayısına, kat yüksekliğine, kat kütlelerine ve kat rijitliklerine bağlı olarak hesaplayan denklemler çıkartılmıştır. Önerilen periyot denkleminin geçerliliğini test etmek amacıyla 2, 3, 5 ve 7 katlı düzenli çerçeve modelleri oluşturulmuştur. Özdeğer analizi (problemi) ve “Rayleigh yöntemi” ile analitik olarak çözümlene yapılarak önerilen yöntem değerlendirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözüm yapan SAP2000 [10] paket programı aracılığıyla gerçekçi yapı modelleri için nümerik analizler gerçekleştirilmiştir.

Literatürdeki bazı yanal rijitlik hesaplamaları (Muto [11], Heidebrecht ve Stafford Smith [12], Paulay ve Priestley [13], Caterino, vd. [14]) önerilen periyot denklemlerinde kullanılarak SAP2000 sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Teorik ve nümerik olarak elde edilen hâkim periyot sonuçları karşılaştırmalı bir biçimde irdelemiştir.

## 2. Çerçevesel Sistemlerin Periyot Hesabına İlişkin Önerilen Yöntem

Tek katlı bir çerçevenin sönümsüz serbest titreşim durumunda sistemin doğal titreşim periyodu (T) kat kütlesi (m) ve rijitliğine (k) bağlı olarak Denklem (1) ile kolayca hesaplanabilir.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

Çok serbestlik dereceli sistemlerde ise kütle ve rijitlikler matrislerle ifade edildiğinden işlem yükü artar. Kat sayısı arttıkça çözüm daha zor ve karmaşık hale gelmektedir. Sistemin zemine mesnetlenme durumuna göre birinci katın rijitliği normal katlara göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada, çok katlı binaların hâkim doğal titreşim periyot hesabına ilişkin önerilen periyot denklemleri kat sayısına, kat yüksekliğine, kütlelerine ve rijitliğine bağlı olarak tanımlanmıştır. Kat yükseklikleri ile kat rijitliklerinin birinci kat ve diğer (normal) katlar için farklı, kat kütlelerinin tüm katlar için eşit olduğu kabulü ile elde edilen hâkim doğal titreşim periyot ifadeleri Denklem (2) – (5) ile verilmiştir.

$$T_{1,2 \text{ katlı}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \sqrt{\frac{3 - \cos\left[\frac{\pi\beta}{1+\beta}\right]}{2\left(3 + \psi - (1 + \psi) \cos\left[\frac{\pi\beta}{1+\beta}\right] - 4 \cos\left[\frac{\pi}{2+2\beta}\right]\right)}} \quad (2)$$

$$T_{1,3 \text{ katlı}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \sqrt{\frac{4 + \cos\left[\frac{\pi}{2+\beta}\right] - \cos\left[\frac{\pi\beta}{2+\beta}\right]}{5 + \psi + 2 \cos\left[\frac{\pi}{2+\beta}\right] - (1 + \psi) \cos\left[\frac{\pi\beta}{2+\beta}\right] - 8 \cos\left[\frac{\pi}{4+2\beta}\right]^3}} \quad (3)$$

$$T_{1,5 \text{ katlı}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \sqrt{\frac{6 + \cos\left[\frac{\pi}{4+\beta}\right] + \cos\left[\frac{2\pi}{4+\beta}\right] - \cos\left[\frac{\pi\beta}{4+\beta}\right] - \cos\left[\frac{\pi(1+\beta)}{4+\beta}\right]}{9 + \psi + 2 \cos\left[\frac{\pi}{4+\beta}\right] + 2 \cos\left[\frac{2\pi}{4+\beta}\right] - 2 \cos\left[\frac{7\pi}{2(4+\beta)}\right] - (1 + \psi) \cos\left[\frac{\pi\beta}{4+\beta}\right] - 2 \cos\left[\frac{\pi(1+\beta)}{4+\beta}\right] - 10 \cos\left[\frac{\pi}{2(4+\beta)}\right] - 2 \cos\left[\frac{3\pi}{2(4+\beta)}\right] - 2 \cos\left[\frac{5\pi}{2(4+\beta)}\right]}} \quad (4)$$

$$T_{1,7\text{ katlı}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \sqrt{\frac{8 + \cos\left[\frac{\pi}{6+\beta}\right] + \cos\left[\frac{2\pi}{6+\beta}\right] + \cos\left[\frac{3\pi}{6+\beta}\right] + \cos\left[\frac{\pi\beta}{6+\beta}\right] - \cos\left[\frac{\pi(1+\beta)}{4+\beta}\right] - \cos\left[\frac{\pi(2+\beta)}{6+\beta}\right]}{13 + \psi - 14 \cos\left[\frac{\pi}{2(6+\beta)}\right] + 2 \cos\left[\frac{\pi}{6+\beta}\right] - 2 \cos\left[\frac{3\pi}{2(6+\beta)}\right] + 2 \cos\left[\frac{2\pi}{6+\beta}\right] - 2 \cos\left[\frac{5\pi}{2(6+\beta)}\right] + 2 \cos\left[\frac{3\pi}{6+\beta}\right] - 2 \cos\left[\frac{7\pi}{2(6+\beta)}\right] - 2 \cos\left[\frac{9\pi}{2(6+\beta)}\right] - 2 \cos\left[\frac{11\pi}{2(6+\beta)}\right] - (1 + \psi) \cos\left[\frac{\pi\beta}{6+\beta}\right] - 2 \cos\left[\frac{\pi(1+\beta)}{6+\beta}\right] - 2 \cos\left[\frac{\pi(2+\beta)}{6+\beta}\right]}} \quad (5)$$

Burada;  $\beta=h_1/h$  ve  $\psi=k_1/k$  olmak üzere  $h$  binanın normal kat yüksekliğini,  $h_1$  birinci kat yüksekliğini,  $k$  normal kat yanal rijitliğini,  $k_1$  birinci kat rijitliğini,  $m$  ise kat kütlelerini simgelemektedir. Çıkarılan hâkim doğal titreşim periyot denklemleri binanın kat kütlelerine ve rijitliklerine bağlı olduğundan, kütle ve rijitliklerin el hesaplamasına uygun olarak pratik ve doğru hesaplanması önemlidir. Yanal kat rijitlikleri, taşıyıcı sistemin yanal ötelenmeye karşı gösterdiği dirence bağlı olarak hesaplanmaktadır. Önerilen yöntemin değerlendirmesinde çerçeve sistemlerin yanal kat rijitliği hesabı için literatürde kabul görmüş bazı yaklaşımlar (Muto [11], Heidebrecht ve Stafford Smith [12], Paulay ve Priestley [13], Caterino, vd. [14]) bu çalışmada ele alınmıştır.

### 3. Önerilen Periyot Denklemlerinin Doğrulaması

Önerilen periyot denklemleri binanın kat rijitliklerine ve kütlelerine bağlıdır. Binanın hâkim doğal titreşim periyodunu doğru bulabilmek için rijitlik hesaplarını doğru yapmak gerekir. İlk olarak kesme tipi yapı modellenmiş durumu dikkate alınarak özdeğer problemi olarak periyot hesaplaması ile elde edilen periyot değerleri önerilen denklem sonuçları karşılaştırılmıştır. Diğer örneklerde “Rayleigh yöntemi” ile elde edilen periyot değerleri önerilen periyot formülleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci doğrulama örneğinde yapının yanal rijitliğinin “Muto yöntemi” ile, periyodunun “Rayleigh yöntemi” ile bulunma durumu dikkate alınmıştır. Üçüncü doğrulama örneklerinde, SAP2000 programı ile periyotlar hesaplanmış ve önerilen periyot formülü ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Önerilen denklemlerdeki yanal rijitlik hesaplarında, yapı tipi modellerine literatürde kabul gören Muto [11], Heidebrecht ve Stafford Smith [12], Paulay ve Priestley [13], Caterino, vd. [14] yaklaşımları kullanılmıştır. Önerilen denklemle elde edilen sonuçlar SAP2000 sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

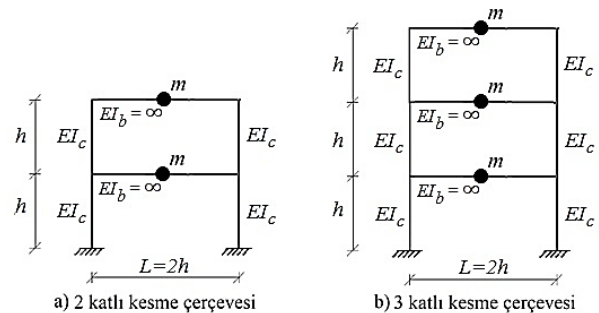
#### 3.1. Kesme Tipi Yapı Modeli

Kat kütlelerinin kat seviyelerinde toplu olduğu, döşemenin düzlemi içerisinde rijit olduğu, kiriş ve kolon aksel deformasyonları ile aksel kuvvetin kolon rijitliğine etkisinin ihmal kabulleri altındaki çerçeve sistemler kesme çerçevesi olarak modellenilebilirler. Böyle sistemlerde kolonun yanal (ötelenme) rijitliği, iki ucu dönmeye karşı tutulmuş kolonun iki uç düğüm noktasının birbirine göre olan yatay yer değiştirmesine karşı gelen rijitlik olarak tanımlanır ve yanal kat rijitliği hesabında herhangi bir  $j$ 'inci katta bulunan  $n$  adet kolona ait toplam rijitlik;

$$k_j = \sum_{i=1}^n \frac{12E(I_c)_i}{h_j^3} \quad (6)$$

ile hesaplanır. Burada  $E$  malzemenin elastisite modülü,  $I_c$  kolonun atalet momenti,  $h_j$  ise  $j$ 'inci kat yüksekliğidir [1].

Önerilen periyot denklemlerinin kesme tipi yapı modellenmiş durum doğrulaması için Şekil 1 ile gösterilen aynı kat kütlelerine ve rijitliklerine sahip iki ve üç katlı çerçeve modelleri ele alınmıştır. Sonsuz eğilme rijitlikli kirişlerin  $0,30 \times 0,60$  m kesitinde kolonlara bağlandığı modellerde kat yüksekliği 3 m ve açıklık 6 m'dir. Elastisite modülü  $30 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>, kat ağırlıkları 150 kN olan sistemde kat rijitlikleri Denklem (6) ile hesaplanmıştır.



Şekil 1. Kesme tipi çerçeve örnek modelleri [1]

İki katlı yapı modeli için kesme tipi yapı modeli dikkate alınarak elde edilen M kütle ve K rijitlik matrisi Denklem (7) ve (8) ile verilmektedir.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 + k_2 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Serbest titreşim açısal frekansı ( $\omega$ ) Denklem (9) ile verilen çözümlene yapılarak elde edilmektedir.

$$|K - \omega^2 M| = 0 \quad (9)$$

Özdeğer yöntemi ile analizi yapılarak hâkim periyot değerleri ile ve önerilen denklemlerle elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 1 ile verilmiştir.

**Tablo 1.** Kesme Tipi Çerçeve Modellerinin Periyot Sonuçları (s)

| Model   | Özdeğer  | Teorik<br>(Bu çalışma) | Fark (%) |
|---------|----------|------------------------|----------|
| 2 Katlı | 0.209521 | 0.207212               | 1.101    |
| 3 Katlı | 0.290964 | 0.288857               | 0.724    |

Önerilen periyot denklemlerinin az katlı düzenli kesme tipi çerçeve modellerinde oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

| Normal ve enüst katlarda                       |  |                                    | Temel kolonlarında                |                                   |
|--|--|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
|  |  |                                    |                                   |                                   |
| $\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2k_c}$ | $\bar{k} = \frac{k_1 + k_3 + k_4}{2k_c}$ | $\bar{k} = \frac{k_1 + k_4}{2k_c}$ | $\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{k_c}$ | $\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{k_c}$ |

**Şekil 2.** Muto (1965) yaklaşımında kolonun konumuna göre tanımlanmış kiriş-kolon rijitlik oranları [11]

“ $k_{1-4}=I_{1-4}/l_{1-4}$ ” kirişlerin rölatif rijitlikleri ve “ $k_c=I_c/h_c$ ” kolon rölatif rijitliği olmak üzere; kolonun bulunduğu yere göre  $a$  düzeltme katsayısının tanımı Denklem (12) ile verilmiştir.

Ara kat kolonları için;

$$a = \frac{\bar{k}}{\bar{k} + 2} \quad (12a)$$

Ankastre mesnetli kolonlar için;

$$a = \frac{0,5 + \bar{k}}{\bar{k} + 2} \quad (12b)$$

$I_i$ ;  $i$  kirişinin atalet momentini,  $l_i$ ;  $i$  kirişinin uzunluğunu,  $I_c$ ; kolon atalet momentini,  $h_c$ ; kolon yüksekliğini ifade etmektedir [11].

### 3.2. Elastik Kirişli Çerçeve Modeli

Çerçevesel binaların hâkim doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan analitik yöntemlerden biri de Rayleigh yöntemidir [15]. “Rayleigh yöntemi” ile periyot hesabı Denklem (10) ile gösterilmiştir.

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N m_i \delta_i^2}{\sum_{i=1}^N F_i \delta_i}} \quad (10)$$

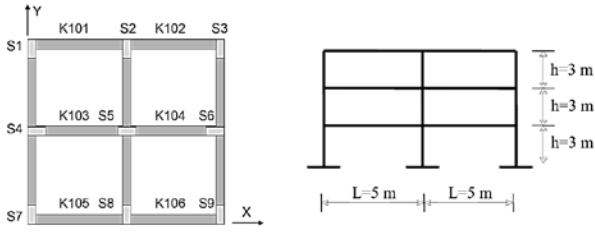
Burada  $N$  kat sayısını,  $m_i$ ,  $\delta_i$  ve  $F_i$  sırasıyla  $i$ 'nci kat kütlelerini, yanal yer değiştirmesini ve ilgili kata uygulanan yanal kuvveti ifade etmektedir. Çalışmanın bu kısmında “Rayleigh yöntemi” ile periyot hesabında yanal kat rijitliği hesabı kiriş ve kolonların rijitliklerine bağlı olarak tanımlanan “Muto yöntemi” [11] ile yapılmıştır.

“Muto yöntemi” ile yanal rijitlik ifadesi;

$$k_{ij} = a \frac{12E(I_c)_{ij}}{h_i^3} \quad (11)$$

ile verilmiştir. Şekil 2’de verilen kolonların çerçeve içinde bulunduğu konuma göre kiriş-kolon rijitlik oranları ( $\bar{k}$ ) ile  $a$  düzeltme katsayıları tanımlanmıştır.

Önerilen yöntemin elastik kirişli çerçeve modelinde doğrulamasını yapmak için Şekil 3’te verilen aynı kat kütlelerine sahip iki ve üç katlı çerçeve modeli oluşturulmuştur. Elastisite modülü  $30 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>, kolon kesitleri  $0,30 \times 0,60$  m ve kiriş kesitleri  $0,25 \times 0,60$  m’dir. Kat ağırlığı 4000 kN, açıklığı 5 m ve kat yükseklikleri 3 m olan çerçeve modelinin X yönündeki hâkim periyot değeri “Rayleigh yöntemi” ile hesaplanmıştır. Kat rijitliği hesabında “Muto yöntemi” kullanılmıştır.



Şekil 3. Elastik kirişli çerçeve örnek modeli plan ve kesiti

Oluşturulan modellerin “Rayleigh yöntemi” ve önerilen denklemlerle elde edilen hâkim periyot sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Elastik Kirişli Çerçeve Modeli için Periyot Sonuçları (s)

| Model   | Rayleigh | Teorik<br>(Bu çalışma) | Fark (%) |
|---------|----------|------------------------|----------|
| 2 Katlı | 0.54259  | 0.51098                | 5.83     |
| 3 Katlı | 0.77342  | 0.74161                | 4.11     |

Önerilen periyot denklemlerinin az katlı düzenli elastik kirişli çerçeve modellerinde kabul edilebilir oranlarda sonuçlar verdiği görülmektedir.

### 3.3. Çerçeve Sistemlerinin Sonlu Elemanlar Modellemesi

Önerilen denklemin doğrulaması için gerçek yapı modellerini temsil eden farklı kat sayılarında düzenli çerçevesel bina modelleri oluşturulmuştur. Literatürde çerçevesel sistemlerin yanal kat rijitliği

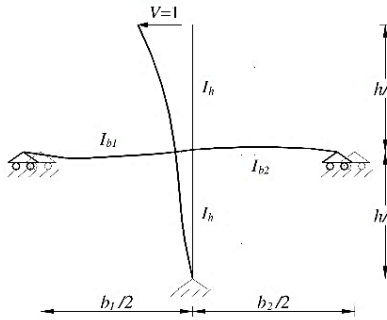
hesabında kiriş-kolon rijitliklerine bağlı kapalı formda önerilmiş bazı yaklaşımlar (Muto [11], Heidebrecht ve Stafford Smith [12], Paulay ve Priestley [13], Caterino, vd. [14]) ele alınmış ve önerilen periyot denklemlerinde kullanılmıştır. 3 – 5 ve 7 katlı olmak üzere farklı kat sayılarında oluşturulan modellerin periyot değerleri önerilen denklemlerle elde edilmiştir. Aynı modellerin SAP2000 programında serbest titreşim analizleri yapılarak elde edilen periyot değerleri teorik yaklaşımla karşılaştırılmıştır.

#### 3.3.1. Yanal Kat Rijitliği Hesabı Yaklaşımları

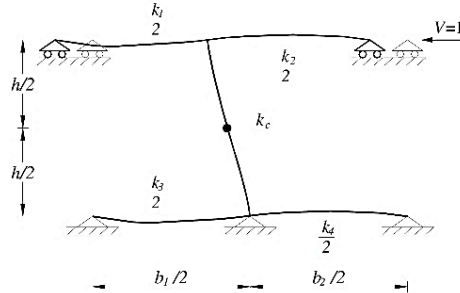
Çerçevesel binalar için herhangi bir j’inci katta bulunan bir i kolonuna ait yanal rijitlik Denklem (13) ile hesaplanır. Hesaplanan kolon rijitlikleri toplanarak yanal kat rijitliği bulunur.

$$k_{ij} = \alpha_k \frac{12E(I)_{ij}}{h_i^3} \quad (13)$$

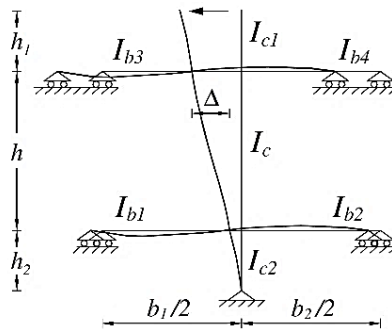
Burada  $\alpha_k$  katsayısı düğüm noktasındaki birbirine bağlı kirişlerin kolon uçlarındaki dönme kısıtının derecesine bağlı bir parametredir. Bir kolonun yapının toplam yanal rijitliğine olan katkısını vermektedir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ve literatürde kabul görmüş  $\alpha_k$  katsayısı ile ilgili yaklaşımlar Şekil 4 ve Denklem (14) - (17) ile verilmiştir.



a) Heidebrecht ve Smith (1973)



b) Paulay ve Prestley (1992)



c) Caterino, Cosenza ve Azmoodeh (2013)

**Şekil 4.** Kat rijitliği hesabı yaklaşımlarında kullanılan yardımcı çerçeveler [14]

Muto (1965) yaklaşımı ( M65)  $\alpha_k$  katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{\bar{k}}{\bar{k} + 2} \quad (14)$$

Heidebrecht ve Stafford Smith (1973) yaklaşımı (HS73)  $\alpha_k$  katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{1}{1 + \frac{2I_h}{h \left( \frac{I_{b1}}{b_1} + \frac{I_{b2}}{b_2} \right)}} \quad (15)$$

Paulay ve Priestley (1992) yaklaşımı (PP92)  $\alpha_k$  katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{\bar{k}}{\bar{k} + 2} \quad (16)$$

Caterino, Cosenza ve Azmoodeh (2013) yaklaşımı (CCA13)  $\alpha_k$  katsayısı;

$$\alpha_k = \frac{1}{1 - 3 \left( 1 + \frac{2h_1}{h_c} \right) \left[ 1 - \left( 1 + \frac{EI_c(h_c + 2h_2)}{A(2h_ch_1 + h_c^2)} \right) \left( \frac{\frac{h_c}{EI_c} + \frac{1}{B}}{\frac{h_c}{EI_c} - \frac{EI_c}{ABh_c}} \right) \right]} \quad (17)$$

$$A = \left( \frac{EI_c}{h_c} + \frac{6EI_{b3}}{b_3} + \frac{6EI_{b4}}{b_4} \right) \quad B = \left( \frac{EI_c}{h_c} + \frac{6EI_{b1}}{b_1} + \frac{6EI_{b2}}{b_2} \right)$$

Denklem (17)'de kullanılan  $h_1$  ve  $h_2$  ifadeleri sırasıyla üst kat ve alt kat kolonlarının moment sıfır noktalarına olan mesafelerini göstermektedir. Bu değerler Muto (1965) çalışmasında verilen tablolar kullanılarak hesaplarda dikkate alınmaktadır.

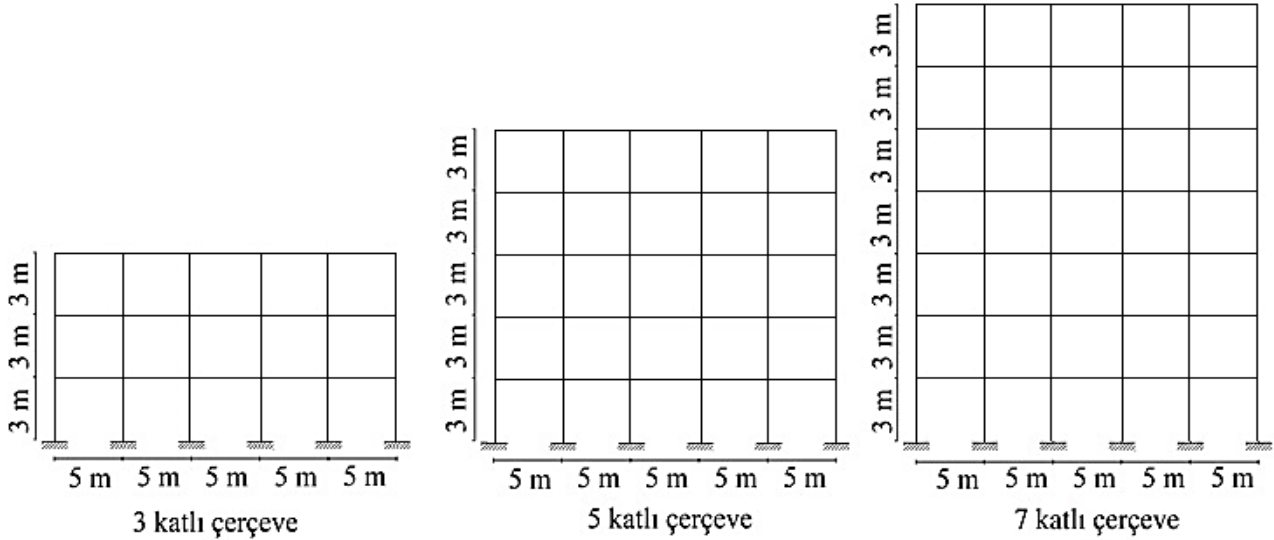
### 3.3.2. Model Bilgileri

Önerilen periyot denklemlerinin değerlendirilmesi için oluşturulan modellere ait bilgiler Tablo 3'te ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Kiriş ve kolon kesitleri aynı olan farklı kat sayılarına sahip düzenli betonarme çerçeve sistem modelleri oluşturulmuştur.

**Tablo 3.** Modellere ait bilgiler

| Bilgiler              |                      | Birim             |
|-----------------------|----------------------|-------------------|
| Elastisite Modülü (E) | 2.85×10 <sup>7</sup> | kN/m <sup>2</sup> |
| Ölü Yük (G)           | 5                    | kN/m <sup>2</sup> |
| Hareketli Yük (Q)     | 3.5                  | kN/m <sup>2</sup> |
| Kat Yüksekliği (h)    | 3                    | m                 |
| Açıklık Mesafesi (l)  | 5                    | m                 |
| Kat Sayısı (N)        | 3 – 5 – 7            |                   |
|                       | Kirişler (cm)        | Kolonlar (cm)     |
| Eleman Boyutları      | 30×50                | 30×50             |

Tüm modellerde kat yükseklikleri 3 m ve açıklık mesafeleri 5 m olarak eşit alınmıştır. Kat sayıları 3, 5 ve 7 olmak üzere toplamda 3 adet düzlem çerçeve modeli oluşturulmuştur. Aynı malzeme kullanıldığından elastisite modülü her elemanda aynıdır. Kat kütleleri döşeme yüklerine göre hesaplanmıştır.



Şekil 5. Oluşturulan 3, 5 ve 7 katlı model kesitleri

Oluşturulan modellere ait hâkim periyotlar hem önerilen periyot denklemleri ile teorik olarak, hem de SAP2000 programı yardımıyla nümerik olarak hesaplanmıştır. Elde edilen hâkim periyot değerleri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

### 3.3.3. Analiz Sonuçları

Bu çalışmada önerilen yöntem ile yapılan hesaplamalarda bina boyunca aynı kat kütleleri kullanılırken, birinci katın ve normal katın rijitlikleri farklı yanal rijitlik hesabı yaklaşımları ile hesaplanarak periyot denklemlerinde kullanılmıştır. Yalnızca Caterino, vd. [14] yaklaşımında (CCA13) her katın yanal rijitliği farklı elde edildiğinden normal kat rijitliği olarak orta katlar için hesaplanan kat rijitlikleri dikkate alınmıştır. Yapılan bu kabulde elde edilen periyot sonuçları her kat model için Tablo 4'te verilmiş ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da grafik olarak gösterilmiştir. Tablo 5'te bu sonuçların

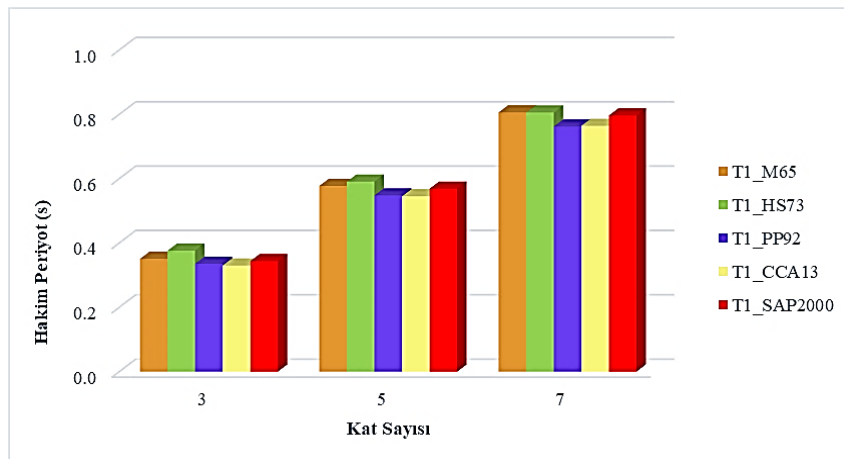
SAP2000 sonuçları ile hata oranları % olarak gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Bina Modelleri için Periyot Sonuçları (s)

| Periyot          | Yaklaşım                            | 3 Katlı | 5 Katlı | 7 Katlı |
|------------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| $T_{1\_M65}$     | Muto, 1965                          | 0.351   | 0.577   | 0.806   |
| $T_{1\_HS73}$    | Heidebrecht ve Stafford Smith, 1973 | 0.376   | 0.591   | 0.806   |
| $T_{1\_PP92}$    | Paulay ve Priestley, 1992           | 0.335   | 0.548   | 0.762   |
| $T_{1\_CCA13}$   | Caterino, vd. 2013                  | 0.330   | 0.545   | 0.764   |
| $T_{1\_SAP2000}$ |                                     | 0.344   | 0.569   | 0.797   |

**Tablo 5.** Hata Oranları (%)

| Periyot        | 3 Katlı | 5 Katlı | 7 Katlı |
|----------------|---------|---------|---------|
| $T_{1\_M65}$   | -2.055  | -1.488  | -1.186  |
| $T_{1\_HS73}$  | -9.484  | -3.840  | -1.105  |
| $T_{1\_PP92}$  | 2.432   | 3.695   | 4.361   |
| $T_{1\_CCA13}$ | 3.978   | 4.185   | 4.120   |



Şekil 6. Farklı kat sayılarındaki düzenli çerçeve modellerine ait hâkim periyot sonuçları

Düzenli çerçeveli sistemler için önerilen ve birinci katın rijitlik etkisinin dikkate alındığı periyot denklemlerinin SAP2000 yapı modelleri için kabul edilebilir yakınlıkta sonuçlar verdiği görülmektedir. Birinci kat rijitliğinin ihmal edildiği ( $\psi=1$ ) durumda kat rijitliği normal kat rijitliği olarak hesaplarda kullanıldığında hata oranlarının genel olarak bir artış gösterdiği tespit edilmiştir. Farklı kat sayılarındaki binalar için binaların periyot hesabında kabul edilebilir hata oranlarında sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan kabuller doğrultusunda hesaplarda dikkate alınan kat rijitliğinin farklı tanımlanma durumlarında da hâkim periyot sonuçları her kat yapı modeli için SAP2000 sonuçlarına oldukça iyi yakınsaklık göstermiştir.

#### 4. Sonuçlar

Çerçeve tipi taşıyıcı sisteme sahip binaların hâkim doğal titreşim periyodunu kat yükseklikleri, kat rijitliklerine ve kütlelerine bağlı olarak hesaplayan denklemler önerilmiştir. Önerilen denklemin geçerliliğini test etmek için yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde kullanılan el hesabına uygun yaklaşık yanal kat rijitliği yaklaşımının belirleyici parametre olduğu gözlenmiştir. Sonuçlar üzerinde birinci kat rijitliğinin etkili olduğu ve hesaplamalarda dikkate alınması gerektiği kanaati oluşmuştur. Genel olarak sonuçların bu çalışma kapsamında verilen düzenli çerçeveli yapı modellerinde kabul edilebilir hata oranlarında yakınlık gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle kesme tipi çerçevelerde sonuçlar çok iyi uyum gösterirken, diğer genel çerçeve modellerinde de kabul edilebilir oranlarda sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

**Not:** Bu çalışma, 13-15 Haziran 2019 tarihleri arasında İskenderun/Türkiye’de düzenlenen Uluslararası İnşaat Mühendisliği’nde İnovasyon, Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Eğitim Konferansında (iSTE-CE’2019) sunulmuştur.

#### Kaynakça

[1] Chopra, AK. Dynamics of structures theory and applications to earthquake engineering. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall; 2012.

[2] Goel, RK., Chopra AK. Period formulas for moment-resisting frame buildings. Journal of structural engineering 1997; 123(11): 1454-1461.

[3] Salama, MI., Estimation of period of vibration for concrete moment-resisting frame buildings. HBRC Journal 2014; 11(1): 16-21.

[4] Sangamnerkar, P., Dubey, SK., Equations to evaluate fundamental period of vibration of buildings in seismic analysis. Structural monitoring and maintenance 2017; 4(4): 351-364.

[5] İncetaş, S., Tanrıkulu, K., Binaların birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2001;136-145.

[6] Dirioğlu, E., Çerçeve tipi yapıların birinci temel periyotlarının hesabi için yaklaşık yöntemler. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005. İstanbul.

[7] Hsiao, JK., Computation of fundamental periods for moment frames using a hand-calculated approach. Electronic journal of structural engineering 2009; 9:16-28.

[8] Şahin, M. Application of z-transform method for dynamic analysis of periodic shear structures. Journal of engineering mechanics 2013; 140(5).

[9] Aninthaneni, PK., Dhakal, RP. Prediction of fundamental period of regular frame buildings. Bulletin of the new zealand society for earthquake engineering 2016; 49(2): 175-189.

[10] SAP2000, Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures, release 16.0, Computers and Structures Inc., Berkeley, CA.

[11] Muto, K. Seismic analysis of reinforced concrete buildings. Tokyo-Japan: Shokoku-sha Publishing Co.; 1965.

[12] Heidebrecht, A., Stafford Smith, B. Approximate analysis of tall wall-frame structures. ASCE Journal of the structural division, 1973; 99: 199-221.

[13] Paulay, T., Priestley, MJK. Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings. New York: John Wiley & Sons Inc.; 1992

[14] Caterino, N., Cosenza, E., Azmoodeh, BM. Approximate methods to evaluate storey stiffness and interstory drift of RC buildings in seismic area. Structural engineering and mechanics 2013; 46(2), 245-267.



[15] T rkiye Bina Deprem Y netmeliĐi, 2018,  
Afet ve Acil Durum Y netimi Başkanlığı,  
Ankara.