

A PRATICAL METHOD FOR DYNAMIC ANALYSIS OF MULTISTOREY BUILDINGS ACCORDING TO CONTINUUM APPROXIMATION MODEL

Kanat Burak BOZDOĞAN^{*}, Duygu ÖZTÜRK, Ayhan NUHOĞLU

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İZMİR

Geliş/Received: 27.05.2005 Kabul/Accepted: 03.10.2005

ABSTRACT

An approximate method, which is based on continuum approximation model, is presented for the dynamic analysis of the structures of which structural properties are uniform up to the height. In the method, which can be used for the structures having bearing system consist of shear walls, coupled shear walls and/or frames, axial deformation effect is considered in the calculations as well as bending and shear deformation. In the study, time consuming and complicated equations, used for the determination of the dynamic characteristics of multistory buildings according to the continuum calculation method, are converted to the practical tables. Thus, it is provided to obtain the results by simple steps in short time, when the procedures, which present the dynamic behavior more realistic, are achieved by hand. Dynamic analysis is made according to the Mode Superposition Method by considering first three modes. The unknown properties of the investigated structure like the period, effective participating mass, overturning moment and maximum story displacement can be easily found by using the presented tables. At the end of the paper, some numerical applications are presented in order to investigate the convergence of the method to Finite Element Method. When the results are generally evaluated, it is seen that the presented method gives adequate results in comparison with the Finite Element Displacement Method.

Keywords: Continuum system, Period, Effective participating mass ratio.

ÇOK KATLI YAPILARIN SÜREKLİ SİSTEM HESAP MODELİNE GÖRE DİNAMİK ANALİZİ İÇİN PRATİK BİR YÖNTEM

ÖZET

Taşıyıcı sistem özellikleri yüksekliği boyunca değişmeyen yapıların dinamik analizi için sürekli sistem hesap modelini esas alan yaklaşık bir yöntem sunulmuştur. Dolu perde, boşluklu perde ve/veya çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılar için kullanılabilen yöntemde, eğilme ve kayma şekil değiştirmeleri ile birlikte eksenel deformasyonlardan dolayı oluşabilecek tesirler de hesaplara adapte edilmiştir. Çalışmada çok katlı yapıların dinamik karakteristiklerinin sürekli sistem hesap modeline göre belirlenebilmesi için kullanılan zaman alıcı ve karmaşık bağıntılar pratik olarak kullanılabilen Çizelgeler haline dönüştürülmüştür. Böylece yapının dinamik davranışını daha gerçekçi temsil edebilen işlemlerin el ile yapılması durumunda kısa zamanda ve sade işlemlerle sonuca ulaşılması sağlanmıştır. Dinamik analiz ilk üç mod dikkate alınarak mod birleştirme yöntemi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan Çizelgeler kullanılarak incelenen yapıya ait periyot, etkin kütle, devrilme momenti ve tepe noktası yerdeğiştirmesi gibi bilinmeyenler kolaylıkla bulunabilmektedir. Çalışmanın sonunda yöntemin matris deplasman yöntemi ile uyumluluğunu göstermek amacıyla çeşitli örnek taşıyıcı sistemler üzerinde sayısal uygulamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, sunulan prosedür ile Sonlu Elemanlar Metodu arasında yeterli düzeyde uyumun mevcut olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Sürekli sistem, Periyot, Etkin kütle oranı.

^{*} Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-posta: alakanat2005@yahoo.com, tel: (0232) 388 60 26

1. GİRİŞ

Yapıların statik ve dinamik analizi için kullanılan yöntemlerden birisi de sürekli sistem hesap modelini esas alan yaklaşımdır. Bu hesap tarzı yapı özellikleri yapı yüksekliği boyunca değişmeyen yapılar için oldukça pratik bir şekilde uygulanabilmektedir. Literatürde ilk kez 1960'lı yılların başlarında kullanılmaya başlanan yönteme ilişkin yayınlara bakıldığında çeşitli farklılıkları içeren bir çok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Rosman 1974 'de yatay yük etkisi altındaki boşluklu perdelerin çizelgeler yardımıyla statik hesabı için, daha sonraları "Sürekli Bağlantı Yöntemi" adıyla anılacak bir yaklaşım önermiştir [1]. Sigalov ve arkadaşları (1976) bu hesap yöntemini oldukça geniş bir şekilde ele alarak genel perde çerçeve sistemlerin statik ve dinamik analizi için çeşitli bağıntılar sunmuşlardır [2]. Bilyap (1979) yayınladığı kitap ile bu prosedürü "Diferansiyel Denklem Yöntemi" adıyla tanıtmış ve geliştirmiştir [3]. Bu çalışmalarda özellikle çok katlı taşıyıcı sistemlerde önem kazanan eksenel deformasyonun etkisi yeterli hassasiyette dikkate alınmamıştır.

Bu konuda son yıllarda yapılan çalışmalara bakıldığında, Zalka (2001) perde-çerçeve sistemlerin doğal açısal frekanslarının tayini için sürekli sistem hesap modeline dayanan basit bir yöntem önermiş ve sayısal örnekler üzerinde sonlu elemanlar yöntemine olan yakınsaklığını araştırmıştır [4]. Anılan çalışmada iki yöntemin sonuçları arasındaki maksimum fark %7 olarak bulunmuş ve sunulan yöntemin sonlu elemanlarla elde edilen sonuçlara kıyasla oldukça yakın değerler verdiği tespit edilmiştir. Zalka çalışmasında dinamik analizde eksenel deformasyonların katkısını göz önüne alabilmek amacıyla Föppl-Papkovitch teoremini dikkate alan yaklaşık bir bağıntı önermiştir. 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 elde etmiş olduğu bir düzeltme katsayısı tanımlamıştır. Söz konusu çalışmada dinamik haldeki iç kuvvetlerin bulunmasına yönelik herhangi bir bağıntı önerilmemiştir.

Potzsta ve Kollar (2003) 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 [5]. 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 türdeki kafes elemanlara ait eşdeğer kayma rijitliği bağıntılarına da yer verilmiştir.

Miranda ve Taghavi (2005) yapı özelliklerinin yapı yüksekliği boyunca değişmesi durumundaki kat öteleme, etkin kütle oranları ve periyot gibi dinamik karakteristiklerin yapı özelliklerinin düzenli olması durumundaki değerlere bağlı olarak belirlenmesi için bir dizi bağıntılar elde etmişlerdir [6]. 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 deformasyonların katkısını dikkate almayan Miranda ve Taghavi, çalışmalarında çok katlı olmayan perde-çerçeve yapılar için elde ettikleri sonuçları sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırdıklarında yeter yakınsaklıkta çözümler elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

Yukarıda özetlenen çalışmaların genelinde oldukça karmaşık olan bir çok bağıntıların kullanılmasıyla sonuca ulaşılmaktadır. Dinamik analiz için birbirine bağlı bir çok sayısal işlemin yapılması zorunluluğu çözümü oldukça karmaşık ve zaman alıcı bir hale getirmektedir. Bu çalışmada, çok katlı taşıyıcı sisteme sahip düzenli yapıların sürekli sistem hesap modeline göre dinamik analizi için eşdeğer sandviç kiriş kabulü ile eksenel şekildeğiştirmelerin de dikkate alındığı işlem prosedürü sunulmuştur. Çözüme ait dinamik büyüklüklerin kolaylıkla elde edilebilmesi için, prosedürde yer alan bir çok karmaşık bağıntı çizelgeler haline dönüştürülmüştür. İncelenen farklı sayısal uygulamalarda, ilk üç mod için yapıya ait periyot, mod katkı oranı, etkin kütle oranı, taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve tepe noktası

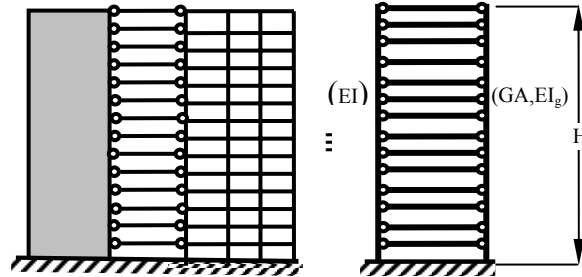
yerdeğiştirmesi gibi dinamik özelliklerin Çizelgeler kullanılarak kısa sürede ve kolaylıkla elde edilebileceği gösterilmiştir.

2. YÖNTEM

Çok katlı burulmasız yapıların sürekli sistem hesap modeli esas alınarak mod birleştirme yöntemine göre dinamik analizine ait işlem prosedürü aşağıda sunulmuştur. Teorik analizlerde malzemenin lineer elastik olduğu, kat döşemelerinin kendi düzlemleri içinde sonsuz rijit olduğu, perdelerde klasik kiriş teorisinin uygulanabileceği, kiriş, kolon, perde boyutları ile kat yüksekliğinin yapı boyunca düzgün dağılı olduğu, yapının burulmasız ve düşey taşıyıcı elemanların ortogonal oldukları kabulleri yapılmıştır. Dinamik karakteristiklerin belirlenmesi amacıyla kullanılan katsayıların elde edilmesinde Matlab hazır paket programından yararlanılmıştır.

2.1. Periyot ve Modların Hesabı

Sürekli sistem hesap modelinde çok katlı yapı eşdeğer bir konsol kiriş davranışı ile temsil edilmektedir. Buna göre perde çerçeve taşıyıcı sistem Şekil 1. de görüldüğu gibi eşdeğer bir sandviç kiriş olarak ele idealize edilebilmektedir [5]. Eşdeğer sandviç kirişin solunda yer alan EI düşey elemanların eğilme rijitliklerini, sağında yer alan GA çerçeve ve/veya boşluklu perdelerin kayma rijitliklerini, EI_g ise yine çerçeve ve/veya boşluklu perdelerin aksel deformasyonlardan kaynaklanan eğilme rijitliklerini göstermektedir.



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

Hem eğilme hem de kayma davranışı gösteren perde çerçeve sistemlere ait genel hareket denklemi,

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

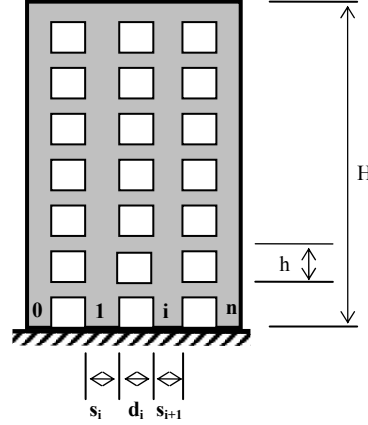
olarak yazılabilir [3,4]. Bu ifadede, EI dolu perdelerin toplam eğilme rijitliğini, GA boşluklu perdelerin ve/veya çerçevelerin toplam eşdeğer kayma rijitliğini, m kat kütlesini, h kat yüksekliğini göstermektedir. Katlara ait eşdeğer kayma rijitlikleri çerçeve elemanlar için,

$$GA = \frac{12}{h \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right)}, \quad s = \sum_{i=1}^n \frac{EI_s}{h}, \quad r = \sum_{i=1}^m \frac{EI_r}{L} \quad (2)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır [3]. Burada s ve r sırasıyla kolonların ve kirişlerin toplam redörlerini, n, m, h ve L yine sırasıyla kattaki toplam kolon, kiriş sayısını, kolon yüksekliğini ve kiriş ağırlığını temsil etmektedir. Boşluklu perde durumunda ise eşdeğer kayma rijitliği ifadesi i adet boşluk için,

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

toplam eşitliği ile bulunabilmektedir [5]. Burada, d_i boşluklu perdenin i . boşluk açıklığını, s_i ve s_{i+1} , d_i 'nci boşluğa komşu olan dolu elemanların genişliğini temsil etmektedir (Şekil 2.). EI_{bi} ve GA_{bi} , sırasıyla perdeleri yatayda birbirine bağlayan bağ kirişlerinin eğilme ve kayma rijitlikleri, p ise Poisson oranıdır.



Şekil 2. Boşluklu perdenin tanımlanması.

Yüksek ve dar yapılarda etkin olan aksel deformasyonların katkısı ise “Föppl - Papkovich” teoremine göre etkili rijitlik olarak adlandırılan $(GA)_{ef}$,

$$(GA)_{ef} = f(GA) \quad (4)$$

ifadesi ile tanımlanmıştır [4]. Bu bağıntıda $(GA)_{ef}$ kattaki efektif kayma rijitlini, f ise hesap yapılan kattaki aksel deformasyonun etkisini gösteren bir katsayı olup,

$$f = \frac{f_{\text{eksenel}}^2}{f_{\text{eksenel}}^2 + f_{\text{kayma}}^2} \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir. Burada f_{eksenel} ve f_{kayma} sırasıyla aksel ve kayma şekildeğştirmelerinden dolayı oluşan frekans değerleridir ve aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilirler.

$$f_{\text{eksenel}}^2 = \frac{0.313EI_g h}{H^4 m}, \quad f_{\text{kayma}}^2 = \frac{1}{(4H)^2} \frac{GAh}{m} \quad (6)$$

Bu ifadelerde, H yapı yüksekliği, h kat yüksekliği, GA ve EI_g ise sırasıyla benzer olan her bir katın kayma rijitliği ve eğilme rijitliğini göstermektedir. Bu bağıntıdaki I_g değeri,

$$I_g = \sum_i^n A_{\text{kolon}} t_i^2 \quad (7)$$

ile elde edilebilmektedir. Bu ifadeye A_{kolon} kat düzlemindeki i . kolonun kesit alanını t_i ise i 'nci kolonun kattaki tüm kolonların ağırlık merkezine olan uzaklığını göstermektedir.

(1) nolu bağıntı ile tanımlanan 4. mertebeden homojen kısmi diferansiyel denklem, konumun (x) ve zamanın (t) fonksiyonları olarak değişkenlerine ayrılırsa (9) ve (10) nolu bağıntılarla tanımlanan biri konumun diğeri zamanın fonksiyonu olan adi diferansiyel denklemlere dönüşür.

$$Y = X(x) T(t) \quad (8)$$

$$X^{IV} - \frac{GA}{EI} X'' - \frac{m}{h} \omega^2 X = 0 \quad (9)$$

$$\ddot{T} + \omega^2 T = 0 \quad (10)$$

(9) nolu 4.mertebeden adi diferansiyel denklemin çözümü ile elde edilen şekil değiştirme fonksiyonunda sınır şartları dikkate alınarak sonuca gidilebilir. Bu bağıntılarda, ω açısal frekans, T zamanın fonksiyonu, \ddot{T} ise zaman fonksiyonunun zamana göre ikinci türevidir. Ankastre konsol bir çubuğun sınır koşulları olan tabanda yer değiştirme ve dönmenin, tepe noktasında ise kesme kuvveti ile momentin sıfır olması dikkate alındığında, perde-çerçeve sistemin n. moduna ait şekil değiştirme fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$X_n(x) = \cosh(\alpha_n x) - \cos(\beta_n x) + a_n \left[\sinh(\alpha_n x) - \frac{\alpha_n}{\beta_n} \sin(\beta_n x) \right] \quad (11)$$

Bu bağıntıda,

$$a_n = \frac{\alpha_n^2 \cosh(\alpha_n H) + \beta_n^2 \cos(\beta_n H)}{\alpha_n^2 \sinh(\alpha_n H) + \alpha_n \beta_n \sin(\beta_n H)} \quad (12)$$

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{\frac{GA}{EI} + \sqrt{\left(\frac{GA}{EI}\right)^2 + \frac{4m\omega^2}{hEI}}}{2}}, \quad \beta_n = \sqrt{\frac{\left(\frac{GA}{EI}\right)^2 + \frac{4m\omega^2}{hEI} - \frac{GA}{EI}}{2}} \quad (13)$$

dir. Sınır koşulları uygulandığında ortaya çıkan aşkın denklem,

$$\Delta = 2\lambda_1^2 \lambda_2^2 + (\lambda_1^4 + \lambda_2^4) \cosh \lambda_1 \cos \lambda_2 + \lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1^2 - \lambda_2^2) \sinh \lambda_1 \sin \lambda_2 = 0 \quad (14)$$

bağıntısı ile elde edilir. Burada, $\lambda_1 = \alpha_n H$ ve $\lambda_2 = \beta_n H$ çarpımları ile bulunurlar. (14) nolu aşkın denklem nümerik analizden bilinen herhangi bir yöntem ile çözülebilir. Bu çalışma kapsamında ise Matlab (2004) hazır paket programından yararlanılarak sonuca ulaşılmıştır [7]. Buna göre perde çerçeve sisteme ait i. periyotlar,

$$T_i = S_i H^2 \sqrt{\frac{m}{q EI h}} \quad (15)$$

bağıntısı ile elde edilebilirler. Bu ifadedeki q bir düzeltme katsayısıdır. Sürekli sistem hesap modeline göre yapılan çözümlemede kat kütlelerinin sistemde yayılı olarak bulunduğu kabulü yapılmaktadır. Oysa ki gerçek sistemlerde kat kütlelerinin büyük bir kısmı döşeme hizasında toplanmıştır. İşte bu hatayı düzeltmek için bir q düzeltme katsayısı bir katlı yapılar için q=0.243, iki katlı yapılar için q = 0.426, üç ve daha yüksek katlı yapılar için, n kat sayısını temsil etmek üzere,

$$q = \frac{n}{n + 2.06} \quad (16)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır [4].

(15) nolu bağıntıda i 'inci moda karşılık gelen S_i ($i=1,2,3$) değerleri çeşitli $k = H\sqrt{GA/EI}$ değerlerine bağlı olarak hesaplanmış ve Çizelge 1. de düzenlenmiştir. Çizelgede görülen S_i değerlerinde $k=0$ değeri yalnızca perdelerden oluşan yapıları temsil etmekte iken k değeri arttıkça yapı gittikçe yalnızca çerçevelerden oluşan taşıyıcı yapı sistemine dönüşmektedir.

2.2. Modal Analize Esas Dinamik Karakteristiklerin Tayini

Taşıyıcı sistemi perde çerçevelerden oluşan ve yapısal özellikleri (kat yüksekliği, kayma ve eğilme rijitlikleri) yapı yüksekliği boyunca sabit olarak kabul edilebilen yapılar için mod katkı çarpanları, etkin kütle oranları, devrilme momenti ve tepe noktası maksimum yer değiştirme ifadeleri, yapının davranışında önemli olan ilk üç mod için aşağıda sunulmuştur.

Mod katkı çarpanları: Mod katkı çarpanı ifadesi sürekli sistem dinamiğinden bilindiği üzere aşağıdaki bağıntıyla bulunabilmektedir [8].

$$\mu_i = \int_0^H X_n dx / \int_0^H X_n^2 dx \quad (17)$$

(11) nolu bağıntı ile tanımlanan şekil değiştirme fonksiyonu (17) nolu bağıntıda yerine yazılarak gerekli integraller alınmış, ilk üç moda ait μ katkı çarpanları $k = H\sqrt{GA/EI}$ değerlerine bağlı olarak hesaplanarak sonuçlar Çizelge 2. de gösterilmiştir. Burada da $k=0$ değeri yalnızca perdelerden oluşan yapıların davranışını temsil ederken k değerleri büyüdükçe davranışın yalnızca çerçevelerden oluşan yapıların davranışına doğru yaklaştığı görülmektedir.

Çizelge 1. Farklı k değerleri için ilk üç moda ait S_i katsayıları

| 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 | 4/k | 1.33/k | 0.8/k |

Etkin kütle oranları: Modların etkin kütle oranları,

$$eko_i = \left(\int_0^H X_n dx \right)^2 / \left(\int_0^H X_n^2 dx \right)^2 \quad (18)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir. (11) nolu bağıntı ile tanımlanan şekil değiştirme fonksiyonu (18) nolu bağıntıda yerine yazılarak gerekli işlemler yapılırsa, ilk üç moda ait etkin kütle oranı değerleri farklı $k = H\sqrt{GA/EI}$ değerlerine bağlı olarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 3 te

gösterilmiştir. Çizelgede de görüldüğü gibi yalnızca perdelerden oluşan yapılarda etkin kütle oranı değeri 1. mod için 0.61 değerini alırken yalnızca çerçevelerden oluşan yapılarda bu oran 0.81 değerine ulaşmaktadır. Diğer bir anlatımla birinci modun katkısı taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan yapılarda daha etkindir. Taban kesme kuvveti, bulunan etkin kütle oranından yararlanılarak,

$$V_{Ti} = M \cdot e_{ko_i} \cdot S_{ai} \quad (19)$$

çarpımı ile elde edilir.

Çizelge 2. Farklı k değerleri için ilk üç moda ait μ katkı çarpanları

| K | μ_1 | μ_2 | μ_3 | k | μ_1 | μ_2 | μ_3 | k | μ_1 | μ_2 | μ_3 |
|-----|---------|---------|---------|------|---------|---------|---------|------|---------|---------|---------|
| 0.0 | 1.57 | -0.86 | 0.51 | 6.5 | 0.66 | -0.48 | 0.38 | 13.5 | 0.32 | -0.29 | 0.25 |
| 0.1 | 1.56 | -0.86 | 0.51 | 7.0 | 0.61 | -0.45 | 0.36 | 14.0 | 0.30 | -0.28 | 0.25 |
| 0.5 | 1.53 | -0.86 | 0.50 | 7.5 | 0.57 | -0.44 | 0.35 | 14.5 | 0.29 | -0.27 | 0.24 |
| 1.0 | 1.46 | -0.83 | 0.50 | 8.0 | 0.54 | -0.43 | 0.34 | 15.0 | 0.28 | -0.27 | 0.23 |
| 1.5 | 1.37 | -0.80 | 0.49 | 8.5 | 0.51 | -0.41 | 0.32 | 15.5 | 0.27 | -0.26 | 0.22 |
| 2.0 | 1.29 | -0.76 | 0.49 | 9.0 | 0.48 | -0.40 | 0.31 | 16.0 | 0.26 | -0.24 | 0.22 |
| 2.5 | 1.21 | -0.71 | 0.48 | 9.5 | 0.45 | -0.38 | 0.31 | 16.5 | 0.26 | -0.24 | 0.21 |
| 3.0 | 1.12 | -0.68 | 0.46 | 10.0 | 0.43 | -0.36 | 0.30 | 17.0 | 0.25 | -0.23 | 0.21 |
| 3.5 | 1.04 | -0.63 | 0.45 | 10.5 | 0.41 | -0.35 | 0.29 | 17.5 | 0.24 | -0.23 | 0.21 |
| 4.0 | 0.96 | -0.59 | 0.43 | 11.0 | 0.39 | -0.34 | 0.29 | 18.0 | 0.23 | -0.22 | 0.20 |
| 4.5 | 0.89 | -0.57 | 0.42 | 11.5 | 0.37 | -0.33 | 0.29 | 18.5 | 0.23 | -0.22 | 0.20 |
| 5.0 | 0.82 | -0.53 | 0.41 | 12.0 | 0.36 | -0.31 | 0.27 | 19.0 | 0.22 | -0.21 | 0.20 |
| 5.5 | 0.76 | -0.52 | 0.40 | 12.5 | 0.34 | -0.31 | 0.27 | 19.5 | 0.22 | -0.20 | 0.19 |
| 6.0 | 0.71 | -0.50 | 0.38 | 13.0 | 0.33 | -0.30 | 0.26 | 20.0 | 0.21 | -0.20 | 0.19 |

Çizelge 3. İlk üç moda ait etkin kütle oranları (e_{ko_i})

| k | e_{ko_1} | e_{ko_2} | e_{ko_3} | k | e_{ko_1} | e_{ko_2} | e_{ko_3} | k | e_{ko_1} | e_{ko_2} | e_{ko_3} |
|-----|------------|------------|------------|------|------------|------------|------------|------|------------|------------|------------|
| 0.0 | 0.61 | 0.19 | 0.07 | 6.5 | 0.72 | 0.11 | 0.05 | 13.5 | 0.76 | 0.09 | 0.04 |
| 0.1 | 0.61 | 0.19 | 0.07 | 7.0 | 0.73 | 0.10 | 0.05 | 14.0 | 0.76 | 0.10 | 0.04 |
| 0.5 | 0.62 | 0.19 | 0.06 | 7.5 | 0.73 | 0.10 | 0.05 | 14.5 | 0.76 | 0.09 | 0.04 |
| 1.0 | 0.62 | 0.18 | 0.06 | 8.0 | 0.73 | 0.10 | 0.04 | 15.0 | 0.77 | 0.09 | 0.04 |
| 1.5 | 0.63 | 0.17 | 0.06 | 8.5 | 0.74 | 0.10 | 0.04 | 15.5 | 0.76 | 0.10 | 0.04 |
| 2.0 | 0.65 | 0.16 | 0.06 | 9.0 | 0.74 | 0.10 | 0.04 | 16.0 | 0.77 | 0.09 | 0.04 |
| 2.5 | 0.66 | 0.15 | 0.06 | 9.5 | 0.74 | 0.10 | 0.04 | 16.5 | 0.77 | 0.09 | 0.04 |
| 3.0 | 0.67 | 0.14 | 0.06 | 10.0 | 0.75 | 0.09 | 0.04 | 17.0 | 0.77 | 0.10 | 0.04 |
| 3.5 | 0.68 | 0.13 | 0.06 | 10.5 | 0.75 | 0.09 | 0.04 | 17.5 | 0.77 | 0.09 | 0.04 |
| 4.0 | 0.69 | 0.12 | 0.06 | 11.0 | 0.75 | 0.09 | 0.04 | 18.0 | 0.77 | 0.09 | 0.04 |
| 4.5 | 0.70 | 0.12 | 0.05 | 11.5 | 0.75 | 0.10 | 0.04 | 18.5 | 0.77 | 0.09 | 0.03 |
| 5.0 | 0.71 | 0.11 | 0.05 | 12.0 | 0.76 | 0.09 | 0.04 | 19.0 | 0.77 | 0.09 | 0.03 |
| 5.5 | 0.71 | 0.11 | 0.05 | 12.5 | 0.76 | 0.09 | 0.04 | 19.5 | 0.78 | 0.09 | 0.04 |
| 6.0 | 0.72 | 0.11 | 0.05 | 13.0 | 0.76 | 0.09 | 0.04 | 20.0 | 0.78 | 0.09 | 0.04 |

Devrilme Momenti: Yapı tabanında oluşacak devrilme momenti modal analiz yardımıyla,

$$Mom_i = \frac{\left[\int_0^H X_n dx \int_0^H X_n x dx \right]}{\int_0^H X_n^2 dx} m S_{ai} = v_i m H^2 S_{ai} \quad (20)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Burada S_{ai} spektral ivme değeridir ve ilgili yönetmeliklerden alınır. İlk üç mod için. v_i değerleri Çizelge 4. de görüldüğü gibi farklı değişik $k = H\sqrt{GA/EI}$ değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4. Farklı k değerlerine karşılık gelen ilk üç moda ait v_i değerleri

| k | v_1 | v_2 | v_3 | k | v_1 | v_2 | v_3 | k | v_1 | v_2 | v_3 |
|-----|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 0.0 | 0.45 | 0.039 | 0.008 | 6.5 | 0.11 | 0.013 | 0.005 | 13.5 | 0.06 | 0.006 | 0.002 |
| 0.1 | 0.44 | 0.039 | 0.008 | 7.0 | 0.10 | 0.012 | 0.004 | 14.0 | 0.05 | 0.006 | 0.002 |
| 0.5 | 0.42 | 0.039 | 0.008 | 7.5 | 0.09 | 0.011 | 0.004 | 14.5 | 0.05 | 0.006 | 0.002 |
| 1.0 | 0.36 | 0.037 | 0.008 | 8.0 | 0.09 | 0.011 | 0.004 | 15.0 | 0.05 | 0.006 | 0.002 |
| 1.5 | 0.30 | 0.034 | 0.008 | 8.5 | 0.09 | 0.010 | 0.004 | 15.5 | 0.05 | 0.005 | 0.002 |
| 2.0 | 0.25 | 0.031 | 0.008 | 9.0 | 0.08 | 0.010 | 0.003 | 16.0 | 0.05 | 0.005 | 0.002 |
| 2.5 | 0.22 | 0.027 | 0.007 | 9.5 | 0.08 | 0.009 | 0.003 | 16.5 | 0.05 | 0.005 | 0.002 |
| 3.0 | 0.19 | 0.025 | 0.007 | 10.0 | 0.07 | 0.009 | 0.003 | 17.0 | 0.05 | 0.005 | 0.002 |
| 3.5 | 0.17 | 0.022 | 0.007 | 10.5 | 0.07 | 0.008 | 0.003 | 17.5 | 0.04 | 0.005 | 0.002 |
| 4.0 | 0.16 | 0.019 | 0.006 | 11.0 | 0.07 | 0.008 | 0.003 | 18.0 | 0.04 | 0.005 | 0.002 |
| 4.5 | 0.14 | 0.018 | 0.006 | 11.5 | 0.06 | 0.008 | 0.003 | 18.5 | 0.04 | 0.005 | 0.002 |
| 5.0 | 0.13 | 0.016 | 0.006 | 12.0 | 0.06 | 0.007 | 0.003 | 19.0 | 0.04 | 0.005 | 0.002 |
| 5.5 | 0.12 | 0.015 | 0.005 | 12.5 | 0.06 | 0.007 | 0.003 | 19.5 | 0.04 | 0.004 | 0.002 |
| 6.0 | 0.11 | 0.014 | 0.005 | 13.0 | 0.06 | 0.006 | 0.003 | 20.0 | 0.04 | 0.004 | 0.002 |

Tepe Noktası Deplasmanı: Perde çerçeve taşıyıcı sistemin tepe noktasında meydana gelen yatay deplasman ise,

$$Dep_i = X_i(H) \cdot v_i S_{di} = \Psi_i S_{di} \quad (21)$$

bağıntısıyla bulunabilir. S_{di} , spektral yer değiştirme değeri olup yönetmeliklerden veya deprem kayıtlarından elde edilebilir. Burada yer alan Ψ_i değişkeninin farklı $k = H\sqrt{GA/EI}$ değerlerine bağlı olarak ilk üç mod için alacağı değerler ise Çizelge 5. de gösterilmiştir. Çizelgede, deplasman katsayısının değerinin yapının rijitliğinin artmasıyla büyüdüğü, bu değerlerin örneğin 1. mod için 1.57'ye şekil değiştirme katsayısı örneğin birinci mod için 1.57 ile 1.29 arasında değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5. İlk üç moda ait Ψ_i değerleri

| k | Ψ_1 | Ψ_2 | Ψ_3 | k | Ψ_1 | Ψ_2 | Ψ_3 | k | Ψ_1 | Ψ_2 | Ψ_3 |
|-----|----------|----------|----------|------|----------|----------|----------|------|----------|----------|----------|
| 0.0 | 1.57 | -0.87 | 0.51 | 6.5 | 1.36 | -0.61 | 0.44 | 13.5 | 1.30 | -0.48 | 0.35 |
| 0.1 | 1.57 | -0.87 | 0.51 | 7.0 | 1.35 | -0.59 | 0.42 | 14.0 | 1.30 | -0.48 | 0.35 |
| 0.5 | 1.56 | -0.86 | 0.5 | 7.5 | 1.34 | -0.59 | 0.42 | 14.5 | 1.29 | -0.47 | 0.34 |
| 1.0 | 1.55 | -0.85 | 0.5 | 8.0 | 1.33 | -0.58 | 0.41 | 15.0 | 1.29 | -0.47 | 0.34 |
| 1.5 | 1.54 | -0.83 | 0.49 | 8.5 | 1.33 | -0.56 | 0.39 | 15.5 | 1.29 | -0.47 | 0.33 |
| 2.0 | 1.52 | -0.82 | 0.50 | 9.0 | 1.32 | -0.56 | 0.38 | 16.0 | 1.29 | -0.47 | 0.33 |
| 2.5 | 1.49 | -0.79 | 0.50 | 9.5 | 1.32 | -0.54 | 0.41 | 16.5 | 1.29 | -0.46 | 0.33 |
| 3.0 | 1.47 | -0.77 | 0.48 | 10.0 | 1.31 | -0.52 | 0.37 | 17.0 | 1.29 | -0.46 | 0.32 |
| 3.5 | 1.45 | -0.73 | 0.49 | 10.5 | 1.31 | -0.52 | 0.37 | 17.5 | 1.29 | -0.46 | 0.32 |
| 4.0 | 1.43 | -0.70 | 0.47 | 11.0 | 1.31 | -0.51 | 0.37 | 18.0 | 1.29 | -0.45 | 0.32 |
| 4.5 | 1.41 | -0.68 | 0.47 | 11.5 | 1.30 | -0.52 | 0.37 | 18.5 | 1.29 | -0.45 | 0.31 |
| 5.0 | 1.39 | -0.66 | 0.47 | 12.0 | 1.30 | -0.50 | 0.36 | 19.0 | 1.29 | -0.45 | 0.31 |
| 5.5 | 1.38 | -0.65 | 0.47 | 12.5 | 1.30 | -0.50 | 0.36 | 19.5 | 1.29 | -0.44 | 0.31 |
| 6.0 | 1.37 | -0.62 | 0.44 | 13.0 | 1.30 | -0.49 | 0.35 | 20.0 | 1.29 | -0.44 | 0.30 |

3. İŞLEM AŞAMALARI

Perde çerçeve sistemlerin sürekli sistem hesap modeline göre dinamik analizi, yukarıda açıklanan bağıntılar ve hazırlanan Çizelgeler yardımıyla pratik olarak gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda herhangi bir problemin çözümünde izlenecek olan adımlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Yapının taşıyıcı sistemine ait kütle (m), yükseklikler (H, h), kayma rijitliği (GA), eğilme rijitliği (EI), eksenel rijitlik (EI_g) gibi yapısal özellikleri belirlenir.
2. Dar ve yüksek yapılarda önem kazanan eksenel deformasyonların katkısını içeren eşdeğer rijitlik ifadesi (4) nolu bağıntı ile hesaplanır.
3. $k = H\sqrt{GA/EI}$ parametresi bulunur.
4. Çizelge 1.'den k değerine karşılık gelen modlardan yapı davranışına katkısının ihmal edilebilecek kadar küçük olmaları nedeniyle üçten büyük modların katkısı dikkate alınmadığından en etkili ilk üç moda ait S_i değerleri alınır ve (15) numaralı bağıntı yardımıyla ilk üç moda ait periyot değerleri hesaplanır.
5. Periyot değerlerine bağlı olarak ilgili yönetmelikten yada mevcut deprem kayıtlarından spektral ivme (S_{ai}) ve spektral yer değiştirme (S_{di}) değerleri alınır.
6. Mod katkı çarpanları ve etkin kütle oranları sırasıyla Çizelge 2. ve Çizelge 3. yardımıyla, üçüncü adımda bulunan k parametresine karşılık gelen değerlerin okunmasıyla bulunur.
7. Taban kesme kuvveti (19) nolu bağıntı ile hesaplanır.
8. Devrilme momenti Çizelge 4. yardımıyla bulunacak v_i değerlerinin (20) nolu bağıntıda yerlerine yazılmasıyla bulunurlar.
9. Tepe noktasında oluşacak maksimum yatay deplasmanlar, Çizelge 5. 'den alınacak Ψ_i değerlerinin (21) nolu bağıntıda yerlerine yazılarak elde edilirler.
10. İlk üç mod için bulunacak 3 değerın karelerinin toplamının karekökü alınarak nihai değere ulaşılr.

4. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde farklı yaklaşımlarla çözülmüş olan çeşitli taşıyıcı sistemlerin dinamik analizi yukarıda açıklanan prosedüre göre gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Örnek 1. Şekil 3. de planı görülen çok katlı yapıda kat adedi 28, kat yükseklikleri 2,97 m, birim boya düşen ağırlık 280640 kg/m, dolu perde elemanların 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 deformasyonların oluşturduğu eğilme rijitliği ifadesi ise $EI_g=1.37 \times 10^9 \text{ kNm}^2$, boşluklu perdeleri birleştiren bağ kirişlerinin kesit alanları ve atalet momentleri sırasıyla $A_b=1.4640 \text{ m}^2$, $I_b=5.97 \times 10^{-4} \text{ m}^4$ olarak verilmiştir [9]. Taşıyıcı sistemin z eksenini doğrultusundaki açısal frekansı ve taban kesme kuvveti Eurocode 8.'de [9] yer alan tasarım spektrumu dikkate alınarak çalışmada açıklanan prosedüre göre aşağıdaki hesap aşamaları ile elde edilmiştir.

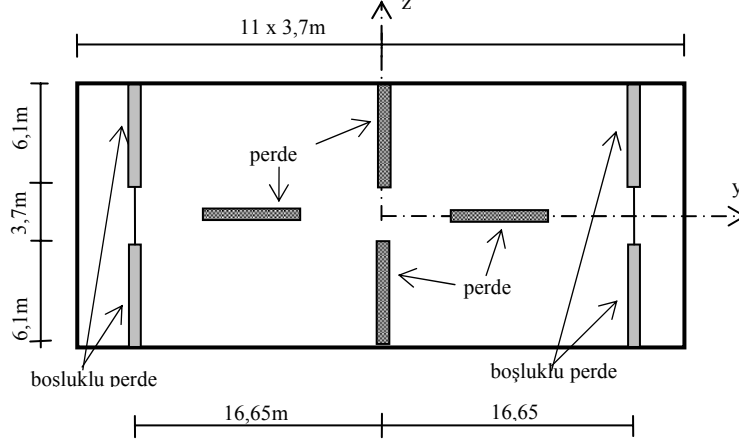
$H=83.2 \text{ m}$, $h=2.97 \text{ m}$, $p=0.2$ olarak verilmiştir. GA, kayma rijitliği ifadesi (3) nolu bağıntıdan, her iki boşluklu perde için eşit değerlerde olan, $d_i=3.7 \text{ m}$, $s_i=s_{i+1}=6.1 \text{ m}$ $EI_b=2.3 \times 10^7 \times 5.79 \times 10^{-4} = 13.317 \times 10^3 \text{ kNm}^2$, $GA_b=9.58 \times 10^6 \times 0.07 = 6.706 \times 10^5 \text{ kNm}^2$ değerleri için $GA=9.99 \times 10^4 \text{ kN}$ olarak hesaplanır.

Tüm yapı için z eksenini yönündeki 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, $EI_g=2 \text{ adet} \times 1.37 \times 10^9 = 2.74 \times 10^9 \text{ kN m}^2$ 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.

Etkili kayma rijitliği GA_{ef} , (6) nolu bağıntılardan hesaplanan; ve

$f_{kayma}^2 = (19.98 \times 10^4 \times 2.97) / ((4 \times 83.2)^2 \times 849.644) = 0.00631$ değerlerinin (5) nolu bağıntıda yerlerine yazılmasıyla bulunacak $f_j = 0.0626 / (0.0626 + 0.00631) = 0.908$ değerinin (4) nolu bağıntıda yerine yazılmasıyla, $(GA)_{ef} = 0.908 \times 19.98 \times 10^4 = 18.14 \times 10^4$ kN olarak elde edilir. Birim boya gelen ağırlık $= 280640 \text{ kg/m} = 2806.40 \text{ kN/m}$ verildiğinden m kat kütlesi $m = 2806.40 \times 2.97 / 9.81 = 849.644 \text{ kNm/s}^2$ olarak alınmıştır.

k parametresi ise, $k = H\sqrt{GA/EI} = 83.2\sqrt{(18.14 \times 10^4) / (5.31 \times 10^8)} = 1.54$ olarak bulunur. Çizelge 1. 'den $k=1.54$ değerine karşılık $S_1=1.318$ enterpolasyon yapılarak hesaplanabilir.



Şekil 3. Örnek 1. 'e ait taşıyıcı sistem planı

q düzeltme katsayısı ise (16) nolu bağıntı yardımıyla kat adedi $n=28$ için; $q = 28 / (28 + 2.06) = 0.931$ elde edilir. Birinci doğal titreşim periyodu ise (15) nolu bağıntı ile; $T_1 = 1.318 \times 83.2^2 \sqrt{2806.40 / (0.931 \times 5.31 \times 10^8 \times 9.81)} = 6.94 \text{ s}$ hesaplanır.

Yine $k=1.54$ değerine karşılık Çizelge 3'ten $e_{k1}=0.632$ alınır. Taban kesme kuvveti için, Eurocode 8 'de [9] verilen spektral ivme S_a ,

$$T_D < T_1 \Rightarrow S_a = a_g S_t \eta \beta \left(\frac{T_C}{T_D} \right)^{k_1} \left(\frac{T_D}{T_1} \right)^{k_2} \quad (22)$$

$S_t = 1$, $a_g = 0.089.81 \text{ m/s}^2$, $\beta = 2.5$, $\eta = 1.323$, $T_B = 0.15 \text{ s}$, $T_C = 0.6 \text{ s}$, $T_D = 3 \text{ s}$, $k_1 = 1$ ve $k_2 = 3$ değerleri için bulunan $S_{a1} = 0.08 \times 9.81 \times 1 \times 1.323 \times 2.5 \times ((0.60/3))^1 \times ((3/6.935)^2) = 0.0971 \text{ m/s}^2$ (19) nolu bağıntıda yerine yazılmasıyla,

$V_{T1} = M \cdot e_{k1} \cdot S_{a1} = (2806.40 \times 83.2) / (9.81) \times 0.632 \times 0.0971 = 1460.63 \text{ kN}$ olarak elde edilir.

Literatürde aynı örnek için verilen ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar Çizelge 6.da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Örnek 1. ye ait periyot ve taban kesme kuvveti

| | Bu Çalışma | Literatür [9] | Etabs [9] |
|--------------------------------|------------|---------------|-----------|
| 1. Doğal titreşim periyodu (s) | 6.940 | 7.197 | 6.888 |
| Taban kesme kuvveti (kN) | 1460.63 | 1310.30 | 1481.45 |

Örnek 2. Şekil 4'te kesiti verilen düzlem çerçevenin dinamik analizi 7, 10 ve 15 katlı olarak bu makalede sunulan yöntem ile yapılmış ve sonuçlar sonlu elemanlar yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlarla yapılan çözümlemede SAP2000 hazır paket programından yararlanılmıştır[10]. İncelenen örnekte, tüm kolonlar ve kirişler sırasıyla 40/70 cm ve 25/50 cm, elastisite modülü $E=3 \times 10^7$ kN/m², bina önem katsayısı 1, kat yükseklikleri $h=3$ m ve kat kütleleri $m=50$ kNs²/m olarak verilmiştir. Bir kolon için $I=0.0114$ m⁴, dört kolon için $EI=1.372 \times 10^6$ kNm² dir.

Çözüm için yukarıda 3. numaralı başlık altında sıralanan ilgili aşamalar uygulanmıştır. Buradan elde edilen k değerlerine karşılık gelen S_1 , S_2 ve S_3 değerleri Çizelge 1. den alınır. Elde edilen S_i değeri (15) nolu bağıntıda yerine yazılarak periyotlar elde edilmiştir. Taban kesme kuvvetleri için önce Çizelge 3. 'den etkin kütle oranları alınır ve (19) nolu bağıntı kullanılarak her bir moda karşılık gelen taban kesme kuvvetleri bulunmuştur. SRSS (karelerin toplamının karekökü) metodu ile tüm yapının taban kesme kuvveti bulunmuştur. İncelenen zeminlere ait spektrum değerleri Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelikten (1998) alınmıştır [11].

Örneğin 15 katlı yapıya ait k değeri ($H=45$ m, $GA=1.7357 \times 10^5$ kN, $EI=1.372 \times 10^6$ kNm² için) $k=16.01$ ve buna karşılık gelen S_1 , S_2 ve S_3 değerleri Çizelge 1. 'den sırasıyla 0.234, 0.075 ve 0.043 olarak alınmıştır. İlk üç moda ait periyotlar (15) nolu bağıntı kullanılarak sırasıyla 1.76s, 0.56s ve 0.32s bulunmuştur. Taban kesme kuvveti için yine $k=16.01$ değerine karşılık Çizelge 3. 'ten alınan ilk üç moda ait etkin kütle oranları $e_{k1}=0.77$, $e_{k2}=0.09$ ve $e_{k3}=0.04$ değerleri (19) nolu bağıntıda yerine yazılarak elde edilmiştir.numaralı eşitlikte yerine yazılmıştır. Böylece taban kesme kuvveti değerleri ilk üç mod için sırasıyla $V_{T1}=414.07$ kN, $V_{T2}=82.76$ kN, $V_{T3}=36.78$ kN ve buradan toplam taban kesme kuvveti bileşkesi 423.9kN olarak elde edilmiştir. Bu işlem sırasında örneğin Z4 zemin sınıfı için $S_{a1}=0.717$ m/s², $S_{a2}=1.226$ m/s² ve $S_{a3}=1.226$ m/s² olarak dikkate alınmıştır [11].

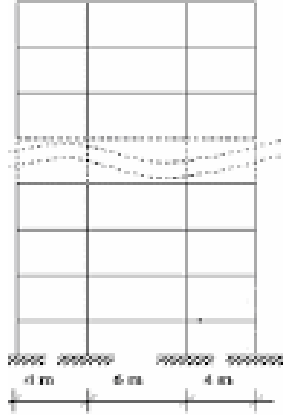
Benzer olarak 7, 10 ve 15 katlı yapılar için elde edilen ilk üç moda ait periyotlar Çizelge 7'de, yine aynı yapılar için Z1, Z2, Z3 ve Z4 farklı zemin sınıfları için elde edilen taban kesme kuvvetleri Çizelge 8. de, SAP2000 hazır programından elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 7. İlk 3 moda ait periyotlar (örnek 2.)

| mod | Periyotlar (s) | | | | | |
|-----|----------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| | 7 kat | | 10 kat | | 15 kat | |
| | Bu Çalışma | SAP2000 | Bu Çalışma | SAP2000 | Bu Çalışma | SAP2000 |
| 1 | 0.900 | 0.902 | 1.143 | 1.156 | 1.768 | 1.823 |
| 2 | 0.277 | 0.280 | 0.358 | 0.363 | 0.572 | 0.580 |
| 3 | 0.146 | 0.151 | 0.196 | 0.198 | 0.324 | 0.320 |

Çizelge 8. Farklı zemin sınıfları için taban kesme kuvvetleri

| mod | Taban kesme kuvveti, V_t (kN) | | | | | |
|-----|---------------------------------|---------|------------|---------|------------|---------|
| | 7 kat | | 10 kat | | 15 kat | |
| | Bu Çalışma | SAP2000 | Bu Çalışma | SAP2000 | Bu Çalışma | SAP2000 |
| Z1 | 159.7 | 169.9 | 166.6 | 174.7 | 181.6 | 182.2 |
| Z2 | 197.0 | 209.1 | 207.5 | 217.4 | 227.5 | 231.3 |
| Z3 | 267.7 | 283.6 | 281.2 | 292.4 | 311.7 | 312.9 |
| Z4 | 366.9 | 388.0 | 384.6 | 398.7 | 423.9 | 419.9 |

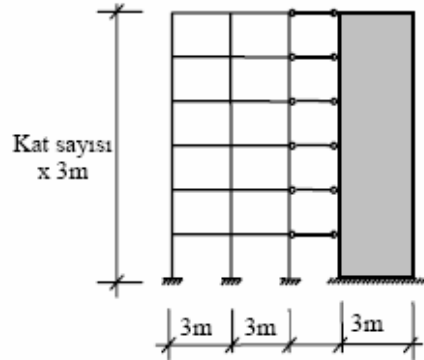


Şekil 4. Örnek 2. 2ye ait taşıyıcı sistem

Örnek 3. Şekil 5. de verilen perde-çerçeve sistem 7 ve 15 katlı olarak hem sürekli sistem hesap modeliyle hem de Sonlu Elemanlar Yöntemiyle [10] ABYYHY 98 dikkate alınarak çözülmüş ve sonuçlar Çizelge 9'da karşılaştırılmıştır. SAP2000 hazır paket programıyla çözüm yapılırken perde kabuk eleman olarak modellenmiştir. Perde 30/300 cm, kolonlar 30/60 cm ve kirişler 25/50 cm olarak alınmış olup kat kütleleri $50\text{kNs}^2/\text{m}$, kat yükseklikleri ise 3m'dir. Yapı Z4 zemin sınıfı üzerine inşa edilmiştir.

Çizelge 9. Örnek 3. 'e ait sonuçlar

| İlk üç moda ait Periyotlar (s) | | | | |
|--------------------------------------|------------|---------|------------|---------|
| | 7 kat | | 15 kat | |
| | Bu Çalışma | SAP2000 | Bu Çalışma | SAP2000 |
| 1 | 0.56 | 0.59 | 1.89 | 1.92 |
| 2 | 0.12 | 0.12 | 0.43 | 0.44 |
| 3 | 0.05 | 0.05 | 0.20 | 0.18 |
| Tabandan kesme kuvvetleri V_t (kN) | | | | |
| | 329.12 | 355.15 | 203.0 | 226.2 |
| Tepe noktası deplasmanları (m) | | | | |
| | 0.01729 | 0.01739 | 0.028 | 0.03172 |



Şekil 5. Örnek 3. 2e ait perde-çerçeve taşıyıcı sistem

5. SONUÇ

Çok katlı yapıların sürekli sistem hesap modeline göre dinamik analizi için hazırlanmış olan Çizelgelerin kullanıldığı pratik bir işlem prosedürü sunulmuştur. Dolu perde, boşluklu perde ve/veya çerçeve taşıyıcı sisteme sahip yapılar için kullanılabilen yöntemde, eğilme ve kayma deformasyonları ile birlikte eksenel şekil değiştirmelerin de sonuçlara katkısı dikkate alınmıştır. Bu tür yapıların periyot, taban kesme kuvveti, devrilme momenti ve tepe noktası deplasmanının hesaplanması için el ile yapılan dinamik analizdeki karmaşık bağıntılar ve işlemler pratik Çizelgelere dönüştürülerek sonuca kısa zamanda ve kolaylıkla ulaşılması sağlanmıştır. İşlem prosedürü, çalışmanın sonunda çözülmüş olan çeşitli sayısal örnekler üzerinde karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Sonuçlar Sonlu Elemanlar Deplasman Metodu ile elde edilen çözüm sonuçları ile karşılaştırılarak birbiriyle oldukça uyumlu değerlere ulaşılabilirdiği görülmüştür.

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 yayınları, NO: 2, İzmir, 1979.
- [4] Zalka, K.A., “A Simplified Method for Calculation of the Natural Frequencies of Wall-Frame Buildings”, Engineering Structures, 23: 1544-1555., 2001.
- [5] Potzsta,G., Kollar, L., “Analysis of Building Structures by Replacement Sandwich Beams”, International Journal of Solids and Structures,Vol:40:532-553, 2003.
- [6] Miranda, E., Taghavi, S., “Approximate Floor Acceleration Demands in Multistorey Buildings”, ASCE, Journal of Structural Division, Vol 131: No:2, 2005.
- [7] Matlab V7.1, Users Manual, Mathworks Inc. , USA, 2004.
- [8] Chopra A. K., Dynamics of Structures, Prentice Inc., New Jersey, 1995.
- [9] Tarjan G., Kollar P. L., “Approximate Analysis of Building Structures with Identical Stories Subjected Earthquakes”, International Journal of Solids and Structures, Vol. 41, No.5-6, p.1411-1423, 2004.
- [10] SAP2000., Ver6.10, Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, 2000.
- [11] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1998.