

## BOŞLUKLU PERDE DUVAR SİSTEMLERİN SERBEST TİTREŞİM PERİYOTLARININ FARKLI YÖNTEMLERLE HESAPLANMASI (DERLEME)

Tolga AKIŞ\*

*Atılım Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06836 İncek, Ankara,  
TÜRKİYE tolga\_akis@atilim.edu.tr*

Safa Bozkurt COŞKUN

*O.D.T.Ü Mühendislik Fak., Mühendislik Bilimleri Bölümü, 06531 Ankara, TÜRKİYE*

### ÖZET

Çok katlı betonarme yapılarda kullanılan boşluklu perde duvarlar, özellikle deprem dayanımları açısından sıkça tercih edilen yapı sistemleridir. Dayanım ve rijitlik bakımından olumlu özelliklere sahip boşluklu perde duvarların, boşluksuz perde duvarlara göre daha sünek davrandığı bilinmektedir. Herhangi bir yapısal sistemin deprem davranışını belirleyen en önemli parametreler sistemin doğal modları ve bu modlara ait periyotlardır. Bu çalışmada, daha önce sınır eleman yöntemi kullanılarak modellenmiş ve serbest titreşim periyotları elde edilmiş bir boşluklu perde duvar sistemin, gerilme elemanlarının kullanıldığı sonlu elemanlar yöntemi ve çubuk elemanların kullanıldığı geniş kolon benzeşimi yöntemi kullanılarak serbest titreşim periyotları bulunmuştur. Analizlerden çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

*Anahtar Kelimeler: Boşluklu perde duvar, serbest titreşim periyodu, sonlu elemanlar yöntemi, geniş kolon benzeşimi, sınır eleman yöntemi*

## COMPUTATION OF NATURAL PERIODS OF COUPLED SHEAR WALLS USING DIFFERENT METHODS

### ABSTRACT

Coupled shear walls used in multi-storey structures are preferred especially for their resistance against earthquakes. Besides having a good rigidity and strength performance, they are known to behave more ductile than single shear walls. The most important parameters which reflect the behavior of a structure against an earthquake are the natural modes and corresponding periods. In this study, natural periods of a coupled wall system is obtained using finite element method in which plane stress elements are used and wide column analogy method in which frame members are used. The results are compared with the results obtained in another study in which boundary element method was used.

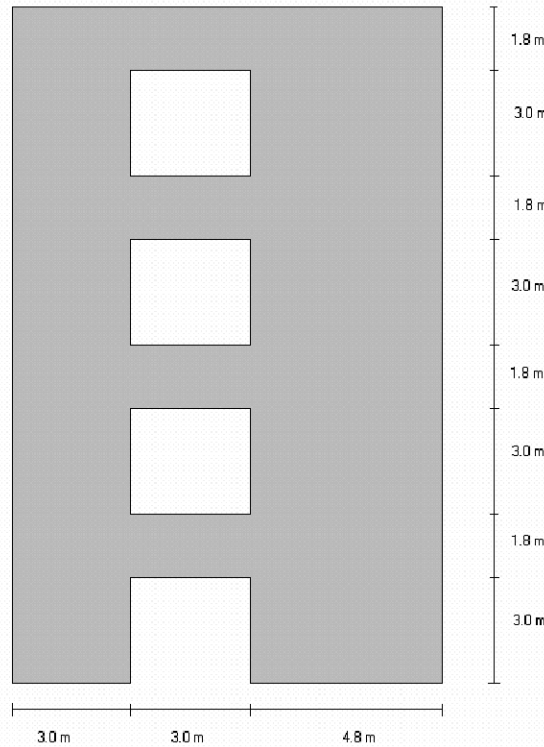
*Key Words: Coupled shear wall, natural vibration period, finite element method, wide column analogy, boundary element method.*

## 1. GİRİŞ

Çok katlı yapılarda kullanılan betonarme perde duvarlar, sıkça tercih edilen yapı elemanlarıdır. Binalara etkileyen yatay yükleri taşıyabilecek rijitliğe sahip olmaları ve diğer sistemlere göre daha ekonomik olmaları nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. En sık kullanılan boşluklu perde duvar sistemler, iki perde duvar arasında kalan mimari (kapı, pencere,vs.) veya tesisat amacıyla bırakılmış boşlukların bulunduğu sistemlerdir. İki perde duvar arasında, genellikle kat seviyelerinde bağlantı kirişlerinin bulunduğu bu sistemlerin dolu perdelerle göre daha sünek davrandığı bilinmektedir (1). Deprem mühendisliğinde herhangi bir yapısal sistemin deprem davranışını belirleyecek en önemli parametreler sistemin doğal modları ve bu modlara ait periyotlardır. Gerçek ortogonal titreşim modlarına haiz sistemlerde bu modlar;

1. Karakteristik değer probleminin doğrudan doğruya çözümü ile,
2. Problemin iteratif yöntemlerle yaklaşık çözümü ile bulunmaktadır (2).

Bu çalışmada, Şekil-1'de görülen, daha önce sınır eleman yöntemi ile modellenip analizi yapılmış ve ilk sekiz serbest titreşim periyodu bulunmuş boşluklu perde duvar sisteminin (3), Sonlu Elemanlar yöntemi kullanılarak, (a) 476 eleman, 559 düğüm noktası, (b) 952 eleman, 1068 düğüm noktası, (c) 1904 eleman, 2072 düğüm noktası, (d) 3808 eleman, 4042 düğüm noktası, (e) 7616 eleman, 7954 düğüm noktası olan ve lineer yerdeğiştirmenin yanısıra, dönmenin de gözönüne alındığı düzlem gerilme elemanlarının kullanıldığı 5 farklı model geliştirilmiş ve sisteme ait ilk 8 serbest titreşim periyodu bulunmuştur. Daha sonra, özellikle mühendislik bürolarında perde duvarların modellenmesinde sıkça kullanılan geniş kolon benzeşimi yöntemi (4) ile modellenen sistemin serbest titreşim periyotları hesaplanmıştır.



Şekil 1. İncelenen boşluklu perde duvar sistemi (perde kalınlığı =20 cm)

## 2. SİSTEMİN SONLU ELEMAN YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

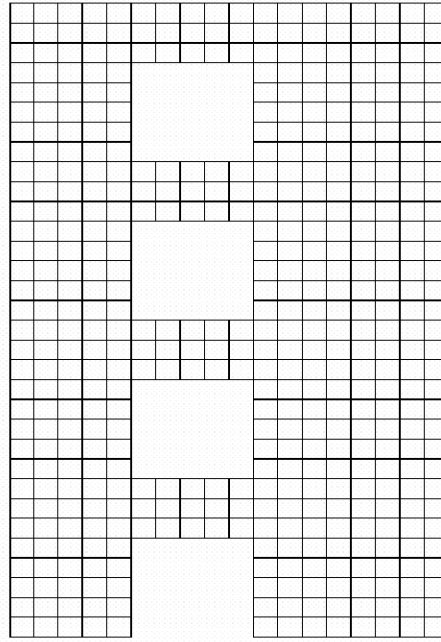
Günümüzde yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, çok farklı ve karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünü kolaylaştırmaktadır. Farklı amaçlar için kullanılan birçok paket program mevcuttur. Özellikle yapıların analizinde kullanılan SAP2000 programı (5), buradaki örnek bina sisteminin çözümünde kullanılmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin ana adımları şu şekilde sıralanabilir: (a) Yapı sonlu elemanlar sistemine bölünür. (b) Elemanın elastik ve geometrik özellikleri kullanılarak

eleman rijitlik matrisi oluşturulur. (c) Eleman rijitlik matrisleri birleştirilerek global rijitlik matrisi oluşturulur. (d) Sınır şartları belirlenerek rijitlik matrisine yansıtılır. (e) Elde edilen denge denklemleri çözülerek düğüm noktalarının yerdeğiştirmeleri bulunur. (f) Yerdeğiştirmeler kullanılarak istenilen parametreler hesaplanır.

Söz konusu boşluklu perde duvar sistemi, aşağıdaki Çizelge'de gösterilen sonlu elemanlar kullanılarak analiz edilmiştir (Çizelge 1). Analize ait tipik bir model de Şekil 2'de yer almaktadır.

**Çizelge 1.** Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan elemanların özellikleri

Analiz No	Elemanın Yüksekliği	Elemanın Boyu	Toplam Eleman Sayısı	Toplam Düğüm Noktası Sayısı
1	0.60 m	0.60 m	476	559
2	0.60 m	0.30 m	952	1068
3	0.30 m	0.30 m	1904	2072
4	0.30 m	0.15 m	3808	4042
5	0.15 m	0.15 m	7616	7954



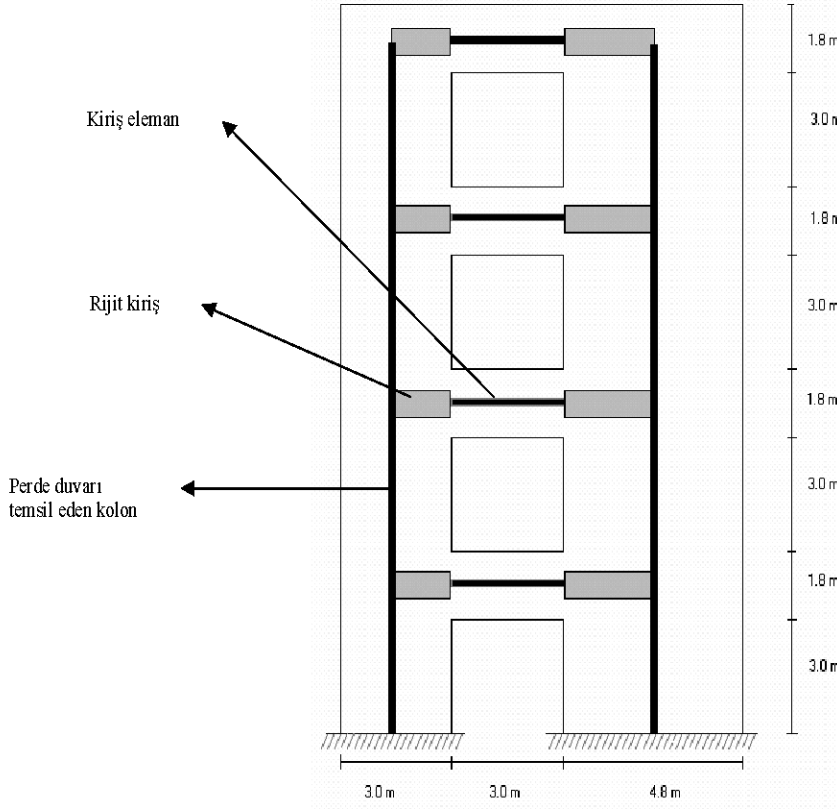
**Şekil 2.** Sonlu elemanlara bölünmüş boşluklu perde duvar (Analiz 1)

### 3. SİSTEMİN GENİŞ KOLON BENZEŞİMİ İLE MODELLENMESİ

Perde duvarların analizinde kullanılan geniş kolon benzeşimi, basit ve kolay uygulanabilir bir yöntem olması sebebiyle, özellikle tasarım ve analiz yapan mühendisler tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Geniş kolon benzeşimi, üç varsayıma dayanmaktadır:

1. Eşdeğer çerçeve düşey çubuk elemanlarının, modellenen perde duvarın ağırlık merkezinden geçmesi,
2. Düşey çubuk elemanların (kolonların) kesit özellikleri perde duvarın kesit özellikleri ile aynı olması,
3. Perde duvar genişliğinin, perde duvar niteliklerini taşıyan çubuk düşey elemana bağlanmış rijit kirişlerle modellenmesi.

Ele alınan örnek sistem, Şekil 3 'deki gibi modellenmiştir. Modelde, perdelerdeki boşlukların altında ve üstünde yer alan kısımlar eğilmeye maruz kalan yatay çubuk eleman (kiriş) olarak alınmıştır. Rijit kirişlerin atalet moment değerleri diğer elemanlara göre oldukça yüksek alınarak rijitlik özelliği sağlanmıştır. Yoğunlukları ise sıfır olarak kabul edilmiştir. Sonlu Elemanlar Yöntemini kullananan SAP2000 programı yardımı ile analiz edilen modelin ilk 8 serbest titreşim periyodu bulunmuştur.



Şekil 3. Geniş kolon benzeşimi yöntemi ile oluşturulan model

#### 4. SİSTEMİN SINIR ELEMAN YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

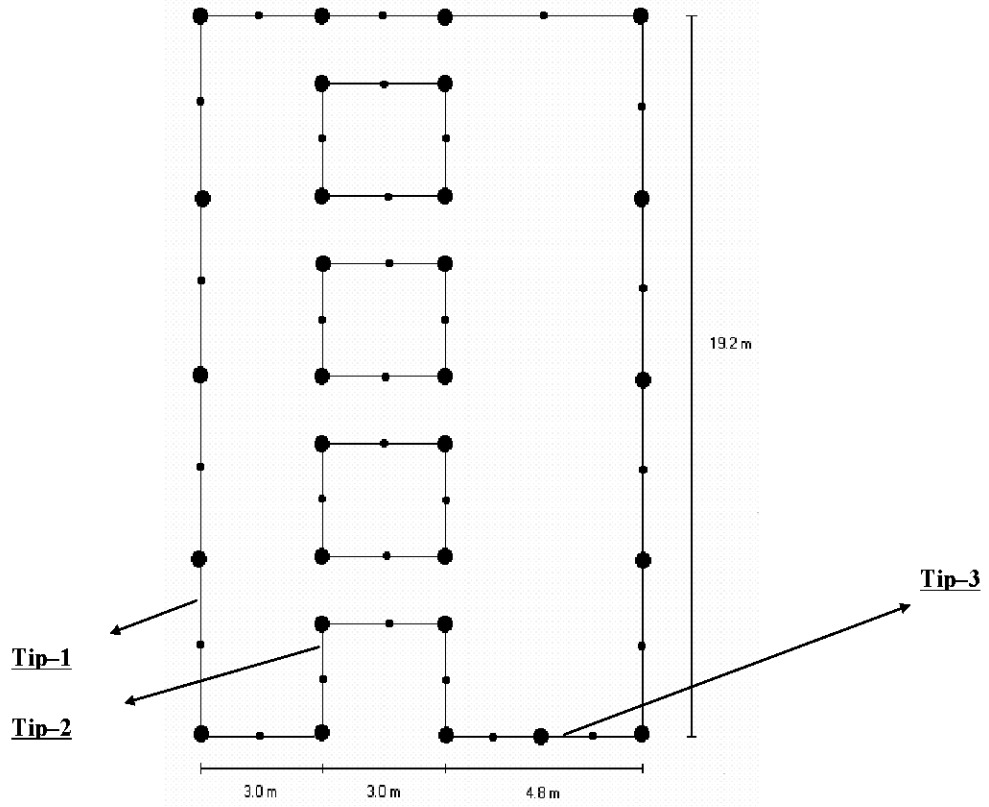
Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak gelişen ve yaygınlaşan sınır eleman yöntemi yarı analitik bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Yöntemin temel basamakları şöyle sıralanabilir (6):

1. Problemin idare eden denklemleri, integral denklemlere dönüştürülür.
2. Sınır ayrıklaştırılır ve sınır büyüklükleri çeşitli şekil fonksiyonları yardımıyla yaklaşık olarak ifade edilir.
3. İntegral denklemleri bilinmeyen sınır büyüklükleri için çözülür.
4. İstenirse, çözüm bölgesi içinde kalan alandaki büyüklükler sayısal olarak bulunur.

Ele alınan çalışmada (3) sistemin sınır eleman yöntemi ile analizinde, model 29 adet "quadratic" eleman ve 58 düğüm noktasına ayrıştırılmıştır (Şekil 4). Üç farklı tipte elemanın (Çizelge 2) kullanıldığı modelde, yöntemin özelliğinden dolayı, sistemin sadece dış sınırları ayrıştırılmıştır.

**Çizelge 2.** Sınır Eleman Yönteminde kullanılan eleman tipleri

Tip	Uzunluk	Adet
1	4,8 m	9
2	3,0 m	18
3	2,4 m	2

**Şekil 4.** Sınır eleman yöntemi kullanılarak oluşturulmuş 29 elemanlı model

## 5. ANALİZ SONUÇLARI

Sonlu elemanlar yöntemi ve geniş kolon benzeşimi yöntemi kullanarak yapılan analizlerden elde edilen serbest titreşim periyotları Çizelge 3 ve Çizelge 4'de yer almaktadır. Analizler yapılırken, betonun lineer elastik davrandığı kabul edilmiştir. Bulunan sonuçların (3) nolu referanstaki sonuçlarla karşılaştırma yapabilmek için Elastisite Modülünün birim kütleyle oranı 10.000, Poisson oranı da 0,25 alınmıştır. Çizelge 5'de de Sınır Eleman Yöntemi kullanılarak yapılmış analizlerden (3) elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

**Çizelge 3.** Sonlu Elemanlar Yöntemi ile yapılan analizlerin sonuçları

Mod no	Analiz-1 (476 eleman)	Analiz-2 (952 eleman)	Analiz-3 (1904 eleman)	Analiz-4 (3808 eleman)	Analiz-5 (7616 eleman)
1	3.053 s	3.061 s	3.106 s	3.115 s	3.129 s
2	0.893 s	0.895 s	0.903 s	0.905 s	0.907 s
3	0.824 s	0.825 s	0.826 s	0.826 s	0.826 s
4	0.532 s	0.534 s	0.544 s	0.546 s	0.549 s
5	0.414 s	0.415 s	0.420 s	0.421 s	0.422 s
6	0.346 s	0.346 s	0.348 s	0.348 s	0.349 s
7	0.318 s	0.319 s	0.321 s	0.321 s	0.322 s
8	0.285 s	0.285 s	0.287 s	0.287 s	0.288 s

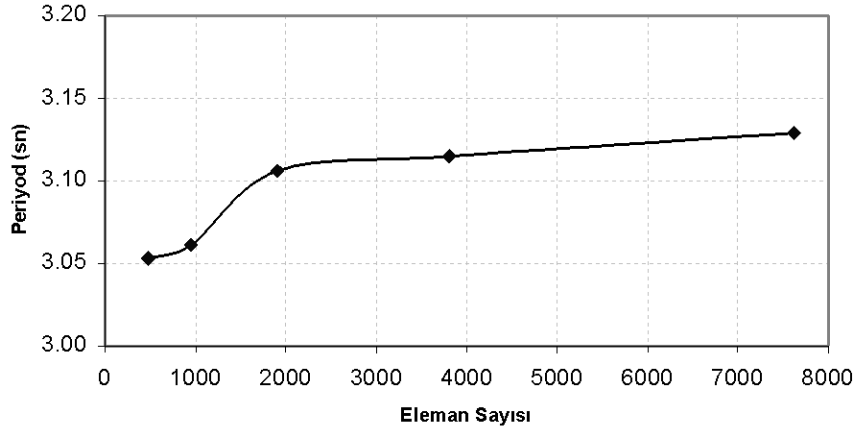
**Çizelge 4.** Geniş Kolon Benzeşmesi Yöntemi ile elde edilen serbest titreşim periyotları

Mod no	Periyod
1	2,291 s
2	0,735 s
3	0,692 s
4	0,456 s
5	0,371 s
6	0,290 s
7	0,253 s
8	0,232 s

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizlerde bulunan sonuçların asimtotik bir davranış sergilediği gözlemlenmiştir. Bu duruma örnek olarak Şekil 4'de çeşitli eleman sayıları kullanılarak bulunan birinci mod periyotlarının grafiği verilmiştir. En fazla elemanın kullanıldığı analizin (7616 eleman) gerçeğe en yakın sonuçları verdiği varsayılarak, yapılan analizlerin sonuçlarının karşılaştırılması ve hata oranları ve Çizelge 6'da yapılmıştır.

**Çizelge 5.** Sınır Eleman Yöntemi ile bulunmuş [2] serbest titreşim periyotları

Mod no	Periyod
1	3,020 s
2	0,875 s
3	0,822 s
4	0,531 s
5	0,394 s
6	0,337 s
7	0,310 s
8	0,276 s



Şekil 5. Sistemin birinci modunun eleman sayısına göre değişimi

Çizelge 6. Sonuçların karşılaştırılması - Hata oranları

	Sonlu Elemanlar	Sonlu Elemanlar	Sonlu Elemanlar	Sonlu Elemanlar	Geniş Kolon Benzeşimi	Sınır Eleman Yöntemi
<b>Mod no</b>	<b>Analiz-1</b> (476 eleman)	<b>Analiz-2</b> (952 eleman)	<b>Analiz-3</b> (1904 eleman)	<b>Analiz-4</b> (3808 eleman)	-	-
<b>1</b>	-%2,43	-%2,17	-%0,74	-%0,45	-%26,78	-%3,48
<b>2</b>	-%1,54	-%1,32	-%0,44	-%0,22	-%18,96	-%3,53
<b>3</b>	-%2,42	-%0,12	%0,00	%0,00	-%16,22	-%4,84
<b>4</b>	-%3,01	-%2,73	-%0,91	-%0,55	-%16,94	-%3,28
<b>5</b>	-%1,90	-%1,66	-%0,47	-%0,24	-%12,09	-%6,64
<b>6</b>	-%0,86	-%0,86	-%0,29	-%0,29	-%16,91	-%3,44
<b>7</b>	-%1,24	-%0,93	-%0,31	-%0,31	-%21,43	-%3,73
<b>8</b>	-%1,04	-%1,04	-%0,35	-%0,35	-%19,44	-%4,17

## 6. SONUÇLAR

Yukarıdaki analizler değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

1. Sınır eleman yöntemi kullanılarak yapılmış analizden elde edilen serbest titreşim periyotlarının değerleri sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen serbest titreşim periyotlarına yakındır. Hata oranı, %3 ile %6 arasındadır ki bu da kabul edilebilir sınırlar içindedir.

2. Geniş kolon benzeşimi kullanılarak oluşturulan modelden elde edilen serbest titreşim periyotları ile sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplanan serbest titreşim periyotları arasında %27'e varan sapmalar oluşmaktadır. Bunun sebebi kullanılan çubuk elemanların davranışının düzlem gerilme elemanların davranışından farklı olmasıdır. Dolayısıyla geniş kolon benzeşimi yöntemi bu tip sistemler için uygun değildir.

3. Sınır eleman yöntemi sonlu elemanlar yöntemine göre kullanımı daha basit, gereken bilgi sayısı daha azdır.

4. Herhangi bir sistemin modellenmesinde gerçek davranışı gözönünde bulunduracak uygun modelin seçimi önemlidir.

**KAYNAKLAR**

1. Taranath, B., S., "Tall buildings analysis and design", *McGraw-Hill*, New York (1988).
2. Erdik, M. ve Yüzügüllü, Ö., "Deprem mühendisliği açısından yapı dinamiğine giriş", *İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı*, Ankara (1980).
3. Partridge, P. W., Brebbia, C. A. And Wrobel, L. C., "The dual reciprocity boundary element method", Computational Mechanics Publications, *Southampton Boston*, 234-237 (1992).
4. McLeod, I. A., "Analytical modelling of structural systems", *Ellis Horwood Lim.*, New York (1990).
5. SAP2000, Structural analysis program, *Computers and Structures Inc.* (1999).
6. Mengi, Y., Tanrikulu, A. H. and Tanrikulu, A. K., "Boundary element method for elastic media - an introduction", *METU Press*, Ankara (1994).

*Geliş Tarihi:11.09.2002*

*Kabul Tarihi:01.07.2003*