

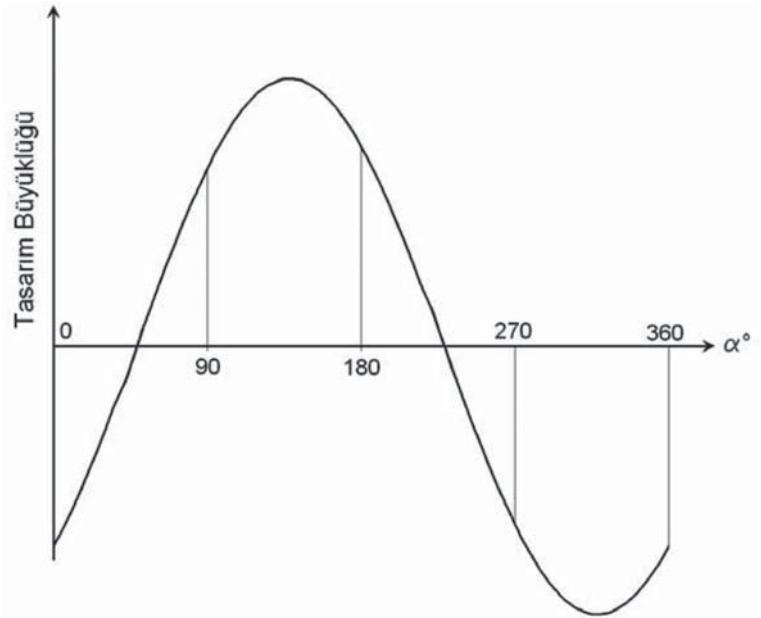
# Deprem Etkisi Altında Tasarım İç Kuvvetleri

## 1. Giriş

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. Herhangi bir taşıyıcı elemana ait tasarım iç kuvvetlerinden birinin deprem doğrultusuna bağlı olan değişimi Şekil 1’de şematik olarak gösterilmiştir.

Burada  $\alpha$ , yatay deprem yükünün yatay x eksenine yaptığı açığı göstermektedir. Hemen tüm çağdaş dünyaya deprem yönetmeliklerinde deprem analizlerinin birbirine dik iki ayrı eksen doğrultusunda yapılması öngörülmektedir, [3]. Oysa şekilde gösterildiği gibi, tasarım büyüklüğünün maksimum değeri ortogonal eksenler için ( $\alpha = 0, 90, 180, 270, 360^\circ$  için) elde edilenlerden oldukça farklı açılarda ve daha yüksek değerlerde oluşabilmektedir. 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.

Bir çok çağdaş dünya deprem yönetmeliğinde olduğu gibi, 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe girmiş olan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te (ABYYHY) de, “Asal Eksenleri Deprem Doğrultularına Paralel Olmayan” (Non-Ortogonal) elemanların tasarım iç hesabı için özel formüller verilmiş bulunmaktaydı, [4]. Ancak bu formüllerin uygulanmasında özellikle kolonların asal eksenleri için elde edilen değerlerin karşılıklı etkilerinin nasıl göz önüne alınacağı açıkça belirtilmemiştir. Elverişsiz deprem doğrultularını saptamak ve

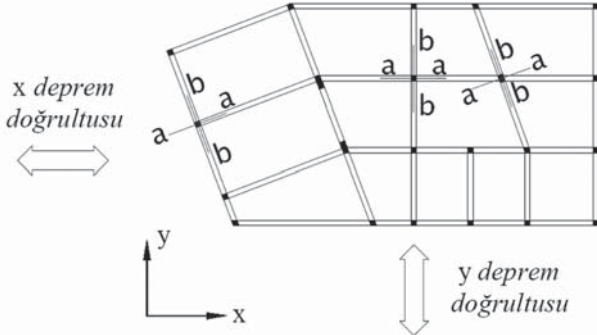


Şekil 1 - Tasarım büyüklüklerinin değişimi

ABYYHY’te verilen formülleri irdelemek amacı ile yapılan bir çalışmada yönetmeliklerdeki belirsizlikler ortaya konmuş ve yeni bazı formüller önerilmiştir, [2]. Mart 2007’de yürürlüğe giren yeni “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”te (DBYBHY) ise “Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler” başlığı altında ortogonal olan ve olmayan tüm elemanlar için yeni “Ortak Etki” formülleri verilmiş bulunmaktadır, [5]. 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

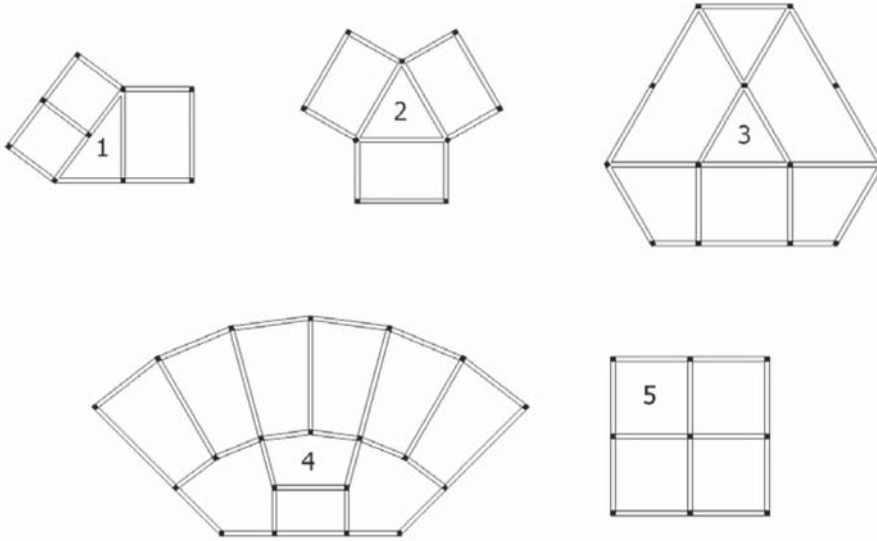
Yapıların deprem hesapları sırasında, gerekli ek dışmerkezlilikler de göz önüne alınarak, Denklem (1) ile özetlenmiş olan tüm yükleme birleşimlerinin yapılması ve tasarımda en elverişsiz sonucu veren iç kuvvetlerin kullanılması gerekmektedir.

DBYBHY hükümlerine göre (1) denklemi ortogonal olan ve olmayan tüm taşıyıcı sistem elemanları için geçerlidir. Bu da daha önce yapılan bir araştırmada elde edilmiş önemli sonuçlardan birinin yönetmeliğe doğru olarak yansıtılmış olduğunu gösterir niteliktedir, [2].

Bu çalışmada bir “Sayısal Deney” yöntemi kullanılarak yönetmeliklerde verilen ortak etki formüllerinin doğruluk mertebelerinin saptanmasına çalışılacaktır. Bu amaçla belirli sayıda “Tipik Yapı” seçilip deprem doğrultuları parametrik olarak değiştirilecek ve sonuçlar irdelenecektir. 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 belirttiği gibi, uygulanan parametrik araştırma sırasında kolonlar için en elverişsiz donatı oranları, kirişler için uç kuvvetleri saptanıp yö-

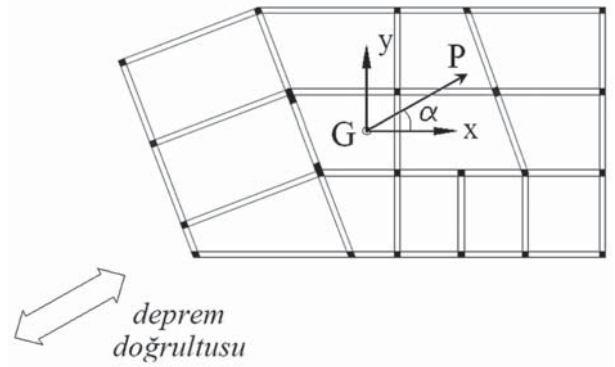
netmelikteki ortak etki formüllerinin sonuçları irdelenecektir. İki eksenli eğilme momenti etkisinde bulunan kolonlarda, donatı oranı hesaplarının çok sayıda değişkene bağlı olduğu bilinmektedir. Kesite etkiyen eksenel kuvvet değeri, kesit boyutlarının oranı ve donatının kesit içindeki dağılımı başlıca 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 irdemelere 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 dış merkezlik 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.

Parametrik araştırma sonuçlarının genelleştirilebilmesi için, bu varsayımların önemli bir bölümünün ayrıca irdelenmesi gerekir. Özellikle;

- Perde içeren yapı sistemleri,
- Değişik kesit oranları olan dikdörtgen kolonlu sistemler,
- Kesit içinde değişik donatı dağılımları,
- Çok katlı yapı sistemleri,
- Düşey yüklerden oluşan kesit zorları,
- Gerçek eksenel kuvvet değerleri ile gerçek deprem yükleri

ayrıca ele alınıp incelenmesi gereken konular ve parametrelerdir. Araştırmaların bu konuları da kapsayacak biçimde geliştirilmesi çok yararlı olacaktır.

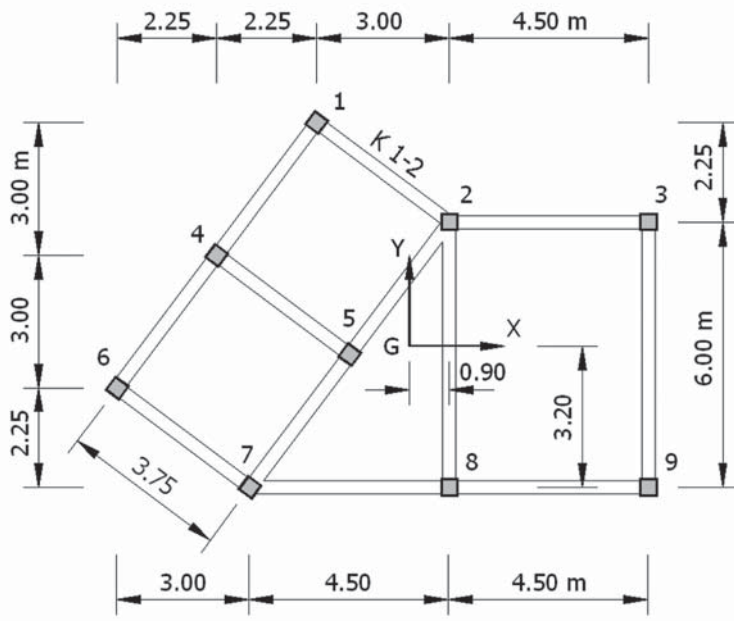


Şekil 4 - Parametrik araştırma için yükleme

### 3. Parametrik Araştırma

Yukarıda belirtildiği gibi "Sayısal Deney" yönteminin uygulanmasında, belirli sayıda "Tipik Yapı" seçilip deprem doğrultusu parametrik olarak değiştirilmiş, kolonların her iki yöndeki eğilme momentleri ile bunlara karşı gelen donatı oranları hesaplanmış ve maksimum donatı oranı saptanmıştır, Şekil 4.

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. Donatı hesapları ile ilgili yükleme birleşimlerinde P yükünün her iki yönde etkidiği göz önüne alınmış, böylece yük doğrultusu kapsamının  $360^\circ$  olması sağlanmıştır. Eğilme momentlerinin elde edilmesi ve donatı hesapları için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır, [6]. Analiz ve boyutlandırma işlemleri seçilen tipik yapıların tüm kolonlarına uygulanmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Aşağıda seçilen basit bir örnek üzerinde bu işlemlerin nasıl yapıldığı gösterilecek ve sonuçlar irdelenecektir.



Şekil 5 - Sayısal Uygulama Şematik Kalıp Planı

Tablo 1 - Kolon Eksenel Kuvvetleri (kN)

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

#### 4. Sayısal Uygulama

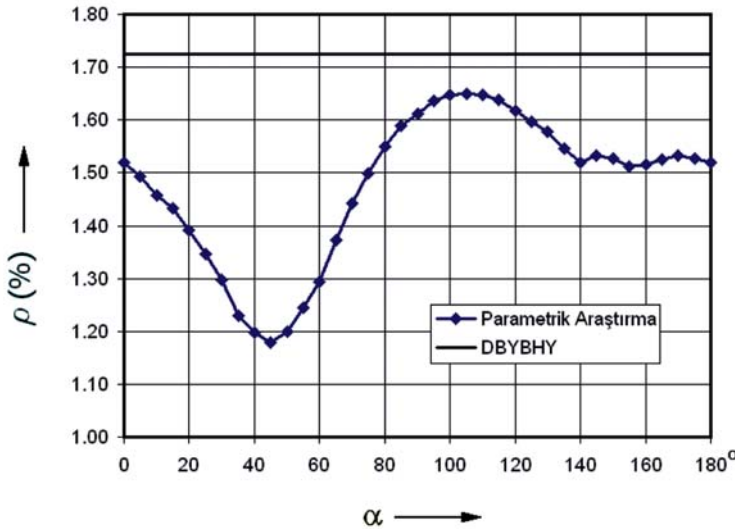
Örnek olarak seçilen Tip 1'e ait şematik kalıp planı Şekil 5'te gösterilmiştir.

Yapının tüm kolonları 30x30 cm<sup>2</sup>, tüm kirişleri de 25x50 cm<sup>2</sup> olarak seçilmiş bulunmaktadır. Tek katlı olan yapının kat yüksekliği 4.00 m'dir. Deprem hesaplarında yatay yük olarak P = 320 kN kullanılmıştır. Bu yük şekilde G ile gösterilen kütle merkezine uygulanmaktadır. Kolon eksenel kuvvetleri Tablo 1'de 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.

##### 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 yüklemeye ve donatı hesapları yapılmıştır. Yükleme birleşimlerinde P yükünün her iki yönde etki ettiği göz önüne alınmış bulunmaktadır. Kolon No. 1 için elde edilen donatı oranlarının değişimi Şekil 6 üzerinde grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 6 - Kolon No. 1 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 7 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

Tip 1'e ait tüm kolonların donatı oranları, en elverişsiz yüklemeye açıları, DBYBHY'ten elde edilen donatı oranları benzer biçimde hesaplanmıştır. Sonuçlar hata oranları ile birlikte Tablo 2 üzerinde gösterilmiştir.

Tablonun incelenmesinden görüldüğü gibi, özellikle maksimum donatı oranları için hesaplanan  $\alpha$  açıları çok değişkendir. Yukarıda belirtildiği gibi, kolonlar için bu açıları çok çeşitli faktörlere bağlı olup kapalı bir formülle ifade edilmeleri çok zordur. Bu nedenle yönetmeliklerde elverişsiz deprem doğrultularının etkisi yaklaşık "Ortak Etki" bağıntıları ile ifade edilmektedir. Tabloda DBYBHY'teki esaslara göre bulunan donatı yüzdeleri ile bunlara karşı gelen hata oranları da gösterilmiştir. Bu değerlerin incelenmesi sonunda, bu örnek için, DBYBHY esaslarına göre elde edilen donatı oranlarının pratik uygulamalar bakımından uygun olduğu sonucuna varılabilir.

### 5. Tipik Yapı Kolonları İçin Hata Oranları

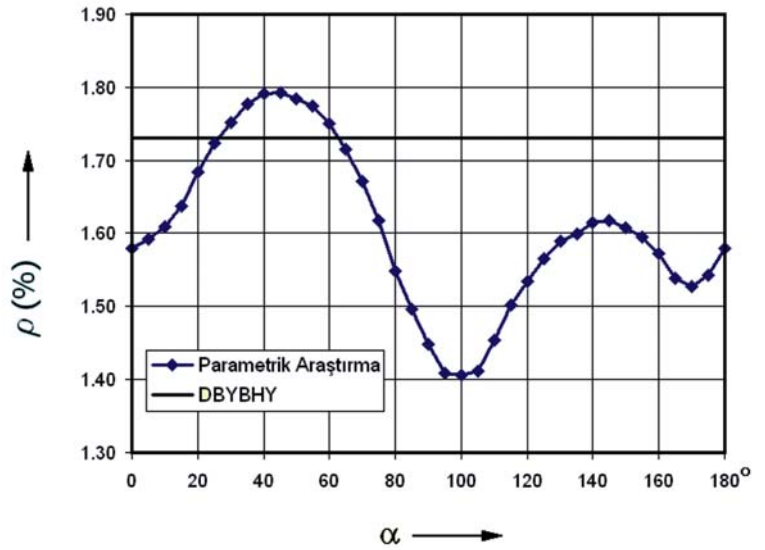
Yukarıda Örnek 1 kolonları için yapılan parametrik hesaplar ve irdelemeler tüm tipik yapıların kolonlarına uygulanmıştır. Ayrıntıları verilmeyen bu hesaplar sonunda elde edilen hata oranları Tablo 3'te görülmektedir.

Bu değerlerin incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yönetmeliğe göre bulunan donatı yüzdelerindeki hatalar -% 8.2 ~ % 11.0 arasında değişmektedir.
- Ortalama hata oranı  $\pm 3.3$  olarak hesaplanmıştır.
- 60 adet kolonun sadece 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.

Tipik yapı kolonlarına ait sonuçların incelenmesi ilgi çekici bir özelliği ortaya çıkarmıştır. Bu da ilk 4 tipe ait negatif (güvensiz) yönde hatalı olan kolonların hemen tümünün ortogonal olmasıdır. Zaten bu yüzden tüm elemanları ortogonal olan Tip 5 de inceleme kapsamı içine alınmış bulunmaktadır. Tip 5 kolonlarında da ortak etkinin göz önüne alınmış olmasına karşın, Tablo 3'te görüldüğü gibi, bunların tümü negatif (güvensiz) yönde hatalıdır. Ortak etki göz önüne alınmadan yapılan hesaplarda elde edilen hatalar Tablo 4'te ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 7 - Kolon No. 8 Donatı Oranı Değişimi

Tablo 2 - Tip 1 Kolonları İçin Donatı Oranları

Kolon No.	Parametrik Araştırma Donatı Yüzdesi	$\alpha$ (derece)	DBYBHY Donatı Yüzdesi	Hata (%)
1	1.65	104.2	1.73	4.6
2	1.81	128.4	1.79	-1.3
3	1.79	123.1	1.89	5.2
4	1.63	1.8	1.68	3.1
5	1.64	13.1	1.73	5.3
6	1.64	5.2	1.69	3.0
7	1.74	13.1	1.82	4.4
8	1.79	43.5	1.73	-3.5
9	1.96	51.8	1.99	1.8

Tablo 3 - Tipik Yapı Kolonları İçin 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

Tablo 4 - Ortak Etkinin Göz Önüne Alınmaması Durumunda Tip 5 Kolonları İçin Hata Oranları

	Tip 5
Maksimum Hata	-10.4
Minimum Hata	-17.7
Ortalama Hata	-12.5

Görüldüğü gibi, ortak etkinin göz önüne alınmaması halinde hatalar daha da büyümektedir. Sonuç olarak DBYBHY’te öngörüldüğü gibi, ortak etkinin ortogonal olan ve olmayan tüm elemanlarda göz önüne alınmasının doğru ve gerekli bir yaklaşım olduğu anlaşılmaktadır.

## 6. Düzeltilmiş Ortak Etki Formülü

Tipik yapıların kolonlarının bir bölümünde elde edilmiş olan negatif (güvensiz) yöndeki hataların giderilebilmesi amacı ile ortak etki formülünde küçük bir değişiklik yapılması ve formüldeki 0.30 katsayısının 0.35 olarak değiştirilmesi düşünülmüştür. Buna göre yükleme birleşimlerinde (1) denklemini yerine

$$\begin{aligned} B_a &= \pm B_{ax} \pm 0.35 B_{ay} & \text{veya} & & B_a &= \pm 0.35 B_{ax} \pm B_{ay} \\ B_b &= \pm B_{bx} \pm 0.35 B_{by} & \text{veya} & & B_b &= \pm 0.35 B_{bx} \pm B_{by} \end{aligned} \quad (1a)$$

denklemini kullanılacaktır. Bu yeni ortak etki formülü uygulanarak yapılan hesaplar sonunda elde edilen hata oranları Tablo 5’te görülmektedir.

Tablo 5 - Kolonlarda Düzeltilmiş Ortak Etki Formülü için Hata Oranları

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Genel
Maksimum Hata	10.0	9.4	6.2	6.9	1.4	10.0
Minimum Hata	-0.8	0.4	-0.2	-0.2	-2.6	-2.6
Ortalama Hata	±5.0	+5.9	±4.6	±4.0	±1.3	±4.2
Negatif Hata Sayısı	1/9	0/9	2/13	1/20	1/9	5/60

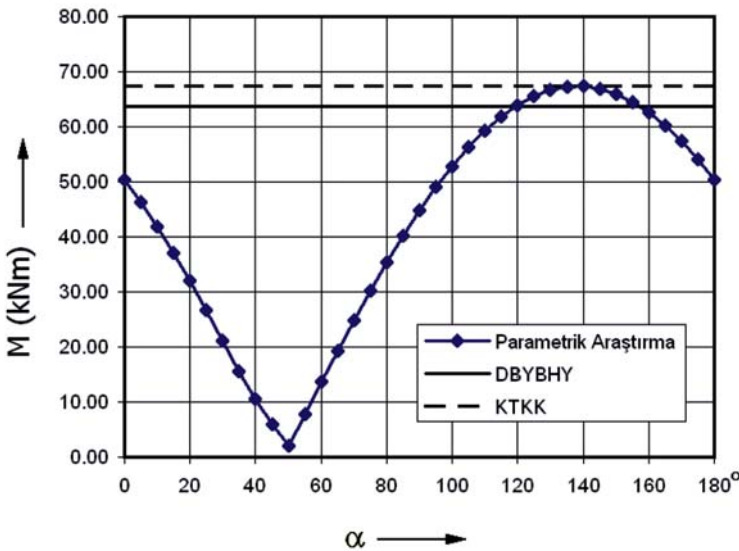
Bu durumda hata oranlarında büyük bir değişiklik olmadığı, ancak hem negatif hata oranı değerlerinde hem de bunların sayılarında önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir. Yönetmeliklerde ortak etki formülünün bu değiştirilmiş biçiminin kullanılması salık verilebilir.

## 7. Kiriş Uç Momentleri

Tek eksenli eğilme etkisinde bulunan kirişler için elverişsiz deprem momentlerinin saptanması kolonlar için olduğu kadar karmaşık değildir. Hatta daha 1975 yılında bu değerlerin “Karelerin Toplamının Karekökü” (KTKK) yöntemi ile kesin olarak hesaplanabilecekleri gösterilmiştir. Buna göre herhangi bir B uç kuvvetinin en elverişsiz değeri, x ve y doğrultularındaki deprem hesaplarından elde edilen Bx ve By uç kuvvetlerine bağlı olarak

$$B = \pm \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (2)$$

denklemini ile hesaplanabilmektedir, [1].



Şekil 8 - K 1-2 Uç Momenti Değişimi

Bu çalışmanın amacı DBYBHY’te verilen hesap düzeninin irdelenmesi olduğu için, kiriş uç momentlerinin maksimum değerlerinin saptanması ve ortak etki formüllerindeki hata oranlarının hesaplanması yine yukarıda açıklanan parametrik araştırma yöntemi ile yapılacaktır. Aşağıda, sırası ile örnek olarak seçilen bir kiriş için uygulanan parametrik araştırmanın ayrıntıları ve tüm tipik yapı kirişleri için elde edilen hata oranları açıklanacaktır.

### 7.1 Örnek Kiriş Uç Momentleri için Parametrik Araştırma

Örnek olarak seçilen Tip 1 K 1-2 kirişi Şekil 5 üzerinde gösterilmiş bulunmaktadır. Parametrik araştırmada kiriş uç momentlerinden mutlak değerce daha

büyük olanı göz önüne alınmıştır. K 1-2 kirişi için elde edilen uç momenti değişimi Şekil 8 üzerinde grafik olarak gösterilmiştir. 5° aralıklarla yapılan parametrik araştırma sonuçlarına uygulanan bir 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 özdeşdir.

## 7.2 Tipik Yapılarda Kiriş Uç Momentleri

Kolonlar için olduğu gibi, parametrik hesaplar ve irdelemeler tüm tipik yapıların kirişlerine uygulanmıştır. Ayrıntıları verilmeyen bu hesaplar sonunda elde edilen hata oranları Tablo 6’da görülmektedir.

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 edilmektedir.

Düzeltilmiş ortak etki formüllerinin kullanılması durumunda kiriş uç momentlerindeki hata oranlarında da büyük bir değişiklik olmadığı, ancak negatif hata oranı değerlerinde ve sayılarında önemli ölçüde azalma olduğu görülmektedir.

Tablo 6 - Tipik Yapı Kirişleri için Hata Oranları

	Tip 1	Tip 2	Tip 3	Tip 4	Tip 5	Genel
Maksimum Hata	3.1	3.3	4.3	4.4	0.0	4.4
Minimum Hata	- 5.4	0.2	-1.9	-7.7	0.0	-7.7
Ortalama Hata	$\pm 2.0$	$\pm 1.9$	$\pm 2.2$	$\pm 3.2$	0.0	$\pm 2.2$
Negatif Hata Sayısı	5/12	0/12	4/19	4/29	0/12	13/84

## 8. Sonuçlar

Yukarıda ele alınan tipik yapıların parametrik incelenmesinden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. DBYBHY’te öngörülen “Ortak Etki” formülleri pratik uygulamalar bakımından yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir.
2. Formüllerin uygulamasında ortaya çıkan hatalar iki yönlü olup düşük düzeydedir. Az sayıda bazı elemanlar için negatif (güvensiz) hata oranları elde edilmiştir.
3. Ortak Etki Formüllerindeki 0.30 katsayıları yerine 0.35 değerinin kullanılması halinde hata mertebeleri çok değişmemekte, fakat güvensiz yöndeki hatalar önemli oranda azalmaktadır.
4. Kirişler için “Karelerin Toplamının Karekökü” yönteminin uygulanması halinde uç momentleri hatasız olarak elde edilmektedir.

### Semboller

- B : tasarım iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_a$  : a asal eksenli doğrultusundaki tasarım iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_b$  : b asal eksenli doğrultusundaki tasarım iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_{ax}$  : a asal eksenli doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_{ay}$  : a asal eksenli doğrultusunda, y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_{bx}$  : b asal eksenli doğrultusunda, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_{by}$  : b asal eksenli doğrultusunda, y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_x$  : x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü,  
 $B_y$  : y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü.  
 $\alpha$  : yatay deprem yükünün yatay x eksenine yaptığı açı

### 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] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Ağustos 1997.
- [5] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- [6] SAP2000, Structural Analysis Program, CSI, Berkeley, ABD.