

## Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi

Günay ÖZMEN\*

### ÖZ

“Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”te “Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi” için bazı uygulama sınırları öngörülmüştür. Bu sınırların dışında “Mod Birleştirme Yöntemi” kullanılabileceği belirtilmektedir. Ancak bazı özel durumlarda ve çeşitli yapıların temel hesaplarında MBY uygulanması halinde bile eşdeğer deprem yüklerinin kullanılması gerekli olmaktadır. Bu çalışmada söz konusu özel durumlar irdelenerek MBY sonuçlarının eşdeğer deprem yüklerine dönüştürülmesi amacıyla geliştirilen bir yöntem açıklanmıştır. Böylece, hem MBY uygulamasının gerekli olduğu koşullar, hem de yönetmelikte belirli özel durumlar için öngörülmüş olan süreçler yerine getirilmiş olmaktadır.

### ABSTRACT

#### Determination of Equivalent Static Earthquake Loads Using the Results of Mode Superposition Method

In “Turkish Earthquake Code” certain restrictions are imposed for the application of “Equivalent Earthquake Load Method” and it is stated that “Mode Superposition Method” is applicable for certain special cases. However, for certain special cases and foundation design of several structures it is still necessary to utilize equivalent earthquake loads. In this paper, a method for converting the results of Mode Superposition Method to equivalent earthquake loads is developed. Thus it has been possible to ensure the conditions necessitating the usage of Mode Superposition Method, while ascertaining the application of the procedures for certain special cases which are depicted in the code.

### 1. GİRİŞ

“Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” (DBYBHY)’te “Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi” (EDYY) için bazı uygulama sınırları öngörülmüştür, [1]. Bu sınırların dışında “Mod Birleştirme Yöntemi” (MBY) veya “Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri”nin kullanılabileceği belirtilmektedir. Uygulamada genellikle MBY

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 14.08.2007 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2008 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* BİLSAR A.Ş., İstanbul - gunayozmen@hotmail.com

### Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi

kullanılmaktadır. Ancak belirli özel durumlarda ve temel hesaplarında MBY uygulanması halinde bile eşdeğer deprem yüklerinin kullanılması gerekli olmaktadır. Bu çalışmada söz konusu özel durumlar irdelenerek MBY sonuçlarının eşdeğer deprem yüklerine dönüştürülmesi amacıyla geliştirilen bir yöntem açıklanacaktır.

## 2. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İÇİN UYGULAMA SINIRLARI

DBYBHY Madde 2.6'da EDYY için bazı uygulama sınırları belirtilmiş ve bunlar Yönetmelik Tablo 2.6'da özetlenmiştir, [1]. Söz konusu Tablonun daha pratik bir biçimde düzenlenmiş hali aşağıda Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1: Deprem Hesabında Kullanılacak Yöntemler

Bölge	$\eta_{bi}$	B2 Düzensizliği	$H_N(m)$	Yöntem
1,2	$\leq 2.0$	Var	$\leq 25$	EDYY
			$> 25$	MBY
	$> 2.0$	Yok	$\leq 40$	EDYY
			$> 40$	MBY
3,4	–	–	–	MBY
3,4	–	–	$\leq 40$	EDYY
			$> 40$	MBY

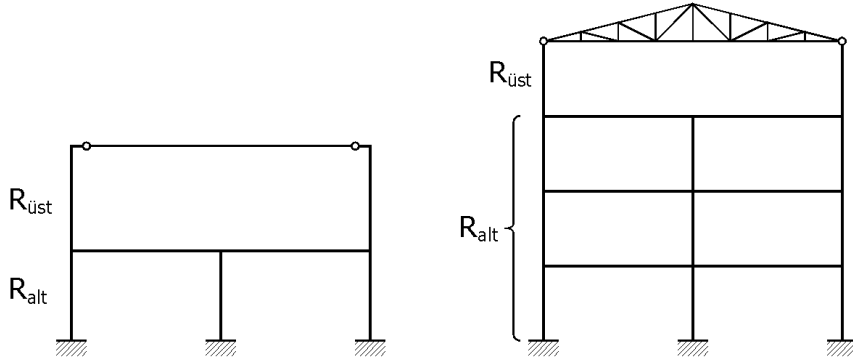
Yukarıda belirtildiği gibi, EDYY'nin kullanılmadığı durumlarda MBY uygulandığı varsayılmış bulunmaktadır. Çizelgede görüldüğü gibi, birçok durumda EDYY yerine MBY kullanılması gerekmektedir. Ancak, bilindiği gibi, MBY tüm kesit zorları ve mesnet tepkileri için mutlak maksimum ve minimum değerleri verir. Bu da bazı özel durumlarda zorluklara (hatta imkansızlıklara) neden olabilir. Böylece MBY için de bazı "Uygulama Sınırları" ortaya çıkmaktadır.

## 3. MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ İÇİN UYGULAMA SINIRLARI

DBYBHY'in belirli maddelerinde (Madde 2.5.5.3 ve 2.7.2.4) binanın farklı (üst ve alt) bölgelerinde farklı R taşıyıcı sistem davranış katsayısı değerlerinin kullanılması ve eşdeğer deprem yüklerinin buna göre hesaplanması (veya düzeltilmesi) gerektiği belirtilmektedir. MBY kullanılmasının gerektiği durumlarda böyle bir uygulamanın yapılamayacağı açıktır. Ayrıca sürekli temel veya radye temel kullanılması durumunda da temele etkileyen kesit zorlarının işaretli olarak belirlenmesi gerektiğinden MBY uygulanması olanaksız görülmektedir. Aşağıda bu özel durumlar sıra ile ele alınarak MBY uygulanmaları irdelenecektir.

### 3.1 Üst Kat Kolonları Üstten Mafsallı Binalar

Kolonları üstten mafsallı binaların deprem etkileri bakımından olumsuz nitelikte oldukları bilinmektedir. Kolonları deprem etkileri altında, “Ters Sarkaç” biçiminde davranan bu tür binalarda süneklik düzeyi oldukça düşük düzeyde olmaktadır. Nitekim bu özellik göz önünde bulundurularak, 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe giren yeni DBYBHY esaslarında “Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar” için, R “Taşıyıcı sistem davranış katsayısı” 3 olarak verilmiştir, [1]. Bu değer kolonlardaki ters sarkaç davranışını göz önüne alan yeterli güvenlikte bir değer olduğu söylenebilir. Uygulamada bazı çok katlı yapıların üst kat kolonları da üstten mafsallı olabilmektedir, Şekil 1.



Şekil 1: Üst kat kolonları üstten mafsallı binalar

DBYBHY’te üst kat kolonları üstten mafsallı binaların deprem hesabı ile ilgili olarak verilen madde aşağıdaki biçimdedir:

**2.5.5.3** – Kolonları üstten mafsallı tek katlı çerçevelerin, yerinde dökme betonarme, prefabrike veya çelik binalarda en üst kat (çatı katı) olarak kullanılması durumunda, en üst kat için ..... tanımlanan R katsayısı ( $R_{üst}$ ) ile alttaki katlar için farklı olarak tanımlanabilen R katsayısı ( $R_{alt}$ ) aşağıdaki koşullara uyulmak kaydı ile, bir arada kullanılabilir.

- Başlangıçta deprem hesabı, binanın tümü için  $R = R_{alt}$  alınarak ..... yapılacaktır. .... Azaltılmış ve etkin görelî kat ötelemeleri, binanın tümü için bu hesaptan elde edilecektir.
- En üst katın iç kuvvetleri, (a)’da hesaplanan iç kuvvetlerin ( $R_{alt} / R_{üst}$ ) oranı ile çarpımından elde edilecektir.
- Altındaki katların iç kuvvetleri ise iki kısmın toplamından oluşacaktır. Birinci kısım (a)’da hesaplanan iç kuvvetlerdir. İkinci kısım ise, (b)’de en üst kat kolonlarının mesnet reaksiyonları olarak hesaplanan kuvvetlerin ( $1 - R_{üst}/R_{alt}$ ) ile çarpılarak alttaki katların taşıyıcı sistemine etki ettirilmesi ile ayrıca hesaplanacaktır.

### *Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi*

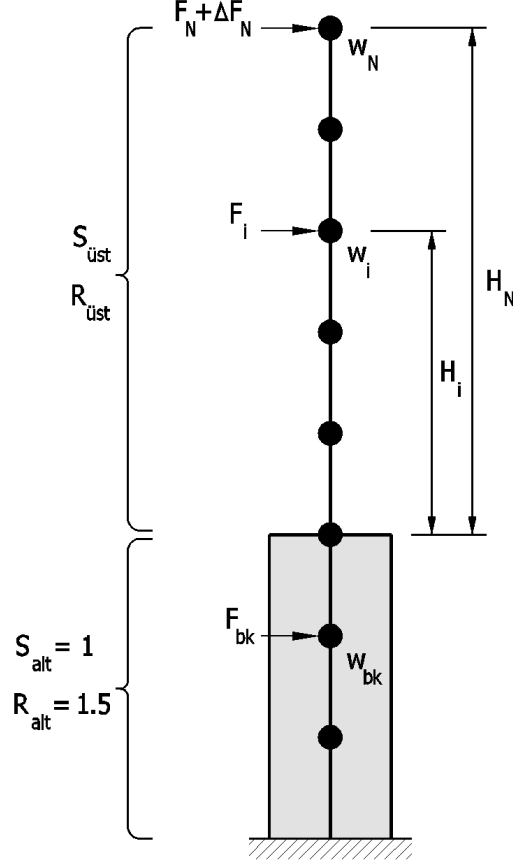
Üst kat kolonlarının “ters sarkaç” biçimindeki davranışlarını göz önüne almak üzere öngörülmuş olan bu düzenleme mantıklı ve gerçekçi bir yaklaşım olarak nitelendirilebilir. Öte yandan, deprem hesabında kullanılacak yöntemlerin listelendiği Çizelge 1’deki MBY ilgili koşullardan birinin geçerli olması halinde, söz konusu binanın hesabında MBY kullanılması zorunlu olabilir. Bu durumda, en üst kat kolon mesnet reaksiyonlarının işaretleri belli olmadığından Madde 2.5.5.3’ün (c) paragrafı uygulanamaz. Ayrıca MBY uygulamasından sonra EDYY’ne geçmek gibi çelişkili bir durum ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak, üst kat kolonları üstten mafsallı binalarda doğrudan MBY uygulaması olanağının bulunmadığı söylenebilir.

### **3.2 Bodrum Katlarında Rijit Çevre Perdeleri Bulunan Binalar**

DBYBHY’te bodrum katlarında rijit çevre perdeleri bulunan binaların deprem hesabı ile ilgili olarak verilen madde aşağıdaki biçimdedir:

**2.7.2.4 –** Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, bodrum katlarına ve üstteki katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, aşağıda belirtildiği üzere, ayrı ayrı hesaplanacaktır. Bu yükler, üst ve alt katların birleşiminden oluşan taşıyıcı sisteme birlikte uygulanacaktır.

- (a) Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin ..... belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın ..... seçilen  $R [R_{üst}]$  katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların ağırlıkları hesaba katılacaktır. Bu durumda ilgili bütün tanım ve bağıntılarda temel üst kotu yerine zemin katın kotu göz önüne alınacaktır. .... birinci doğal titreşim periyodunun hesabında da, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üstteki katların ağırlıkları kullanılacaktır, [Şekil 2].
- (b) Rijit bodrum katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında, sadece bodrum kat ağırlıkları göz önüne alınacak ve *Spektrum Katsayısı* olarak  $S(T) = 1 [S_{alt} = 1]$  alınacaktır. Her bir bodrum katına etkiyen eşdeğer deprem yükünün hesabında, ..... spektral ivme değeri ile bu katın ağırlığı doğrudan çarpılacak ve elde edilen elastik yükler  $R_a(T) = 1.5 [R_{alt} = 1.5]$  katsayısına bölünerek azaltılacaktır, [Şekil 2].



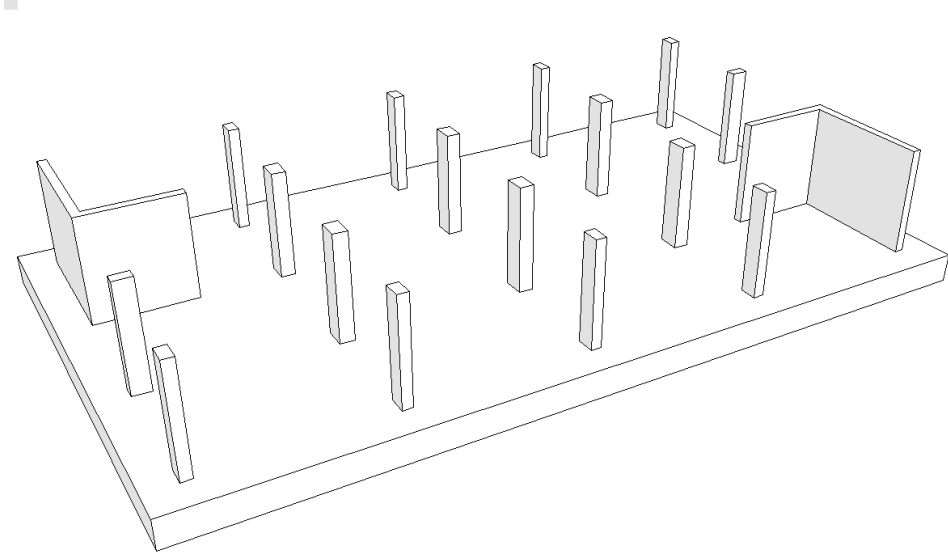
Şekil 2: Bodrum katlarında rijit çevre perdeleri bulunan binalar

Görüldüğü gibi, söz konusu madde tümüyle EDYY göz önünde tutularak hazırlanmış bulunmaktadır. Oysa bu durumda da, bazı özel koşulların gerçekleşmesi halinde, MBY uygulanması gerekebilir. Binanın üst ve alt bölgeleri için farklı S ve R değerleri kullanılarak böyle bir uygulamanın gerçekleştirilemeyeceği açıktır.

### 3.3 Temel Tabanında Çekme Gerilmesi Oluşan Binalar

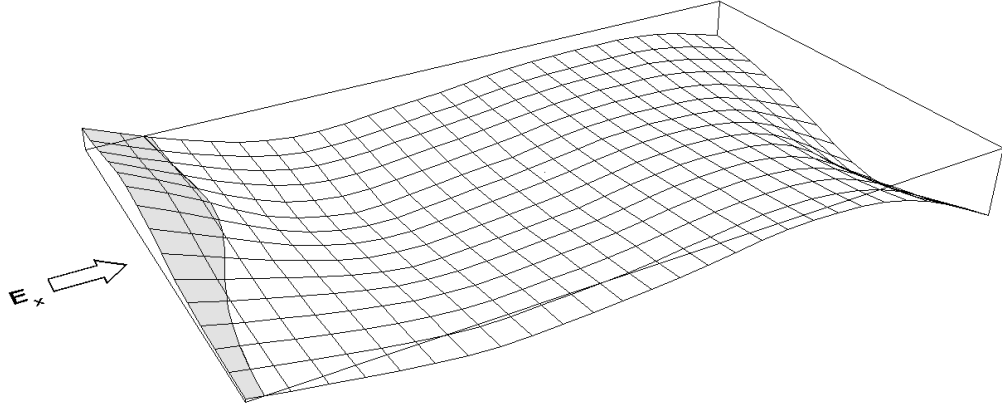
Uygulamada çok katlı yapıların önemli bir bölümünde sürekli temel veya radye temel kullanılmaktadır. Bu yapıların çoğunda temellerin belirli bölgelerinin tabanında çekme gerilmeleri olduğu bilinmektedir. Örneğin düşey taşıyıcı elemanları ile radye temeli Şekil 3'te şematik olarak gösterilmiş olan çok katlı bir yapıyı göz önüne alalım.

*Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi*



*Şekil 3: Çok katlı yapının radye temeli*

Bu yapının temelinde  $G+Q+E_x$  yükleme birleşiminden oluşan zemin gerilmeleri şematik olarak Şekil 4'te gösterilmiştir.



*Şekil 4: Radye temelde zemin gerilmeleri*

Çekme gerilmesi olan bölge şekilde koyu olarak gösterilmiş bulunmaktadır. Başka yükleme birleşimleri için başka bölgelerde çekme gerilmeleri oluşabilir. Yapının temel tasarımında,

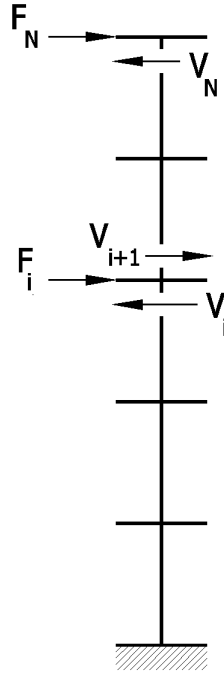
söz konusu bölgelerde temel plağının zemine oturmadığını göz önüne alarak zemin gerilmesi ve temel tasarımı hesapları için bir ardışık yaklaşım uygulamak gerekmektedir.

MBY uygulamasının gerekli olduğu durumlarda ise, düşey taşıyıcı elemanlara ait temel düzeyindeki tepkilerin işaretleri belli olmadığı için, çekme bölgelerini saptama olanağı yoktur.

#### 4. MOD BİRLEŞTİRME YÖNTEMİ SONUÇLARININ EŞDEĞER DEPREM YÜKLERİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Yukarıda belirtildiği gibi, DBYBHY’te EDYY için bazı uygulama sınırları verilmiş ve bu sınırların dışında MBY kullanılabilceği belirtilmiş bulunmaktadır. Ancak Bölüm 3’te ayrıntılı olarak irdelendiği gibi, bazı özel durumlarda doğrudan MBY uygulanması olanağı yoktur. Bu ikilemi gidermenin ve aynı zamanda yönetmelikte öngörölmüş olan koşulları sağlamanın en kestirme yolu MBY sonuçlarının eşdeğer deprem yüklerine dönüştürülmesidir. Bu bölümde böyle bir dönüştürmenin nasıl yapılacağı ve çeşitli özel durumlara nasıl uygulanacağı açıklanacaktır.

N katlı bir binanın şematik kesiti Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5: N katlı binanın şematik kesiti

### *Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi*

Bu binanın deprem hesabında MBY kullanılmasının gerekli olduğu varsayılmaktadır. Bilindiği gibi, MBY uygulaması sonunda, her kesitte maksimum eğilme momenti ve maksimum kesme kuvveti değerleri elde edilir. Herhangi bir düşey taşıyıcı elemana ait  $V_i$  ( $V_N$ ) kesme kuvveti değerleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Yatay denge denklemleri yardımı ile, bu kesme kuvvetlerine karşı gelen fiktif  $F_i$  ( $F_N$ ) yükleri

$$F_N = V_N \quad (1a)$$

$$F_i = V_{i+1} - V_i \quad (i = 1 \sim N-1) \quad (1b)$$

olarak ifade edilebilir. Gereken durumlarda her düğüm noktasında hesaplanan  $F_i$  yükleri toplanarak kat fiktif yükleri de elde edilebilir. Elde edilen fiktif yükler söz konusu binaya eşdeğer deprem yükleri olarak yüklenip hesaplar sürdürülebilmektedir. Bu uygulama sonunda bulunan kesme kuvvetleri ile eğilme momentleri, MBY sonuçlarına kabul edilebilir mertebede yakın (fakat işaretli) olarak elde edilmektedir. Aşağıda çeşitli özel durumlar için dönüştürmenin nasıl yapılacağı açıklanmıştır.

#### **4.1 Üst Kat Kolonları Üstten Mafsallı Binalar**

MBY kullanılmasının zorunlu olduğu bu tür binalarda  $R = R_{alt}$  alınarak MBY uygulanır. Daha sonra (1a) ve (1b) denklemleri yardımı ile fiktif deprem yükleri hesaplanır. Bu yükler kullanılarak yeniden yapılan deprem hesaplarından sonra, DBYBHY Madde 2.5.5.3, paragraf (b) ve (c) aynen uygulanabilir. Bu uygulamanın iki ayrı sistem kullanılmaksızın daha pratik olarak yapılması da mümkün olmaktadır, [2].

#### **4.2 Bodrum Katlarında Rijit Çevre Perdeleri Bulunan Binalar**

MBY kullanılmasının zorunlu olduğu bu tür binalarda  $R = R_{üst}$  olarak seçilip sadece üstteki katlar göz önüne alınarak MBY uygulanır. Daha sonra üst katlar için (1a) ve (1b) denklemleri yardımı ile, alt katlar için de

$$F_{bk} = A_0 I w_{bk} / 1.5 \quad (2)$$

formülü ile eşdeğer deprem yükleri hesaplanıp deprem hesapları yinelenir, (Şekil 2).

#### **4.3 Temel Tabanında Çekme Gerilmesi Oluşan Binalar**

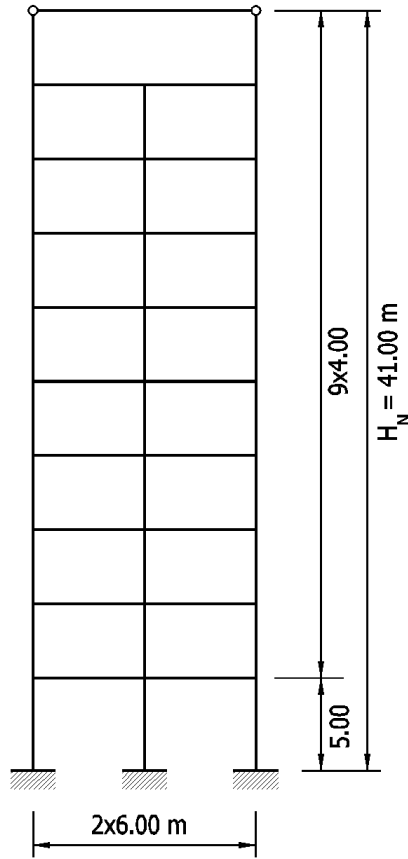
MBY kullanılmasının zorunlu olduğu bu tür binalarda MBY uygulamasından sonra (1a) ve (1b) denklemleri yardımı ile fiktif eşdeğer deprem yükleri hesaplanır. Bu yükler kullanılarak yeniden yapılan deprem hesaplarından sonra, düşey taşıyıcı elemanlara ait



mesnet tepkileri işaretli olarak elde edilir ve temel tabanında çekme gerilmeleri oluşan bölgeler saptanabilir.

### 5. SAYISAL ÖRNEK

10 katlı bir çerçevenin şematik kesiti ve boyutları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6: 10 katlı çerçeve

Beton elastisite modülü  $E_c = 3 \times 10^7$  kN/m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Kolon kesitleri Çizelge 2'de gösterildiği gibidir.

*Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi*

*Çizelge 2: Kolon kesitleri (cm×cm)*

Kat	Kolon	
	Kenar	Orta
10	30×30	–
9	30×30	30×30
8 – 7	40×40	40×40
6 – 5	40×50	50×50
4 – 3	40×60	60×60
2 – 1	40×70	70×70

Tüm giriş kesitleri 30×60 cm<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Kütlelerin düğüm noktalarında toplandığı kabul edilmiştir. Kenar ve orta akslardaki düğüm noktalarındaki kütleler, sırasıyla, 10 kNs<sup>2</sup>/m ve 20 kNs<sup>2</sup>/m'dir. Görüldüğü gibi, H<sub>N</sub> = 41.00 m > 40.00 m olduğu için MBY uygulanması gerekmektedir. Üst kat kolonlarının üst uçları mafsallı olduğu için de MBY sonuçları eşdeğer deprem yüklerine dönüştürülecektir.

A<sub>0</sub> = 0.30, T<sub>A</sub> = 0.15, T<sub>B</sub> = 0.40, R = R<sub>alt</sub> = 8 alınıp ilk 6 mod kullanılarak uygulanan MBY sonunda etkin kütle toplamı 0.974 (> 0.90) olarak bulunmuştur. MBY uygulamasından elde edilen kolon kesme kuvvetleri ile (1a) ve (1b) denklemleri ile bulunan fiktif yatay yükler Çizelge 3'te gösterilmiştir.

*Çizelge 3: Kesme kuvvetleri ve fiktif yükler (kN)*

Kat (i)	Kenar		Orta	
	V <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	V <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>
10	8.04	8.04	0.00	0.00
9	8.67	0.63	13.84	13.84
8	11.55	2.88	20.19	6.35
7	15.45	3.90	23.27	3.08
6	15.62	0.17	31.51	8.24
5	17.75	2.13	34.65	3.14
4	20.45	2.70	35.60	0.95
3	24.00	3.55	33.94	-1.66
2	19.37	-4.63	47.99	14.05
1	23.97	4.60	41.92	-6.07

Fiktif yatay yükler her katın üst ucundaki düğüm noktalarına etkiyen yüklerdir. Bu fiktif yükler (eşdeğer deprem yükleri) binaya yüklenerek deprem hesabı yinelenmiş ve MBY ile EDYY sonucunda elde edilen eğilme momentleri, kenar ve orta kolonlar için, sırasıyla, Çizelge 4 ve Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4: Kenar kolonlarda eğilme momentleri (kNm)

Kat	M (MBY)	M (EDYY)	Hata (%)
10	32.14	32.16	0.1
9	17.75	17.54	-1.2
8	24.60	24.57	-0.1
7	31.60	31.46	-0.4
6	32.08	31.84	-0.7
5	37.96	37.83	-0.3
4	44.00	43.66	-0.8
3	51.85	51.75	-0.2
2	48.13	48.36	0.5
1	97.52	97.97	0.5

Çizelge 5: Orta kolonlarda eğilme momentleri (kNm)

Kat	M (MBY)	M (EDYY)	Hata (%)
10	-	-	-
9	29.00	31.14	7.4
8	41.48	41.28	-0.5
7	48.20	48.43	0.5
6	66.23	66.42	0.3
5	69.70	69.76	0.1
4	71.92	72.34	0.6
3	71.09	71.27	0.3
2	102.12	102.68	0.5
1	170.59	171.27	0.4

### *Mod Birleştirme Yöntemi Sonuçlarının Eşdeğer Deprem Yüklerine Dönüştürülmesi*

Çizelgelerde her kolon için mutlak değerce daha büyük olan uç momenti göz önüne alınmış bulunmaktadır. MBY ve EDYY için elde edilmiş olan eğilme momentleri karşılaştırıldığında, aralarındaki farkların pratik uygulamalar için kabul edilebilecek mertebede küçük olduğu görülür. Her iki Çizelgenin son kolonunda EDYY için elde edilen değerlerin relatif hatası gösterilmiştir. Tüm eğilme momentleri için ağırlıklı ortalama relatif hata sadece  $\pm$  % 0.6 olarak hesaplanmıştır. EDYY için elde edilen kesme kuvvetleri için de hatalar aynı mertebededir.

Sonuç olarak önerilen yöntemle hesaplanan eşdeğer deprem yüklerinin yeterli doğrulukta olduğu ve bu örnek için DBYBHY Madde 2.5.5.3, paragraf (b) ve (c)'nin aynen uygulanabileceği anlaşılmaktadır.

## **6. SONUÇLAR**

Bu çalışmada MBY uygulamaları irdelenmiş ve elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. MBY bazı özel durumlarda uygulanamamaktadır. Bu durumlarda DBYBHY’te önerilen esasların nasıl uygulanacağı belirsizdir.
2. Temel tabanında çekme gerilmeleri oluşan yapılarda da, MBY uygulamalarında temel düzeyindeki tepkilerin işaretleri belli olmadığı için, çekme bölgelerini saptama olanağı yoktur.
3. Bu çalışmada MBY sonuçlarının eşdeğer deprem yüklerine dönüştürülmesi için basit bir yöntem geliştirilmiş ve sayısal bir örnek üzerinde uygulama yapılmıştır.
4. Önerilen yöntemin sayısal uygulamalarında elde edilen hataların pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilecek mertebede oldukları saptanmıştır.
5. MBY sonuçlarının eşdeğer deprem yüklerine dönüştürülmesi sayesinde, hem MBY uygulamasının gerekli olduğu koşullar, hem de yönetmelikte belirli özel durumlar için öngörülmüş olan süreçler yerine getirilmiş olmaktadır.

### **Kaynaklar**

- [1] “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- [2] Özmen, G., “Kolonları Üstten Mafsallı Binalarda Deprem Hesabı”, İstanbul Bülten, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Sayı: 90/2007, Mayıs-Haziran 2007.