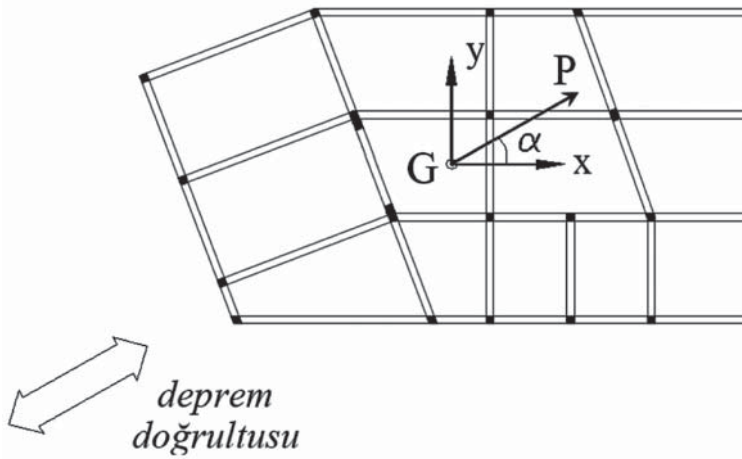


# Elverişsiz Deprem Doğrultuları İçin Yaklaşık Bir Çözüm

## 1. Giriş

Yapıların deprem etkilerine karşı boyutlandırılmasında kullanılan deprem karakteristiklerinde pek çok belirsizlik bulunduğu bilinmektedir. Bunlar arasında yer alanlardan biri de yapıyı etkilemesi olasılığı olan depremin doğrultusudur. Şekil 1'de bir yapının şematik kalıp planı ile olası deprem doğrultusu gösterilmiştir.



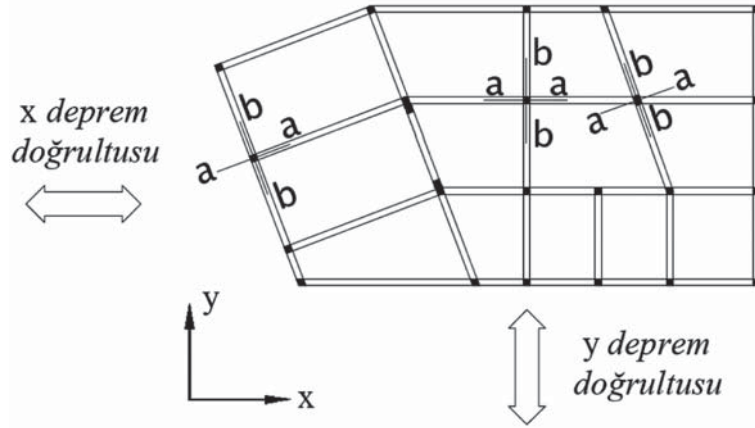
Şekil 1 - Olası deprem doğrultusu

Burada  $\alpha$  yatay deprem yükünün yatay x eksenine yaptığı açiyı göstermektedir. Deprem etkisi altında bulunan çok katlı yapılarda her eleman için kendine özgü ayrı bir elverişsiz deprem doğrultusu vardır, [1], [2]. Bu elverişsiz doğrultular elemanın konumuna, elastik ve geometrik özelliklerine ve diğer elemanlar ile ilişkilerine bağlıdır. Hemen tüm çağdaş dünya deprem yönetmeliklerinde deprem analizlerinin birbirine dik iki ayrı eksen doğrultusunda yapılması öngörülmektedir, [3]. Oysa herhangi bir tasarım büyüklüğünün maksimum değeri ortogonal eksenler için elde edilenlerden oldukça farklı açılarda ve daha yüksek değerlerde oluşabilmektedir, [2]. Özellikle iki eksenli eğilme etkisinde bulunan elemanlar (kolonlar) için elverişsiz tasarım doğrultularının saptanması hemen

hemen imkansızdır. İşte bu nedenle yönetmeliklerde elverişsiz doğrultuları yaklaşık olarak temsil eden ortak etki formülleri verilmiştir, [3]. Mart 2007’de yürürlüğe giren yeni “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”te (DBYBHY) de “Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler” başlığı altında ortogonal olan ve olmayan tüm elemanlar için “Ortak Etki” formülleri verilmiş bulunmaktadır, [4]. Buna göre, taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen  $x$  ve  $y$  doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının  $a$  ve  $b$  asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde

$$\begin{aligned} B_a &= \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} & \text{veya} & & B_a &= \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay} \\ B_b &= \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} & \text{veya} & & B_b &= \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by} \end{aligned} \quad (1)$$

denklemleri ile elde edilecektir, Şekil 2.



Şekil 2 - Deprem doğrultuları ve asal eksenler

Yapıların deprem hesapları sırasında, gerekli ek dışmerkezlilikler de göz önüne alınarak, gerekli tüm yüklem birleşimlerinin yapılması ve tasarımda en elverişsiz sonucu veren iç kuvvetlerin kullanılması gerekmektedir. Yazar tarafından yürütülen bir araştırma projesinde DBYBHY’te öngörülen ortak etki formüllerinin doğruluk mertebelerinin saptanmasına çalışılmıştır, [5]. Söz konusu projede elde edilmiş olan başlıca sonuçlar aşağıdadır:

- Gerekli ek dışmerkezlilikler de göz önüne alınarak iki doğrultuda 4 adet deprem yüklemesi yapılması ve toplam 64 adet yüklem birleşimi kullanılması gerekmektedir.
- DBYBHY’te öngörülen “Ortak Etki” formülleri pratik uygulamalar bakımından yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir.
- Kirişler için “Karelerin Toplamının Karekökü” yönteminin uygulanması halinde uç momentleri hatasız olarak elde edilmektedir.

Söz konusu araştırma projesinde kullanılan yöntem ve sonuçlar önceki bir yayında özetlenmiştir, [6]. Bu çalışmada ise, yine aynı araştırma projesinde çok sayıda deprem yüklemesi kullanılması ile ilgili olarak önerilen yöntem açıklanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

### 1.1 Temel Deprem Yüklemeleri ve Yüklem Birleşimleri

Yapıların deprem hesapları sırasında, gerekli ek dışmerkezlilikler de göz önüne alınarak, gerekli tüm yüklem birleşimlerinin yapılması ve tasarımda en elverişsiz sonucu veren iç kuvvetlerin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla yapılması gereken dört adet temel yüklem Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1** - Temel deprem yüklemeleri

Yükleme adı	Yükleme özelliği
EXP	x yönünde +%5 dışmerkezlikli
EXN	x yönünde -%5 dışmerkezlikli
EYP	y yönünde +%5 dışmerkezlikli
EYN	y yönünde -%5 dışmerkezlikli

Denklem (1) ile özetlenmiş olan tüm yükleme birleşimleri ile bu birleşimlerde kullanılacak katsayılar Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2** - Yükleme birleşimleri katsayıları

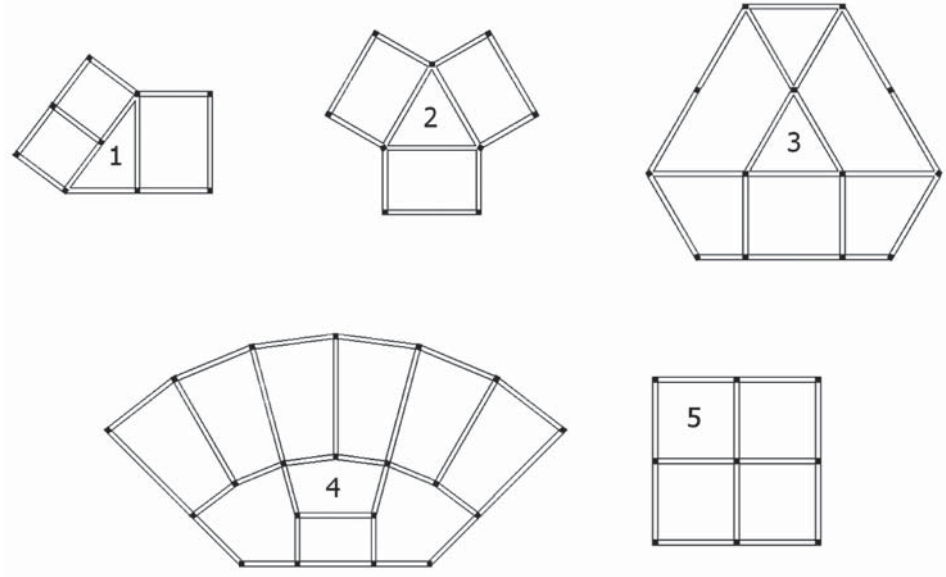
Birleşim No.	EXP	EXN	EYP	EYN	Birleşim No.	EXP	EXN	EYP	EYN
1	1		0.30		17	0.30		1	
2	1		-0.30		18	-0.30		1	
3	1			0.30	19		0.30	1	
4	1			-0.30	20		-0.30	1	
5	-1		0.30		21	0.30		-1	
6	-1		-0.30		22	-0.30		-1	
7	-1			0.30	23		0.30	-1	
8	-1			-0.30	24		-0.30	-1	
9		1	0.30		25	0.30			1
10		1	-0.30		26	-0.30			1
11		1		0.30	27		0.30		1
12		1		-0.30	28		-0.30		1
13		-1	0.30		29	0.30			-1
14		-1	-0.30		30	-0.30			-1
15		-1		0.30	31		0.30		-1
16		-1		-0.30	32		-0.30		-1

Böylece yapı tasarımlarında  $G + Q \pm E$  ve  $0.9G \pm E$  yüklemeleri için toplam 64 adet yükleme birleşimi yapılmış olacaktır. Kesit boyutlandırmalarında bu yükleme birleşimleri arasında en elverişsiz sonuçları verenler kullanılmalıdır.

Bu çalışmada önce yönetmeliklerde verilen ortak etki formüllerinin doğruluk mertebeleri özetlenecek, daha sonra elverişsiz iç kuvvetlerin saptanması için  $45^\circ$  artımlı yüklemeler içeren bir yöntem açıklanacaktır. Gerek ortak etki formüllerinin gerekse  $45^\circ$  artım uygulamasının doğruluk mertebelerinin saptanması için bir "Sayısal Deney" yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla belirli sayıda "Tipik Yapı" seçilip deprem doğrultuları parametrik olarak değiştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. İki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında bulunan kolonlar için ölçüt olarak donatı oranları alınmıştır. Tek eksenli eğilme etkisi altındaki kirişlerde ise sadece uç momentlerinin karşılaştırılması yeterli olmaktadır.

## 2. Tipik Yapılar

Araştırmanın uygulamada karşılaşılan yapıların olabildiğince geniş bir bölümünü kapsayabilmesi amacı ile seçilen, beş adet "Tipik Yapı"nın şematik kalıp planları Şekil 3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3** - Tipik Yapıların Şematik Kalıp Planları

Şekilde görüldüğü gibi, ilk dört örnekte taşıyıcı elemanların çoğu ortogonal olmayan elemanlardır. Ortak etki formüllerinin ortogonal yapılara uygulanmasını da irdelemek için seçilen Örnek 5'te ise tüm taşıyıcı elemanlar ortogondur.

## 2.1 Genel Özellikler ve Varsayımlar

Yukarıda belirtildiği gibi, uygulanan parametrik araştırma sırasında kolonlar için en elverişsiz donatı oranları, kirişler için uç kuvvetleri saptanıp yönetmelikteki ortak etki formüllerinin sonuçları irdelenecektir. İki eksenli eğilme momenti etkisinde bulunan kolonlarda, donatı oranı hesaplarının çok sayıda değişkene bağlı olduğu bilinmektedir. Kesite etkiyen eksenel kuvvet değeri, kesit boyutlarının oranı ve donatının kesit içindeki dağılımı başlıca faktörler (değişkenler) arasındadır. Bu çalışmada depremden meydana gelen eğilme momentlerinin karşılıklı etkisini diğer faktörlerden soyutlamak için bazı basitleştirici varsayımlar yapılmış bulunmaktadır. Parametrik araştırmalarda göz önüne alınan Tipik Yapıların tümü için geçerli olan en önemli özellikler ve varsayımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

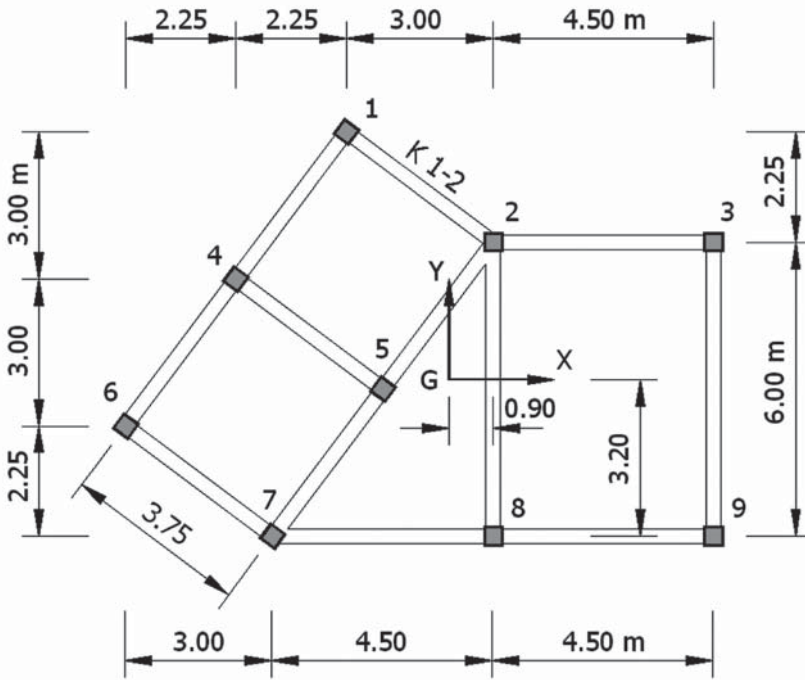
1. Seçilen örneklerde tüm düşey taşıyıcı elemanlar kolonlardır. Taşıyıcı perdeler içeren yapı sistemleri bu araştırmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.
2. Tüm kolonların kesitleri karedir ve 8 adet donatı kullanıldığı varsayılmıştır.
3. Tüm örneklerde malzeme kalitesi olarak beton C25 ve çelik BÇIII kullanılmıştır.
4. Tüm örnekler tek katlı olarak seçilmiş olup kat yükseklikleri 4.00 m'dir.
5. Donatı hesaplarında düşey yüklerden oluşan eğilme momentleri göz önüne alınmamıştır. Bu varsayımın nicesel sonuçları biraz değiştireceği, ancak karşılaştırmalara ve irdelemelere etkisinin ihmal edilebilecek nitelikte olduğu düşünülmektedir.
6. Tüm örnekler için, gerek eksenel kuvvet gerekse eşdeğer deprem yükü değerleri, kolon donatı oranları % 1~% 2 mertebesinde elde edilecek biçimde seçilmiştir. Gerçek eksenel kuvvet ve yatay yük değerleri kullanılmamıştır.
7. Eşdeğer deprem yükleri kat ağırlık merkezlerine etkilmiştir. Basitliği sağlamak amacı ile ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınmamıştır.
8. Seçilen örnekler ile ilgili parametrik araştırmalarda ve karşılaştırmalarda önce sadece kolonlar göz önüne alınmıştır. Deprem yüklemelerinin ortak etkileri bakımından daha özel ve basit nitelikte olan kirişlerin durumu ayrı bir bölümde incelenmiştir.

### 3. Parametrik Araştırma

Yukarıda belirtildiği gibi "Sayısal Deney" yönteminin uygulanmasında, belirli sayıda "Tipik Yapı" seçilip Şekil 1'de gösterilmiş olan deprem doğrultusu ( $\alpha$  açısı) parametrik olarak değiştirilmiş, kolonların her iki yöndeki eğilme momentleri ile bunlara karşı gelen donatı oranları hesaplanmış ve maksimum donatı oranı saptanmıştır. Bunun için P deprem yükünün X eksenine yaptığı  $\alpha$  açısı  $\alpha = 0, 5, 10, \dots, 180^\circ$  değerleri arasında değiştirilip her durum için analiz ve boyutlandırma hesapları yinelenmiştir. Yükleme birleşimlerinde P yükünün her iki yönde etkilediği göz önüne alınmış, böylece yük doğrultusu kapsamının  $360^\circ$  olması sağlanmıştır. Eğilme momentlerinin elde edilmesi ve donatı hesapları için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır, [7]. Analiz ve boyutlandırma işlemleri seçilen tipik yapıların tüm kolon ve kirişlerine uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Maksimum eğilme momentlerinin ve donatı oranlarının elde edilmesi için özel bir parabolik interpolasyon formülü uygulanmıştır. Bu hesapların ayrıntıları Kaynak [5]'te gösterilmiştir. Aşağıda seçilen tipik bir örnek üzerinde bu işlemlerin nasıl yapıldığı gösterilecek ve sonuçlar irdelenecektir.

### 4. Sayısal Uygulama

Örnek olarak seçilen Tip 1'e ait şematik kalıp planı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4 - Sayısal Uygulama Şematik Kalıp Planı

Yapının tüm kolonları  $30 \times 30 \text{ cm}^2$ , tüm kirişleri de  $25 \times 50 \text{ cm}^2$  olarak seçilmiş bulunmaktadır. Tek katlı olan yapının kat yüksekliği  $4.00 \text{ m}$ 'dir. Deprem hesaplarında yatay yük olarak  $P = 320 \text{ kN}$  kullanılmıştır. Bu yük şekilde G ile gösterilen kütle merkezine uygulanmaktadır. Kolon aksenal kuvvetleri Tablo 3'te gösterilmiştir.

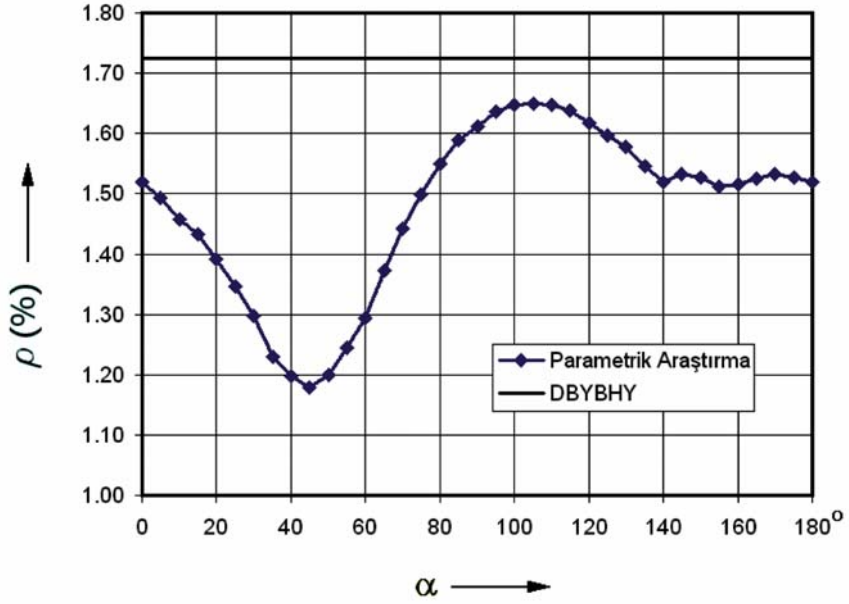
Yukarıda belirtildiği gibi, donatı hesaplarında düşey yüklerden oluşan eğilme momentleri göz önüne alınmayacaktır. Kolonlardaki maksimum donatı oranları parametrik araştırma ile saptanacaktır. Daha sonra yönetmelik hükümlerine göre elde edilen sonuçlar parametrik araştırma sonuçları ile karşılaştırılacaktır.

Tablo 3 - Kolon Aksenal Kuvvetleri

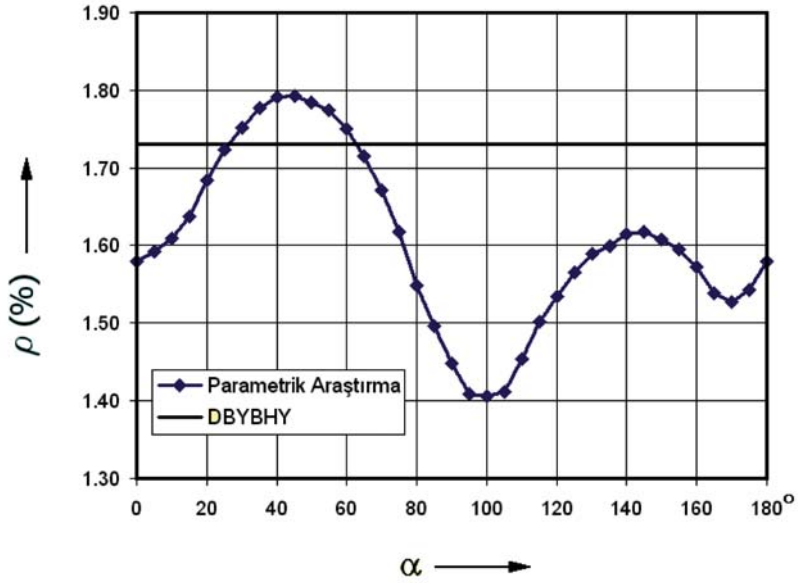
Kolon No.	N (kN)
1, 3, 6, 9	200
2, 4, 8	225
5	300
7	250

#### 4.1 Kolon No. 1

Örnek olarak seçilen Kolon No. 1 için, parametrik araştırmanın ayrıntıları aşağıda açıklanmıştır. Maksimum donatı oranını veren deprem doğrultusunu saptamak amacı ile, P yükü ile X eksenindeki açı  $\alpha = 0, 5, 10, 15, \dots, 180^\circ$  değerleri arasında değiştirilip yatay yükleme ve donatı hesapları yapılmıştır. Yükleme birleşimlerinde P yükünün her iki yönde etkidiği göz önüne alınmış bulunmaktadır. Kolon No. 1 için elde edilen donatı oranlarının değişimi Şekil 5 üzerinde grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5 - Kolon No. 1 Donatı Oranı Değişimi



Şekil 6 - Kolon No. 8 Donatı Oranı Değişimi

5° aralıklarla yapılan parametrik araştırma sonuçlarına uygulanan bir parabolik interpolasyon formülü yardımı ile, maksimum donatı oranı  $\alpha = 104.2^\circ$  için  $\rho = \%1.64$  olarak hesaplanmıştır. DBYBHY’teki ortak etki formülleri yardımı ile hesaplanan donatı oranı ise  $\rho = \% 1.73$  olup güvenli yönde  $\% 4.6$  hatalıdır.

#### 4.2 Kolon No. 8

Aynı örnekte Kolon No. 8 için elde edilen donatı oranlarının değişimi de Şekil 6 üzerinde grafik olarak gösterilmiştir.

Bu kolon için maksimum donatı oranı  $\alpha = 43.5^\circ$  için  $\rho = \%1.79$  olarak hesaplanmıştır. DBYBHY’teki ortak etki formülleri yardımı ile hesaplanan donatı oranı ise  $\rho = \% 1.73$  olup güvensiz yönde  $-\% 3.5$  hatalıdır.

#### 4.3 Tüm Kolonlarda Donatı Oranları ve Hatalar

Yukarıda açıklanan parametrik araştırma tüm tipik yapıların kolonlarına uygulanmıştır. Bu hesapların ayrıntıları adı geçen araştırma projesi raporunda verilmiş bulunmaktadır, [5]. Kolon donatı oranları için elde edilmiş olan hata oranı sonuçları Tablo 4’te özetlenmiştir.

**Tablo 4 - Tipik Yapı Kolonları için Hata Oranları**

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Genel
Maksimum Hata (%)	5.3	7.1	4.5	11.0	-1.4	11.0
Minimum Hata (%)	-3.5	-3.3	-3.0	-3.5	-8.2	-8.2
Ortalama Hata (%)	$\pm 3.6$	$\pm 5.3$	$\pm 2.8$	$\pm 2.7$	-2.9	$\pm 3.3$
Negatif Hata Sayısı	2/9	3/9	2/13	1/20	9/9	17/60

Bu değerlerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir:

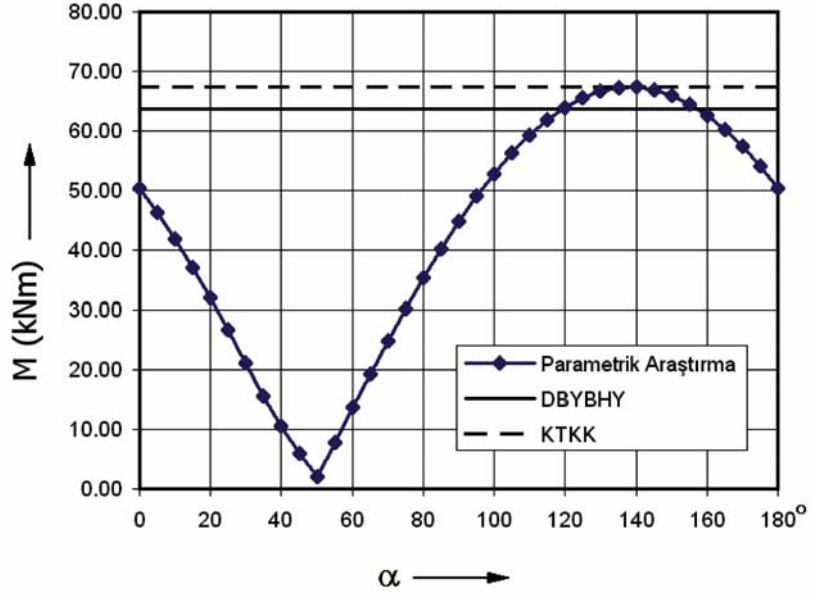
- Yönetmeliğe göre bulunan donatı yüzdelerindeki hatalar  $-\% 8.2 \sim \% 11.0$  arasında değişmektedir.
- Ortalama hata oranı  $\pm\% 3.3$  olarak hesaplanmıştır.
- 60 adet kolonun 17 tanesinde negatif (güvensiz) yönde hata bulunmaktadır.

Bu sonuçlar DBYBHY esaslarına göre elde edilen donatı oranlarındaki hataların pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilir mertebede olduğunu göstermektedir. Belirtmek gerekir ki, ortak etki formüllerindeki 0.30 katsayılarının 0.35 olarak değiştirilmesi durumunda hem negatif hata oranı değerlerinde hem de bunların sayılarında önemli ölçüde azalma olmaktadır, [5], [6].

#### 4.4 K1-2 Kirişi

Örnek olarak seçilen Şekil 4’teki K1-2 kirişine ait sol uç momentinin değişimi Şekil 7 üzerinde gösterilmiş bulunmaktadır. Parametrik araştırmada kiriş uç momentlerinin mutlak değerleri göz önüne alınmıştır.

5° aralıklarla yapılan parametrik araştırma sonuçlarına uygulanan parabolik interpolasyon formülü yardımı ile, maksimum uç momenti  $\alpha = 138.3^\circ$  için  $M = 67.35$  kNm olarak hesaplanmıştır. DBYBHY’teki ortak etki formülleri yardımı ile hesaplanan uç momenti ise  $63.74$  kNm olup  $-\%5.4$  hatalıdır. Şekilde kesikli çizgi ile gösterilen ve KTKK yöntemine göre hesaplanmış olan değer ise, beklendiği gibi, parametrik araştırmadan elde edilen değer ile özdeştir.



Şekil 7 - K 1-2 sol uç momenti değişimi

#### 4.5 Tüm Kirişlerde Uç Momentleri ve Hatalar

Parametrik araştırma tüm tipik yapıların kirişlerine de uygulanmıştır. Bu hesapların ayrıntıları da adı geçen araştırma projesi raporunda verilmiş bulunmaktadır, [5]. Kiriş uç momentleri için elde edilmiş olan hata oranı sonuçları Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5 - Tipik Yapı Kirişleri için Hata Oranları

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Genel
Maksimum Hata (%)	2.4	3.6	4.3	4.4	0.0	4.4
Minimum Hata (%)	-7.5	-1.8	-3.9	-7.7	0.0	-7.7
Ortalama Hata (%)	±2.6	±1.6	±2.3	±3.5	0.0	±2.2
Negatif Hata Sayısı	11/24	3/24	3/38	4/58	0/12	21/168

Görüldüğü gibi kirişler için de DBYBHY'teki ortak etki formüllerine göre elde edilen uç momentlerindeki hatalar pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilir mertebededir. Belirtmek gerekir ki, KTKK yönteminin uygulanması halinde tüm kiriş uç momentleri hatasız olarak elde edilebilmektedir, [1].

### 5. Elverişsiz Deprem Doğrultuları İçin Yaklaşık Bir Çözüm

Bu bölümde, x ve y doğrultularındaki temel yüklemelere ek olarak  $\alpha = 45^\circ$  ve  $\alpha = 135^\circ$  açılarında etkiyen temel yüklemeler de kullanılacak ve ortak etki formülleri kullanılmadan elverişsiz iç kuvvetlerin saptanmasına çalışılacaktır. Bu durum için tanımlanan 8 adet temel yükleme Tablo 6'da gösterilmiştir.

Yapı tasarımlarında  $G + Q \pm E$  ve  $0.9G \pm E$  yüklemeleri için bu yüklemeler  $\pm 1$  (bir) katsayısı ile doğrudan doğruya kullanılacaktır. Bu durumda ortak etki formüllerinin uygulanmasına gerek kalmaz ve toplam yükleme birleşimi sayısı 64 yerine 32 olur.



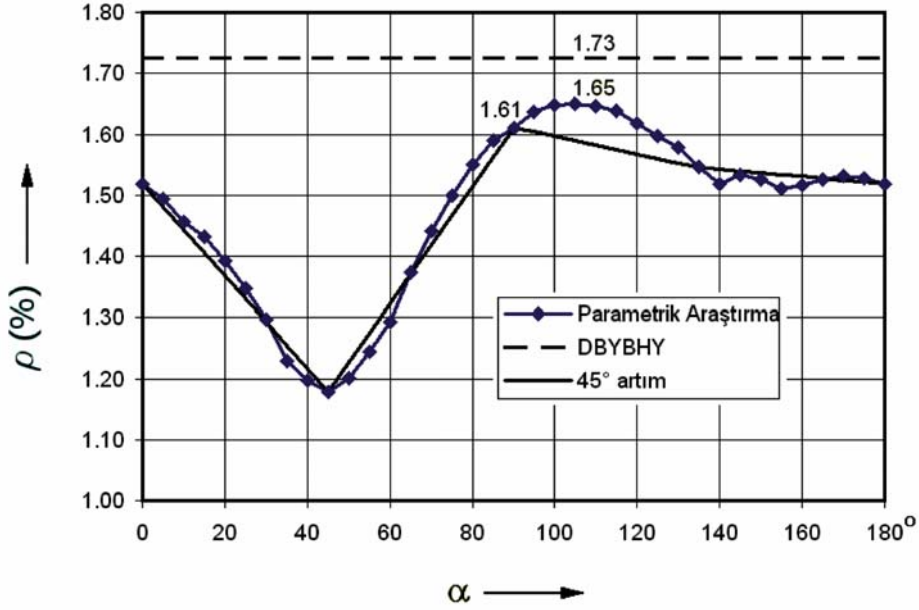
**Tablo 6 - Temel deprem yüklemeleri**

Yükleme adı	Yükleme özelliği
EXP	x yönünde +%5 dışmerkezlikli
EXN	x yönünde -%5 dışmerkezlikli
E45P	x eksenine ile 45° açı yapan yönde +%5 dışmerkezlikli
E45N	x eksenine ile 45° açı yapan yönde -%5 dışmerkezlikli
EYP	y yönünde +%5 dışmerkezlikli
EYN	y yönünde -%5 dışmerkezlikli
E135P	x eksenine ile 135° açı yapan yönde +%5 dışmerkezlikli
E135N	x eksenine ile 135° açı yapan yönde -%5 dışmerkezlikli

Aşağıda tüm tipik yapılar için, kolon donatı oranları ve kiriş uç momentleri ayrı ayrı ele alınarak 45° artım için elde edilen hata oranları incelenecektir. Bunun için yukarıda  $\Delta\alpha = 5^\circ$  için elde edilmiş olan değerler arasından 45° artıma karşı gelen değerlerin seçilmesi yeterli olmuştur.

### 5.1 Kolon No. 1

Şematik kalıp planı Şekil 4'de gösterilmiş bulunan Sayısal Örnek'teki Kolon No. 1 için elde edilmiş olan donatı oranı değişimi grafik olarak Şekil 8'de gösterilmiştir.

**Şekil 8 - Tip 1-Kolon No. 1 donatı oranı değişimi**

Görüldüğü gibi, bu kolonda 45° artım için maksimum donatı oranı  $\rho = \% 1.61$  olarak elde edilmektedir. Bu oran güvensiz yönde - % 2.4 hatalıdır. DBYBHY'teki ortak etki formülleri ile elde edilen sonuç ( $\rho = \% 1.73$ ) ise + % 4.6 hatalıdır.

### 5.2 Tüm Kolonlarda Donatı Oranlarındaki Hatalar

45°artım için kolon donatı oranlarındaki hata oranı sonuçları Tablo 7'de özetlenmiştir.

**Tablo 7** - Tipik Yapı Kolonlarındaki Donatılar için Hata Oranları

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Genel
Maksimum Hata (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Minimum Hata (%)	-2.4	-3.3	-3.6	-5.7	-1.1	-5.7
Ortalama Hata (%)	-1.0	-2.2	-1.3	-1.5	-0.5	-1.3
Negatif Hata Sayısı	6/9	6/9	12/13	18/20	4/9	46/60

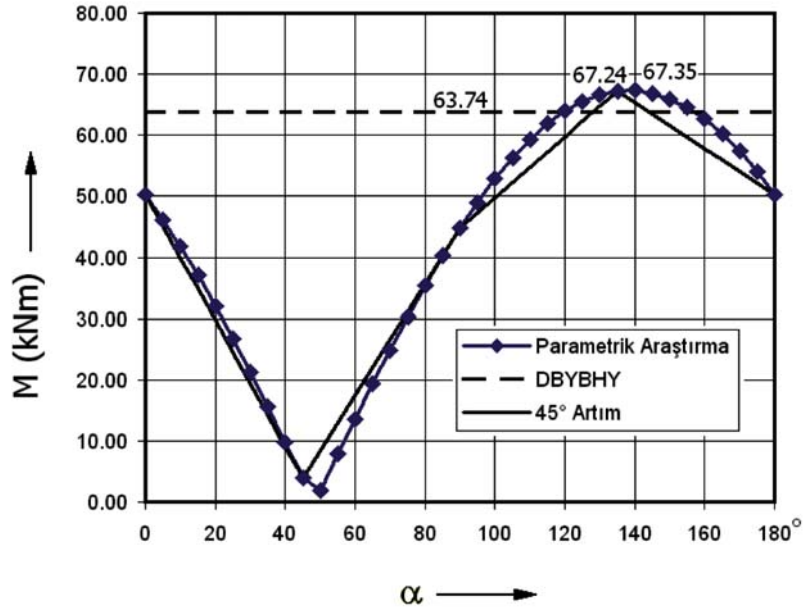
Bu değerlerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir:

- 45° artım için bulunan donatı yüzdelilerindeki hatalar -% 5.7 ~ % 0.0 arasında değişmektedir.
- Ortalama hata oranı -% 1.3 olarak hesaplanmıştır.
- 60 adet kolonun 46 tanesinde negatif (güvensiz) yönde hata bulunmaktadır.

Bu sonuçlar 45° artım için elde edilen donatı oranlarındaki hataların pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilir mertebede olduğunu göstermektedir. Hata oranları DBYBHY esaslarına göre elde edilmiş olanlardan daha düşüktür. Tek olumsuz nitelik bu uygulamadaki hataların tümünün negatif (güvensiz) yönde olmasıdır.

### 5.3 K1-2 Kirişi

Sayısal Örnek'teki K1-2 kirişine ait sol uç momentinin değişimi grafik olarak Şekil 9'da gösterilmiştir.

**Şekil 9** - K 101 sol uç momentini değişimi

Görüldüğü gibi, bu kirişte 45° artım için maksimum sol uç momentini  $M = 67.24$  kNm olarak elde edilmektedir. Bu oran güvensiz yönde - % 0.2 hatalıdır. DBYBHY'teki ortak etki formülleri ile hesaplanan değer ise - % 5.4 hatalı olarak elde edilmektedir.

### 5.4 Tüm Kirişlerde Uç Momentlerindeki Hatalar

45°artım için kiriş uç momentlerindeki hata oranı sonuçları Tablo 8'de özetlenmiştir.

**Tablo 8** - Tipik Yapı Kirişleri için Hata Oranları

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Genel
Maksimum Hata (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Minimum Hata (%)	-5.9	-6.0	-5.4	-5.8	0.0	-6.0
Ortalama Hata (%)	-0.8	-2.2	-2.4	-2.3	0.0	-1.8
Negatif Hata Sayısı	20/24	8/24	13/38	23/58	0/24	64/168

Bu değerlerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir:

- 45° artım için bulunan kiriş uç momentlerindeki hatalar -% 6.0 ~ % 0.0 arasında değişmektedir.
- Ortalama hata oranı -% 1.8 olarak hesaplanmıştır.
- 168 adet kolonun 64 tanesinde negatif (güvensiz) yönde hata bulunmaktadır.

Bu sonuçlar 45° artım için elde edilen uç momentlerindeki hataların pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilir mertebede olduğunu göstermektedir. Kiriş uç momentlerindeki hata oranları da DBYBHY esaslarına göre elde edilmiş olanlardan daha düşüktür. Bu hataların tümünün de negatif (güvensiz) yönde olması olumsuz niteliktedir.

## 6. Sonuçlar

Yukarıda özetlenen incelemelerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. DBYBHY’te öngörülen “Ortak Etki” formülleri pratik uygulamalar bakımından yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir.
2. Dört temel deprem yüklemesi yerine birbirinden 45° farklı doğrultularda sekiz adet deprem yüklemesi kullanılması halinde de pratik uygulamalar bakımından yeterli doğrulukta sonuçlar bulunabilmektedir. Bu durumda gerekli yüklem birleşimlerinin sayısı yarıya inmektedir.
3. Sekiz adet yüklem kullanılması durumunda ortak etki formüllerine göre daha düşük hatalar elde edilmektedir.
4. Sekiz adet yüklem kullanılması halinde ortaya çıkan hataların tümü negatif (güvensiz) yöndedir. Bu durum sakıncalı olarak nitelendirilebilir.
5. Kirişler için “Karelerin Toplamının Karekökü” yönteminin uygulanması halinde uç momentleri hatasız olarak elde edilmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Çakıroğlu, A., En Büyük Tesirleri Veren Deprem Doğrultularının Tayini, İ.T.Ü. Dergisi, Cilt 33, Sayı 3, 1975.
- [2] Özmen, G., Ortogonal Olmayan Yapılarda Maksimum Donatı Oranlarının Tayini, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, Cilt 16, Sayı 1, Ocak 2005.
- [3] Earthquake Resistant Regulations - A World List, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo 1996.
- [4] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- [5] Özmen, G., Deprem Etkisi Altında Tasarım İç Kuvvetleri, <http://www.yapistatigi.itu.edu.tr/raporlar/raporlar.html>.
- [6] Özmen, G., Deprem Etkisi Altında Tasarım İç Kuvvetleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl: 54/2009-5, Sayı: 457, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Aralık 2009.
- [7] SAP2000, Structural Analysis Program, CSI, Berkeley, ABD.