

**Araştırma Makalesi / Research Article**  
**STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF MULTISTOREY BUILDINGS BY USING TRANSFER MATRIX METHOD**

**Kanat Burak BOZDOĞAN\*, Duygu ÖZTÜRK**

*Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bornova-İZMİR*

**Geliş/Received: 20.03.2006 Kabul/Accepted: 25.07.2006**

**ABSTRACT**

In this study an approximation for static and dynamic analysis of multistorey building is presented. In this study, a multistorey building is idealized as a cantilever sandwich beam and with the help of this idealization the storey transfer matrices are obtained. Then, by using these matrices, the system transfer matrix is obtained. At the end of the study, examples are presented to investigate the agreement of the presented method. Examples demonstrate good agreement with the results of finite element method

**Keywords:** Multistorey building, transfer matrix, static, dynamic analysis.

**ÇOK KATLI YAPILARIN TAŞIMA MATRİSİ YÖNTEMİYLE STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ**

**ÖZET**

Bu makalede çok katlı yapıların statik ve dinamik analizi için taşıma matrisi yöntemini temel alan bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada çok katlı yapı eşdeğer bir konsol sandviç kiriş olarak idealize edilmiş ve bu benzeşimden yararlanarak önce kat taşıma matrisleri elde edilmiş daha sonra kat taşıma matrisleri yardımıyla statik ve dinamik haldeki çözüm aşamaları açıklanmıştır. Çalışmanın sonunda verilen sayısal örneklerle, önerilen yaklaşımın sonuçları ile matris deplasman yönteminin sonuçları karşılaştırılarak irdelenmiştir. Yapılan irdemelerden bu çalışmada önerilen yöntemle hızlı ve pratik olarak yeterli doğrulukta sonuçlara ulaşılabileceği gösterilmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Çok katlı yapı, taşıma matrisi, statik, dinamik analiz.

**1. GİRİŞ**

Çok katlı yapıların statik ve dinamik analizi için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları sonlu elemanlar yöntemi ve sürekli sistem hesap modelidir.

Literatüre bakıldığında zaman çok katlı yapıların statik ve dinamik analizine yönelik çok sayıda çalışma yapılmış olup bu çalışmalarda ağırlıklı olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış olmakla beraber sürekli sistem hesap modelini esas alan çalışmalara da rastlanmaktadır. Bu hesap tarzı yapı özellikleri yapı yüksekliği boyunca değişmeyen yapılar için oldukça pratik bir şekilde uygulanabilmektedir. İlk kez 1960'lı yılların başlarında kullanılmaya başlanan yöntemle ilişkin yayımlara bakıldığında bu konuda çeşitli farklılıkları içeren çok sayıda çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Rosman yatay yük etkisi altındaki boşluklu perdelerin Çizelgeler yardımıyla statik

\* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: kanat.burak.bozdogan@ege.edu.tr, tel: (0232) 388 60 26

hesabı için, daha sonraları “Sürekli Bağlantı Yöntemi” adıyla anılacak bir yaklaşım önermiştir[1]. Sigalov ve arkadaşları bu hesap yöntemini oldukça geniş bir şekilde ele alarak genel perde çerçeve sistemlerin statik ve dinamik analizi için çeşitli bağlantılar sunmuşlardır [2]. Bilyap yayınladığı kitap ile bu işlemi “Diferansiyel Denklem Yöntemi” adıyla tanıtmış ve geliştirmiştir [3]. Bu çalışmalarda özellikle çok katlı taşıyıcı sistemlerde önem kazanan eksenel şekil değiştirmenin etkisi yeterli hassasiyette dikkate alınmamıştır.

Li ve Choo ise sürekli bağlantı yöntemine göre boşluklu perdelerin dinamik analizi için bir yöntem önermişlerdir [4]. Zalka perde-çerçeve sistemlerin doğal açısal frekanslarının tayini için sürekli sistem hesap modeline dayanan basit bir yöntem önermiş ve sayısal örnekler üzerinde yöntemin sonlu elemanlar yöntemine olan yakınlığını araştırmıştır. Anılan çalışmada iki yöntemin sonuçları arasındaki maksimum fark %7 olarak bulunmuş ve sunulan yöntemin sonlu elemanlarla elde edilen sonuçlara oldukça yakın değerler verdiği tespit edilmiştir. Zalka çalışmasında dinamik analizde eksenel şekil değiştirmelerin katkısını göz önüne alabilmek amacıyla Föppl-Papkovitch teoremini dikkate alan yaklaşık bir bağlantı önermiştir [5]. Ayrıca yazar sürekli sistem hesap modelinin ayrıntı sistem hesap modeline göre kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca yayılı olmasından doğan hata miktarını düzeltmek amacıyla çok sayıda örnek üzerinde yaptığı çalışmalardan bir düzeltme katsayısı tanımlamıştır. Söz konusu çalışmada dinamik haldeki iç kuvvetlerin bulunmasına yönelik herhangi bir bağlantı önerilmemiştir.

Hoenderkamp çok katlı asimetrik yapıların sürekli sistem hesap modeline göre statik analizi için bir dizi pratik bağlantı önermiştir [6]. Hoenderkamp çalışmasında [6] yatay yükler altında dengeyi ifade eden diferansiyel denklem takımını eğilme rijitliği merkezinde yazarak çözüme ulaşılmıştır.

Aksoğan, Arslan ve Choo çok sıra boşluklu perdelerin zorlanmış titreşimi için sürekli bağlantı yöntemini esas alan bir çalışma [7] yapmışlardır.

Potzta ve Kollar çok katlı yapıların periyot ve modlarının tayini için sürekli sistem hesap modelini esas alan ve şekil değiştirmeye ait diferansiyel denklemleri sayısal analiz ile çözen bir yöntem sunmuşlardır [8]. Çalışmada perde-çerçeve sistemin yatay yükler altındaki davranışının Timoshenko kirişi veya eğilme kirişi olarak idealize edilemeyeceği vurgulanarak davranışın bu iki davranışı içeren bir sandviç kirişle idealize edilebileceği ifade edilmiş ve sonuca eşdeğer sandviç kirişin genel hareket denkleminin çözümü ile ulaşılmıştır. Çalışmada ayrıca değişik tipteki kafes elemanlara ait eşdeğer kayma rijitliği bağlantılarına da yer verilmiştir [8].

Miranda ve Taghavi yapı özelliklerinin yapı yüksekliği boyunca değişmesi durumunda kat öteleme, etkin kütle oranları ve periyot gibi dinamik karakteristiklerin yapı özelliklerinin düzgün değişmesi durumundaki değerlere bağlı olarak belirlenmesi için bir dizi bağlantılar elde etmişlerdir [9]. Yazarlar çalışmalarının doğruluğunu göstermek üzere farklı deprem kayıtlarını dikkate alarak sonlu elemanlar deplasman yöntemiyle zaman tanım alanında analiz yapmışlar ve elde edilen sonuçları çalışmada önerdikleri yöntem ile karşılaştırmışlardır. Eksenel şekil değiştirmelerin etkisini dikkate almayan Miranda ve Taghavi, çalışmalarında [9] çok katlı olmayan yapılar için elde ettikleri sonuçları sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırdıklarında yeter yakınlıkta çözümler elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmalara genel olarak bakıldığında çok katlı perde-çerçeve taşıyıcı sistemlerin, konsol kiriş kabulü ile diferansiyel denkleminin oluşturulduğu ve sistemin çözümü ile iç kuvvet değerlerinin elde edildiği görülmüştür. Ancak yapılan kabuller gereği bazı sınırlandırmalar yapılarak yöntem yapı yüksekliği boyunca özellikleri değişmeyen yapılar için uygulanabilmiştir. Bu çalışmada ise çok katlı burulmasız yapıların statik ve dinamik analizi için taşıma matrisi yöntemini esas alan bir yaklaşım sunulmuştur. Sunulan yaklaşım yapı yüksekliği boyunca yapı özellikleri değişen yapılara da uygulanabilmektedir. Yaklaşımın geliştirilmesinde;

- a) Malzemenin doğrusal elastik olduğu,
- b) Kat döşemelerinin düzlemleri içinde sonsuz rijit olduğu, buna karşılık düzlemlerine dik doğrultudaki rijitliklerinin ihmal edilebileceği,
- c) Perdelere klasik kiriş teorisinin uygulanabildiği,

d) Yapının burulmasız olduğu kabulleri yapılmıştır.

## 2. YÖNTEM

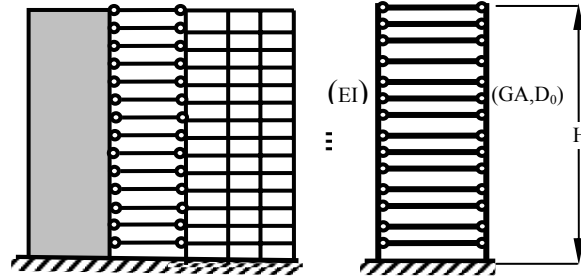
Çalışmada öncelikle perde-çerçeve sisteme ait kat taşıma matrisleri elde edilmiş daha sonra statik ve dinamik analize ilişkin işlem aşamaları sunulmuştur.

### 2.1. Periyot ve Modların Hesabı

Taşıyıcı sistemi çerçevelerden, perdelerden ve boşluklu perdelerden oluşan yapılar ne tam bir eğilme kirişi ne de bir Timoshenko kirişi davranışı gösterirler. Bu durumda davranış bu iki davranışı kapsayan eşdeğer bir sandviç kiriş davranışı olarak idealize edilebilir [8]. Şekil 1'de eşdeğer sandviç kiriş olarak modellenmiş kirişin yatay doğrultudaki değeri aşağıdaki diferansiyel denklemleri ile ifade edilmiştir.

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} - GA \frac{\partial^2 y}{\partial z^2} + GA \frac{\partial \varphi}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$-GA \frac{\partial y}{\partial z} - D \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + GA \varphi = 0 \quad (2)$$



Şekil 1. Çok katlı perde – çerçeve sistemin eşdeğer sandviç kiriş olarak modellenmesi

Yukarıdaki bağıntılarda  $y$ , toplam şekil değiştirme fonksiyonunu,  $\varphi$ , çerçevelerde eğilme etkisiyle oluşan dönme açısını,  $EI$  ise perde ve kolonların eğilme rijitlikleri ifade etmektedir. Eksenel deformasyon rijitliğini gösteren  $D_0$  değeri de aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$D_0 = \sum EAd^2 \quad (3)$$

Bu bağıntıda  $EA$  uzama rijitliğini,  $d$  ise  $i$ . kolunun ağırlık merkezine olan mesafesini göstermektedir.  $i$  kata ait kayma rijitliğini gösteren  $GA$  ise çerçevelerde moment sıfır noktalarının kolon ve kirişlerin ortasında olduğu kabulüyle;

$$(GA)_{\text{çer}} = \frac{12}{h \left( \frac{I}{r} + \frac{I}{s} \right)} \quad (4)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır [3,10]. Bu bağıntıda ;  
s: Bir katta bulunan tüm kolon rijitlikleri toplamını,

## Static and Dynamic Analysis of Multistorey ...

r: Bir katta bulunan tüm kiriş rijitlikleri toplamını,  
h: Kat yüksekliğini,

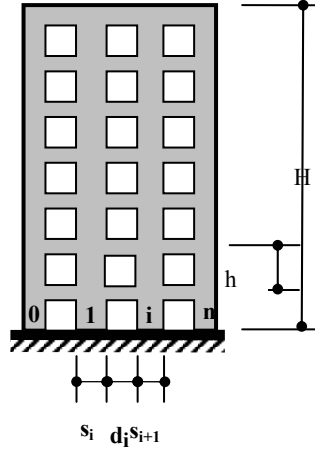
$\frac{I_r}{e}$  ve  $\frac{I_s}{h}$  sırasıyla kiriş ve kolon redörlerini göstermek üzere,

$$r = \sum_{i=1}^p \frac{EI_r}{e} \quad \text{ve} \quad s = \sum_{i=1}^n \frac{EI_s}{h} \quad (5)$$

bağıntıları ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda p ve n sırasıyla bir katta bulunan toplam kiriş ve kolon sayısını göstermektedir. Boşluklu perdelerde ise kayma rijitliği ifadesi

$$GA = \frac{6EI_{bi}[(d_i + s_i)^2 + (d_i + s_{i+1})^2]}{d_i^3 h \left(1 + \frac{12\nu EI_{bi}}{Gd_i^2 A_{bi}}\right)} \quad (6)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır [8]. Şekil 2' de görülen boşluklu perde örneğinden görüldüğü üzere,  $d_i$  boşluklu perdenin i. boşluk açıklığını,  $s_i$  ise boşluğun iki kenarı arasında kalan perde eksenleri arasındaki mesafeyi,  $EI_{bi}$  ve  $GA_{bi}$ , sırasıyla bağ kirişinin eğilme ve kayma rijitliklerini,  $\nu$  ise poisson oranını göstermektedir.



Şekil 2. Boşluklu perde

(1) ve (2) numaralı diferansiyel denklemlerin ortak çözümünden toplam şekil değiştirme fonksiyonu (7) eğilmeden kaynaklanan dönme fonksiyonu ise (8) bağıntısı ile hesaplanabilir.

$$y(z) = c_1 + c_2 z + c_3 z^2 + c_4 z^3 + c_5 \cosh(az) + c_6 \sinh(az) \quad (7)$$

$$\varphi(z) = c_2 + 2c_3 z + (3z^2 + 6b)c_4 + \left(-\frac{EI}{GA}a^2 + a\right)c_5 \sinh(az) + \left(-\frac{EI}{GA}a^2 + a\right)c_6 \cosh(az) \quad (8)$$

Bu bağıntılarda;

$$a = \sqrt{\left(1 + \frac{D_0}{EI}\right) \frac{GA}{D_0}} \quad (9)$$

şeklinde tanımlanır. Sırasıyla toplam dönme fonksiyonu, perde eğilme momenti, çerçeve eğilme momenti ve kesme kuvveti fonksiyonu ifadeleri ise aşağıdaki bağıntılarla bulunur.

$$y'(z) = c_2 + 2c_3z + 3c_4z^2 + c_5a \sinh(az) + c_6a \cosh(az) \quad (10)$$

$$M_p(z) = EIy'' = EI(2c_3 + 6c_4z + c_5a^2 \cosh(az) + c_6a^2 \sinh(az)) \quad (11)$$

$$M_\zeta(z) = -D_0\varphi' = -D_0(2c_3 + 6c_4z + c_5fa \cosh(az) + c_6fa \sinh(az)) \quad (12)$$

$$V(z) = EI \frac{d^3y}{dz^3} - GA \frac{dy}{dz} + GA \varphi \quad (13)$$

$$= c_4(6EI + 6GAb) + c_5 \sinh(az)(GA(f-a) + EIa^3) + c_6 \cosh(az)(GA(f-a) + EI)$$

Yukarıdaki bağıntılarda;

$$f = \frac{-EI}{GA}a^3 + a \quad (14)$$

$$b = \frac{D_0}{GA} \quad (15)$$

şeklinde tanımlanabilir. (7), (10), (8), (11), (12) ve (13) bağıntıları matris formunda yazılırsa ;

$$\begin{bmatrix} y(z) \\ y'(z) \\ \varphi(z) \\ M_p(z) \\ M_\zeta(z) \\ V(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z & z^2 & z^3 & \cosh(az) & \sinh(az) \\ 0 & 1 & 2z & 3z^2 & a \sinh(az) & a \cosh(az) \\ 0 & 1 & 2z & (3z^2 + 6b) & f \sinh(az) & f \cosh(az) \\ 0 & 0 & 2EI & 6EIz & EIa^2 \cosh(az) & EIa^2 \sinh(az) \\ 0 & 0 & -2D_0 & -6D_0z & -D_0fa \cosh(az) & -D_0fa \sinh(az) \\ 0 & 0 & 0 & (6EI + 6GAb) & \sinh(az)(GA(f-a) + EIa^3) & \cosh(az)(GA(f-a) + EIa^3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \end{bmatrix} \quad (16)$$

şeklinde matris denklem takımı elde edilebilir.

Kat başlangıcında  $z = 0$  için (16) nolu matris denklem takımı,

$$\begin{bmatrix} y(0) \\ y'(0) \\ \varphi(0) \\ M_p(0) \\ M_\zeta(0) \\ V(0) \end{bmatrix} = A(0) \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \end{bmatrix} \quad (17)$$

halini alır. (17) nolu bağıntıdan  $c_i$  katsayılar vektörü çekilerek (16) nolu bağıntıda yerine yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} y(z) \\ y'(z) \\ \varphi(z) \\ M_p(z) \\ M_\zeta(z) \\ V(z) \end{bmatrix} = A A^{-1}(0) \begin{bmatrix} y(0) \\ y'(0) \\ \varphi(0) \\ M_p(0) \\ M_\zeta(0) \\ V(0) \end{bmatrix} \quad (18)$$

elde edilir.

Burada  $\underline{T} = \underline{A}\underline{A}^{-1}(0)$  ifadesi  $z=h$  için kat taşıma matrisidir.

$\underline{T}$  kat taşıma matrisi  $\underline{A}$  ve  $\underline{A}(0)$  matrisleri kullanılarak yazılacak bir program yardımıyla doğrudan bulunabilir.

## 2.2. Yatay Yükler Etkisinde Statik Analiz

Çok katlı yapıların yatay yükler etkisindeki statik analizi (18) bağıntısı ile elde edilen kat taşıma matrisleri yardımıyla hesaplanabilir. Ardışık katlar arasındaki bağlantıyı sağlayan  $\underline{T}_i$  taşıma matrisi dikkate alındığında yer değiştirmeler ile uç kuvvetleri arasındaki ilişki,

$$\begin{bmatrix} y_{i+1} \\ y'_{i+1} \\ \varphi_{i+1} \\ M_{pi+1} \\ M_{2\zeta i+1} \\ V_{i+1} \end{bmatrix} = T_{-i} \begin{bmatrix} y_i \\ y'_i \\ \varphi_i \\ M_{pi} \\ M_{\zeta i} \\ V_i \end{bmatrix} + F_{-i} \quad (19)$$

şeklinde yazılabilir.  $i$ . kata ait yatay dış yük vektörü  $\underline{F}_i$  ise,

$$\underline{F}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -f_i \end{bmatrix} \quad (20)$$

olarak tanımlanabilir. (19) numaralı bağıntı her bir kat için ayrı ayrı yazılarak ardışık olarak uygulanırsa, yapı tabanı ile tepesi arasındaki yapısal ilişkiyi belirleyen aşağıdaki bağıntı elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} y_{tepe} \\ y'_{tepe} \\ \varphi_{tepe} \\ M_{ptepe} \\ M_{\zeta tepe} \\ V_{tepe} \end{bmatrix} = \left[ \prod_{k=n}^1 T_k \right] \begin{bmatrix} y_{taban} \\ y'_{taban} \\ \varphi_{taban} \\ M_{ptaban} \\ M_{\zeta eaban} \\ V_{taban} \end{bmatrix} + \sum_{s=1}^{n-1} \left[ \prod_{k=n}^{s+1} T_k \right] F_{-s} + F_{-n} \quad (21)$$

Burada;

$$T = \prod_{k=n}^1 T_k \quad \text{ve} \quad P = \sum_{s=1}^{n-1} \left[ \prod_{k=n}^{s+1} T_k \right] F_{-s} + F_{-n} \quad (22)$$

eşitlikleri ile ifade edilirse aşağıdaki bağıntı elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} y_{taban} \\ y'_{taban} \\ \varphi_{taban} \\ M_{ptaban} \\ M_{\zeta taban} \\ V_{taban} \end{bmatrix} + P = \begin{bmatrix} y_{tepe} \\ y'_{tepe} \\ \varphi_{tepe} \\ M_{ptepe} \\ M_{\zeta eepe} \\ V_{tepe} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Bu bağıntıda, tabandaki yatay yer değiştirme ve dönmenin, tepe noktasında ise eğilme momenti ve kesme kuvvetinin sıfır olduğu sınır koşulları dikkate alınırsa (23) numaralı matris denklem takımı aşağıdaki şekle indirgenebilir:

$$\begin{bmatrix} t_{44} & t_{45} & t_{46} \\ t_{54} & t_{55} & t_{56} \\ t_{64} & t_{65} & t_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{ptaban} \\ M_{\zeta taban} \\ V_{taban} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P(4) \\ -P(5) \\ -P(6) \end{bmatrix} \quad (24)$$

Bu bağıntıdan hesaplanan tabandaki perde momenti  $M_{ptaban}$ , tabanda çerçevelere gelen moment  $M_{\zeta taban}$  ve tabandaki kesme kuvveti  $V_{taban}$  değerleri (19) ifadesinde yerlerine yazılırsa her bir kat hizasındaki ( $y_i$ ,  $y'_i$ ,  $\varphi_i$ ,  $M_{pi}$ ,  $M_{\zeta i}$ ,  $V_i$ ) bilinmeyenleri elde edilebilir.

### 2.3. Serbest Titreşim Analiz

(18) bağıntısı ile elde edilen kat taşıma matrisleri çok katlı yapıların dinamik analizi için kullanılabilir. Bunun için düğüm noktaları hizalarından etki eden atalet kuvvetleri dikkate alındığında,  $i$ . ile  $i+1$ . katlar arasındaki ilişki aşağıdaki matris eşitliği ile ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} y_{i+1} \\ y'_{i+1} \\ \varphi_{i+1} \\ M_{pi+1} \\ M_{\zeta i+1} \\ V_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ m_i \omega^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T_{-i} \begin{bmatrix} y_i \\ y'_i \\ \varphi_i \\ M_{pi} \\ M_{\zeta i} \\ V_i \end{bmatrix} \quad (25)$$

Burada,  $m_i$   $i$ . katın kütleini,  $\omega$  yapı açısıl frekansını göstermektedir.  $T_{di}$  dinamik matrisi

$$T_{di} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ m_i \omega^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T_{-i} \quad (26)$$

çarpımı ile gösterilirse, yapının tepe noktasıyla tabanı arasındaki yer değiştirme ve iç kuvvet ilişkisi

$$\begin{bmatrix} y_{tepe} \\ y^l_{tepe} \\ \varphi_{tepe} \\ M_{P_{tepe}} \\ M_{\dot{c}tepe} \\ V_{tepe} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T & & & & & \\ & T & & & & \\ & & \dots\dots T & & & \\ -dn & -d(n-1) & & & & -d1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{taban} \\ y^l_{taban} \\ \varphi_{taban} \\ M_{P_{taban}} \\ M_{\dot{c}taban} \\ V_{taban} \end{bmatrix} \quad (27)$$

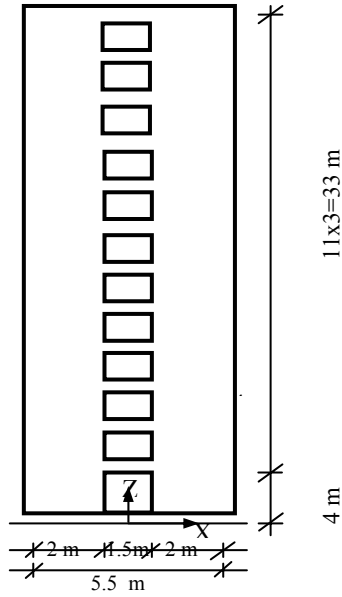
eşitliği ile elde edilir. Bu denklemden, tabandaki yatay yer değiştirme ve dönmenin, tepe noktasında da eğilme momenti ve kesme kuvvetinin sıfır olduğu sınır koşulları dikkate alındığında, denklemin aşikâr çözümünün olabilmesi için  $t_d = T_{dn} T_{-d(n-1)} \dots\dots T_{d1}$  olmak üzere,

$$f = \begin{bmatrix} t_{44} & t_{45} & t_{46} \\ t_{54} & t_{55} & t_{56} \\ t_{64} & t_{65} & t_{66} \end{bmatrix} \quad (28)$$

matrisinin determinantının sıfır olması gerekir. Determinantı sıfır yapan  $\omega$  değerleri yapının açılal frekanslarını vermektedir [11].

#### 4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde çalışmada önerilen taşıma matrisi yönteminin matris deplasman yöntemine uygunluğunu göstermek amacıyla üç adet örnek sunulmuştur. Örneklerin bu çalışmada sunulan yöntem ile çözümünde Matlab hazır paket programından [12] yararlanılmıştır.



Şekil 3. Örnek 1 e ait kesit

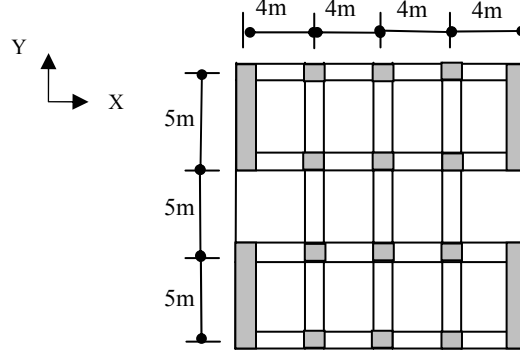
**Örnek 1.** Şekil 3. de görülen 12 katlı boşluklu perde taşıyıcı sistem bu çalışmada önerilen yaklaşım ve Özmen ve diğerleri [13] tarafından Sonlu Elemanlar Deplasman Yöntemi ile analiz yapan Sap2000 paket programı çözülmüştür. İlk 5 moda ait periyot değerleri Çizelge 1. de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Sistemde perde ve bağ kirişlerinin kalınlıkları 25 cm ve yükseklikleri 60 cm dir. Kat ağırlıkları, normal katlarda 350 kN çatı katında ise 250 kN olarak alınmıştır.

Çizelge 1. Örnek 1 e ait Periyotlar

Mod No	Bu çalışma (s)	Özmen ve diğ., (2004)(s)
1.	0.94	0.96
2.	0.20	0.21
3.	0.09	0.09
4.	0.05	0.06
5.	0.04	0.04



**Örnek 2.** Şekil 4’ te planı verilen 6 katlı yapıda tüm kolonlar 0.30 x 0.60 m, kirişler 0.25 x 0.50 m ve perdeler 0.30 x 5 m olarak alınmıştır. Ölü yük ve azaltılmamış hareketli yük ise sırasıyla  $g = 5 \text{ kN/m}^2$  ve  $q = 2 \text{ kN / m}^2$  olarak verilmiştir. Seçilen örnek yapı kat hizalarına etkiyen yatay yükler altında hem bu çalışmada sunulan taşıma matrisi yöntemine göre hem de Sap 2000 hazır paket programı [14] kullanılarak çözülmüş ve tepe noktası yer değiştirmesi ile tabandaki moment ve kesme kuvveti değerleri Çizelge 2’de karşılaştırılmıştır. Katlara kütle merkezinde etkiyen yükler sırasıyla 1. katta 60.53 kN ,2. katta 105.9 kN,3. katta 151.33 kN, 4.katta 196.72 kN, 5.katta 242.11 kN ve 6.katta 287.51 kN olarak verilmiştir.



Şekil 4.Perde-çerçeve taşıyıcı sisteme ait plan

Çizelge 2. Örnek 2’ye ait tepe noktası deplasmanı, moment ve kesme kuvveti değerleri

	SAP 2000	Taşıma Matrisi Yöntemi
Tepe nok . yer değiştirmesi	0.36 cm	0.34 cm
Perde taban momenti	12740.7 kNm	12860 kNm
Perde taban kesme kuvveti	1009.8 KN	1006.4 kN

**Örnek 3.** Referanstan [15] alınan ve Şekil 5’ te planı görülen çok katlı yapıda kat adedi 28, kat yükseklikleri 2.97 m, birim boya düşen ağırlık ise 280640 kg/m dir. Dolu perde elemanlarının her birinin eğilme rijitliği  $EI=8.85 \times 10^7 \text{ kNm}^2$ , boşluklu perdelerin her birinin eğilme rijitliği  $EI=1.77 \times 10^8 \text{ kNm}^2$  ve yine boşluklu perdelerde eksenel şekil değiştirmelerinden oluşan eğilme rijitliği  $D_0 = 1.37 \times 10^9 \text{ kNm}^2$ , boşluklu perdeleri birleştiren bağ kirişlerinin kesit alanları ve atalet momentleri ise sırasıyla  $A_b=1.4640 \text{ m}^2$ ,  $I_b=5.97 \times 10^{-4} \text{ m}^4$  olarak verilmiştir [15]. Taşıyıcı sistemin z eksenini doğrultusundaki açısal frekansı ve taban kesme kuvveti Eurocode 8 de yer alan spektrum dikkate alınarak çalışmada açıklanan yaklaşım ile bulunmuş ve Literatürde sürekli sistem hesap modeli ve Etabs kullanılarak elde edilmiş sonuçlarla Çizelge 4 de karşılaştırılmıştır.

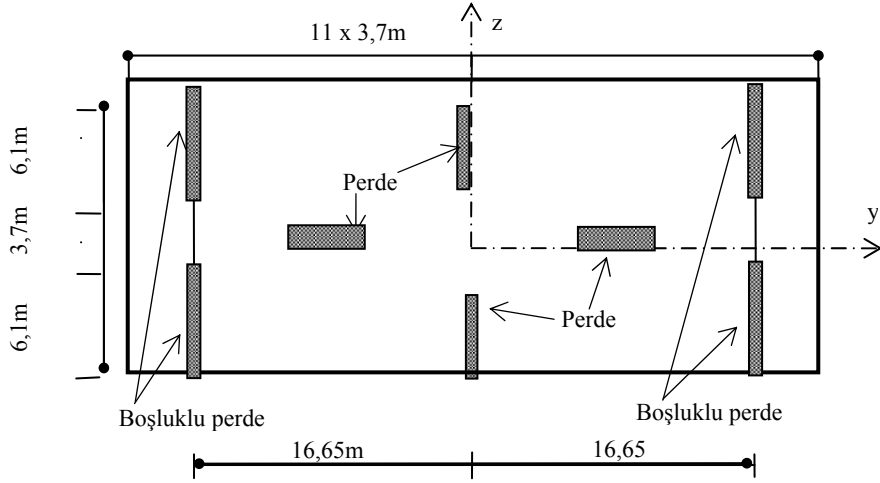
Yöntemin uygulanmasında gerekli olan parametrelerin hesabı aşağıda sunulmuştur;

$H=83.2 \text{ m}$ ,  $h=2.97 \text{ m}$ ,  $\nu=0.2$  olarak verilmiştir.

$GA$ , kayma rijitliği ifadesi (6) nolu bağıntıdan, her iki boşluklu perde için eşit değerlerde olan,  $d_i=3.7 \text{ m}$ ,  $s_i=s_{i+1}= 6.1 \text{ m}$   $EI_b= 2.3 \times 10^7 \times 5.79 \times 10^{-4} = 13.317 \times 10^3 \text{ kNm}^2$ ,  $GA_b = 9.58 \times 10^6 \times 0.07 = 6.706 \times 10^5 \text{ kNm}^2$  yerlerine yazılırsa değerleri için  $GA=9.99 \times 10^4 \text{ kN}$  olarak hesaplanır.

Tüm yapı için z eksenini doğrultusundaki taşıyıcı sistemin toplam eğilme rijitliği  $EI$ , dolu ve boşluklu perdelerin eğilme rijitliklerinin toplamından,  $EI=(8.85 \times 10^7$

$+1.77 \times 10^8) \times 2 \text{ adet} = 5.31 \times 10^8 \text{ kNm}^2$ , toplam eksenel rijitlik ifadesi,  $D_0 = 2 \text{ adet} \times 1.37 \times 10^9 = 2.74 \times 10^9 \text{ kNm}^2$  ve 2 adet boşluklu perde için toplam eşdeğer kayma rijitliği;  $GA = 2 \times 9.99 \times 10^4 = 19.98 \times 10^4 \text{ kN}$  olarak bulunur.



Şekil 5. Örnek 3 e ait plan

Çizelge 3. Örnek 3 e ait sonuçların karşılaştırılması

	Bu çalışma	Literatür (Tarjan ve Kollar, 2004)	Etabs (Tarjan ve Kollar, 2004)
1. Doğal titreşim Periyodu (s)	7.044	7.197	6.888
Taban Kesme Kuvveti (k N)	1440.41	1310.30	1481.45

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada taşıyıcı sistemi perde-çerçevelerden oluşan çok katlı yapıların statik ve dinamik analizi için taşıma matrisi yöntemini esas alan bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada önerilen yöntem kolaylıkla programlanabilmekte ve kısa zamanda yeter doğrulukta sonuca ulaşılabilmektedir. Yapılan örneklerin sonuçlarının karşılaştırılmasından yöntemin özellikle ön boyutlandırma aşamasında güvenle kullanılabilmesine inanılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada önerilen yöntem burulmalı yapılar için de geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Rosman, R., "Yatay Yükler Etkisindeki Boşluklu Perdelerde İç Kuvvetlerin Hesabı İçin Çizelgeler (çeviri)", İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayını no:7, İstanbul, 1974.
- [2] Sigalov, E., Mourashev, S., Baikov, V., "Design of Reinforced Concrete Structures", Mir Publishers, Moscow, 1976.

- [3] Bilyap, S., “ Betonarme Yüksek Yapılarda Perde-Çerçeve Sistemlerinin Yatay yüklere Göre Hesabı”, E.Ü. İnşaat Fakültesi yayımları, NO: 2,1979.
- [4] Li G.Q.,Choo B.S.,”A Continuous-discrete Approach to the Free Vibration Analysis of Stiffened Pierced Walls on Flexible Foundations”, International Journal of Solids and Structures,33(2): 249-263, 1996.
- [5] Zalka, K.A., “A Simplified Method for Calculation of the Natural Frequencies of Wall-Frame Buildings”, Engineering Structures, 23: 1544-1555,2001.
- [6] Hoenderkamp J.C.D. ”A Simplified Analysis of High-Rise Structures with Cores”, The Structural Design of Tall Buildings, 11: 93–107, 2002.
- [7] Aksoğan, O.,Arslan,H,M,Choo,B,S,2003,”Forced Vibration Analysis of Stiffened Coupled Shear Walls Using Continuous Connection Method”,Engineering Structures,25, pp499-506.
- [8] Potzsta,G.,Kollar,L, “Analysis of Building Structures by Replacement Sandwich Beams”, International Journal of Solids and Structures, 40:532-553, 2003.
- [9] Miranda, E., Taghavi, S., “Approximate Floor Acceleration Demands in Multistorey Buildings”, ASCE, Journal of Structural Division, 131: No:2,2005.
- [10] Atımtay, E, “Çerçevesel ve Perdeli Betonarme Sistemlerin Tasarımı”, Cilt II, METU Press, 746s, 2000.
- [11] İnan, M, “Elastomekanikte Başlangıç Değerleri Metodu”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 131 s, 1964.
- [12] Matlab V7.1, “Users Manual”, Mathworks Inc. , USA, 2004.
- [13] Özmen,G., Orakdöğen, E.,Darılmaz,K., “Örneklerle Sap 2000-V7”, Birsen Yayınları, 293s, 2004.
- [14] SAP2000 6.10, “ Computers and Structures”, Inc. Berkeley, California, USA, 2000.
- [15] Tarjan G., Kollar P. L., “Approximate Analysis of Building Structures with Identical Stories Subjected to Earthquakes”, International Journal of Solids and Structures, 2004.