

Çok Katlı Yapılarda Elverişsiz Deprem Doğrultuları

1. Giriş

Deprem etkisi altında bulunan çok katlı yapılarda her eleman için kendine özgü ayrı bir elverişsiz deprem doğrultusu vardır, [1], [2], [3], [4]. 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, [5]. Oysa tasarım büyüklüğünün maksimum değeri ortogonal eksenler için elde edilenlerden oldukça farklı açılarda ve daha yüksek değerlerde oluşabilmektedir, [3], [4]. Özellikle iki eksenli eğilme etkisinde bulunan elemanlar (kolonlar) için elverişsiz tasarım doğrultularının saptanması hemen hemen imkânsızdır. İşte bu nedenle yönetmeliklerde elverişsiz doğrultuları yaklaşık olarak temsil eden "Ortak Etki" formülleri verilmiştir.

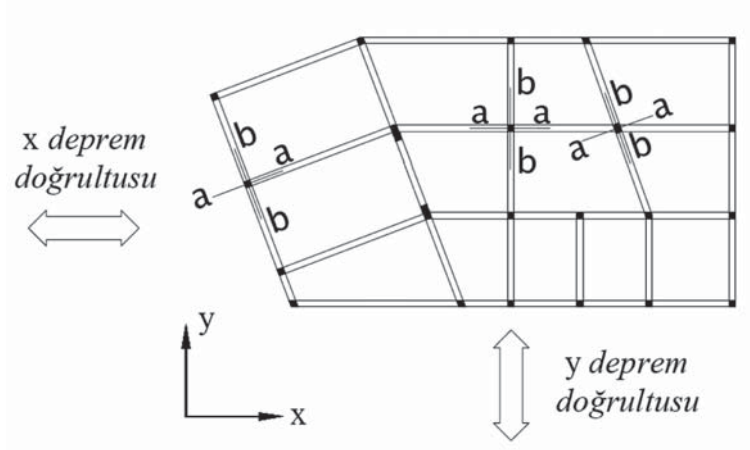
Birçok çağdaş dünya deprem yönetmeliğinde olduğu gibi, Mart 2007'de yürürlüğe giren yeni "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik"te (DBYBHY) ise "Eleman Asal Eksen Doğrultularındaki İç Kuvvetler" başlığı altında ortogonal olan ve olmayan tüm elemanlar için yeni "Ortak Etki" formülleri verilmiş bulunmaktadır, [6]. 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 1.

Yapıların deprem hesapları sırasında, ek dışmerkezlikler de göz önüne alınarak, gerekli tüm yüklem birleşimlerinin yapılması ve tasarımda en elverişsiz sonucu veren iç kuvvetlerin kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla x ve y doğrultularında $\pm 5\%$ dışmerkezlik içeren dört adet temel yüklem yapılması gerekmektedir. Yapı tasarımlarında kullanılacak olan $G + Q \pm E$ ve $0.9G \pm E$ yüklemelerinde denklem (1) ile özetlenmiş olan tüm elverişsiz yüklemeleri gerçekleştirmek için de 64 adet yüklem birleşimi uygulamak gerekir, [3].

Daha önce yapılan bir araştırmada bir "Sayısal Deney" yöntemi kullanılarak yönetmeliklerde verilen ortak etki formüllerinin doğruluk mertebelerinin saptanmasına çalışılmıştır, [3]. Bu amaçla 5 adet



Şekil 1 - Deprem doğrultuları ve asal eksenler

“Tipik Yapı” seçilip deprem doğrultuları parametrik olarak değiştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir. O çalışmada

- Tüm örnekler tek katlı olarak seçilmiştir.
- Tüm düşey taşıyıcı elemanlar kolonlardır. Taşıyıcı perdeler içeren yapı sistemleri göz önüne alınmamıştır.
- Tüm kolonların kesitleri karedir.
- Donatı hesaplarında düşey yüklerden oluşan eğilme momentleri göz önüne alınmamıştır.
- Gerçek aksenal kuvvet ve yatay yük değerleri kullanılmamıştır.
- Ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınmamıştır.

Söz konusu araştırmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

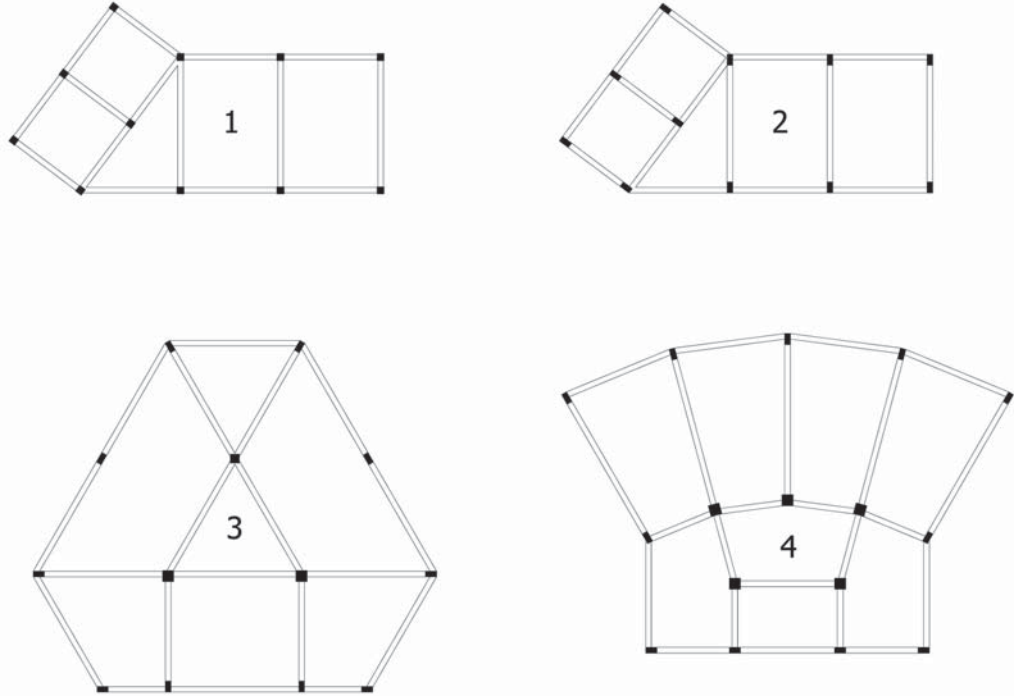
- DBYBHY’te öngörülen “Ortak Etki” formülleri pratik uygulamalar bakımından yeterli doğrulukta sonuçlar vermektedir.
- Dört temel deprem yüklemesi yerine birbirinden 45° farklı doğrultularda sekiz adet deprem yüklemesi kullanılması halinde de doğru sayılabilecek sonuçlar elde edilmektedir.
- Sekiz adet yükleme kullanılması halinde ortaya çıkan hataların tümü negatif (güvensiz) yöndedir. Bu durum sakıncalı olarak nitelendirilebilir.

Belirtmek gerekir ki, bu sonuçların elde edilmesinde yukarıda sıralanan varsayımların etkileri küçümsenecek nitelikte değildir. Araştırma sonuçlarının genelleştirilebilmesi için, bu varsayımların önemli bir bölümünün ayrıca irdelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada yine bir “Sayısal Deney” yöntemi kullanılarak çok katlı yapılarda ortak etki formüllerinin doğruluk mertebelerinin saptanmasına çalışılacaktır. Bu amaçla belirli sayıda “Tipik Yapı” seçilip deprem doğrultuları parametrik olarak değiştirilecek ve sonuçlar irdelenecektir. Doğruluk mertebelerinin saptanması için ölçüt olarak donatı oranları alınmıştır.

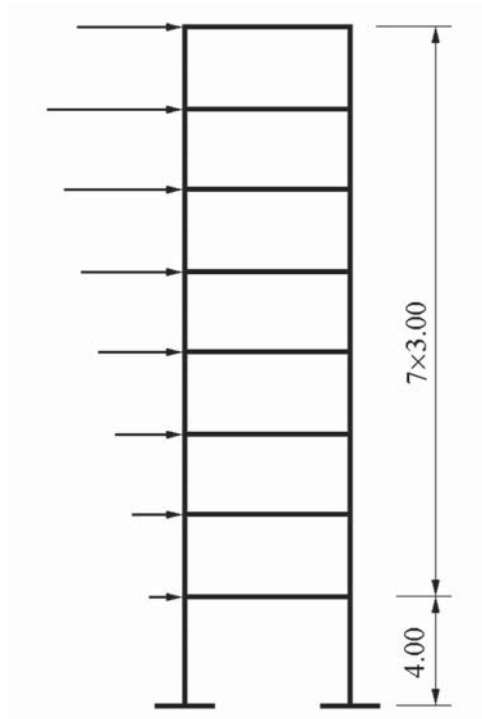
2. Tipik Yapılar

Araştırmanın uygulamada karşılaşılan yapıların olabildiğince geniş bir bölümünü kapsayabilmesi amacı ile seçilen, dört adet “Tipik Yapı”nın şematik kalıp planları Şekil 2’de gösterilmiştir.

Tip 1’in tüm kolonları kare, Tip 2’ninkiler ise dikdörtgen olarak seçilmiştir. Tip 3 ve 4’te ise hem kare hem de dikdörtgen kolonlar bulunmaktadır. Şekil 3’teki şematik kesitte gösterildiği gibi, tüm Tipik Yapılar 8 katlı olarak seçilmiştir.



Şekil 2 -Tipik yapıların şematik kalıp planları



Şekil 3 -Tipik yapıların şematik kesitleri

2.1 Genel Özellikler ve Varsayımlar

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 kolonlar için köşelere ve kenar ortalarına yerleştirilmiş 8 adet donatı kullanıldığı varsayılmıştır.
3. Tüm örneklerde malzeme kalitesi olarak beton C25 ve çelik BÇIII kullanılmıştır.
4. Eşdeğer deprem yükleri kat ağırlık merkezlerine etkilmiştir. Basitliği sağlamak amacı ile ek dışmerkezlik etkileri göz önüne alınmamıştır.

Tüm tipik yapı elemanları önce DBYBHY esaslarına uygun olarak boyutlandırılmıştır. Bu boyutlandırmalarda kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir:

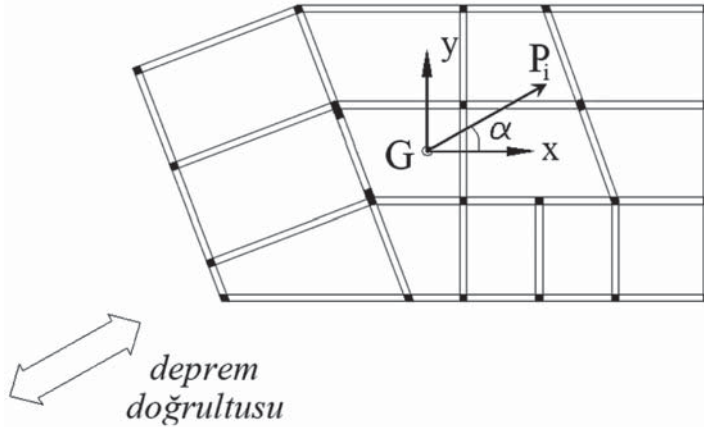
Döşeme ölü yükü	$g = 3.80 \text{ kN/m}^2$	
Döşeme hareketli yükü	$q = 3.50 \text{ kN/m}^2$	
Etkin yer ivmesi katsayısı	$A_0 = 0.30$	(2. derece deprem bölgesi)
Karakteristik zemin periyodu	$T_B = 0.40$	(Z2 türü yerel zemin sınıfı)
Bina önem katsayısı	$I = 1$	(Konu veya büro)
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	$R = 8$	(Süneklik düzeyi yüksek)

Elverişsiz deprem doğrultularının saptanması için yapılan parametrik çalışmada kesit zorlarının elde edilmesi ve donatı hesapları için SAP2000 yazılımı kullanılmıştır, [7]. Bu çalışma sırasında donatı değerlerinin olabildiğince yüksek çıkması ve minimum donatılı eleman sayısının azaltılması amacı ile, etkin yer ivmesi katsayısının iki katı ($A_0 = 0.60$) kullanılmış bulunmaktadır.

3. Parametrik Araştırma

Yukarıda belirtildiği gibi, tüm Tipik Yapılar için deprem doğrultusu parametrik olarak değiştirilmiş ve tüm elemanlar için maksimum donatı oranları saptanmıştır, Şekil 4.

Parametrik araştırma sırasında deprem doğrultusunu belirleyen α açısı $\Delta\alpha$ artımları ile 0° ile 360° derece arasında değiştirilerek analiz ve boyutlandırma işlemleri yapılmıştır. Kesin sonuçları saptamak amacı ile $\Delta\alpha$ artımı, sırası ile, 1° , 5° ve 10° alınarak 3 ayrı sonuç elde edilmiş ve irdeleme yapılmıştır. Bu hesapların ayrıntıları ilgili araştırma raporunda bulunabilir, [8]. Çeşitli yapı tipleri için bulunmuş olan minimum fark yüzdeleri Tablo 1'de özetlenmiştir.



Şekil 4 -Parametrik araştırma için yükleme

Tablo 1 - Minimum fark yüzdeleri

Yapı Tipi	Kolonlarda		Kirişlerde	
	$\Delta\alpha=5^\circ$	$\Delta\alpha=10^\circ$	$\Delta\alpha=5^\circ$	$\Delta\alpha=10^\circ$
1	-0.34	-1.02	-0.21	-0.39
2	-0.34	-1.21	-0.19	-0.41
3	-0.90	-1.89	-0.17	-0.17
4	-0.34	-1.07	-0.16	-0.37

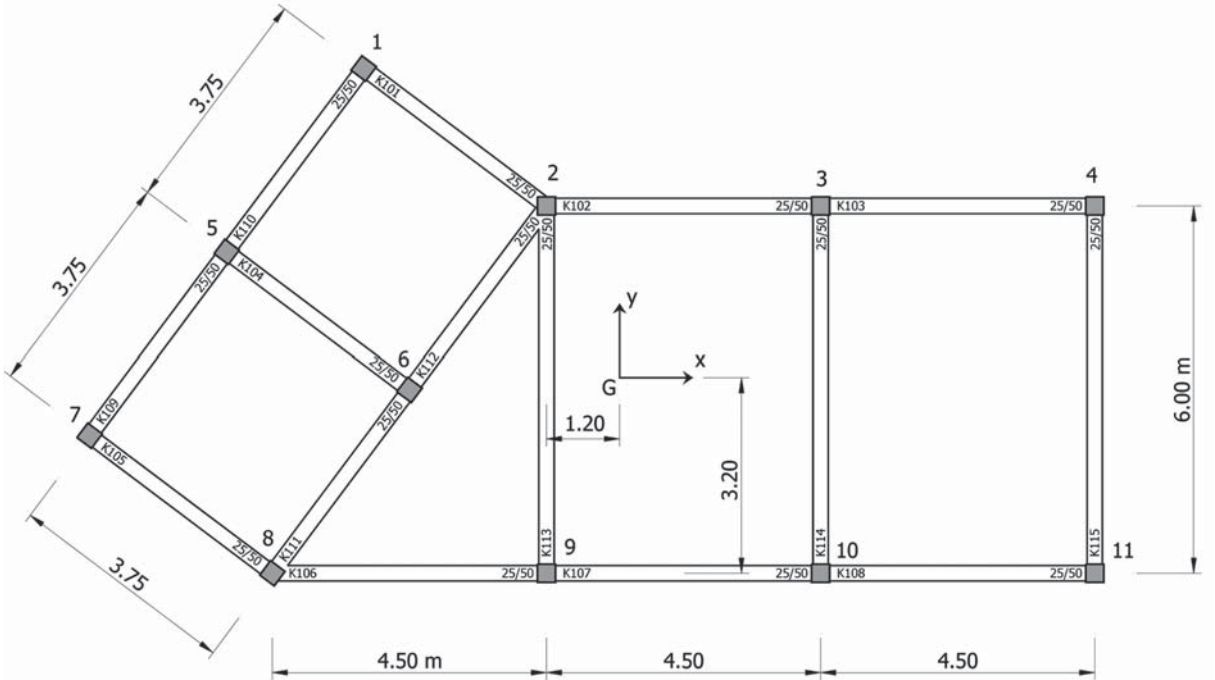
Tabloda görüldüğü gibi, minimum (mutlak değerce en büyük) fark yüzdeleri $\Delta\alpha=5^\circ$ için binde mertebesindedir. Bu yüzdeler $\Delta\alpha=10^\circ$ için bile çok düşük mertebededir. Sonuç olarak $\Delta\alpha=1^\circ$ için elde edilen sonuçların kesin olarak kabul edilebilecekleri ve bundan sonraki incelemelerde böylece kullanılabilirler anlaşılmaktadır.

4. DBYBHY Ortak Etki Formüllerinin İrdelenmesi

Kaynak [8]'deki araştırma raporunda tüm tipik yapılar sıra ile ele alınarak DBYBHY'teki ortak etki formülleri uygulanmış ve sonuçlar kesin değerlerle karşılaştırılarak irdelenmiştir. Aşağıda Yapı Tip 1 üzerinde bu irdeleme işlemlerinin nasıl yapıldığı gösterilecektir.

4.1 Yapı Tip 1

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



Şekil 5 -Yapı Tip 1 kalıp planı

Tüm katlarda aynı olduğu varsayılan kat ağırlık merkezi şekilde G ile gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi tüm kiriş kesitleri 25x50 cm² olarak seçilmiş bulunmaktadır. Çeşitli katlardaki kolon kesitleri de Tablo 2'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2 - Kolon kesitleri

Kat No.	Kolon No.										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30	30×30
7											
6											
5											
4	30×30	35×35	35×35	30×30	30×30	35×35	30×30	30×30	35×35	35×35	30×30
3	30×30	40×40	40×40	30×30	30×30	35×35	30×30	30×30	35×35	35×35	30×30
2	30×30	40×40	40×40	30×30	30×30	40×40	30×30	35×35	40×40	40×40	30×30
1	30×30	45×45	45×45	30×30	35×35	45×45	30×30	40×40	40×40	40×40	30×30

Tablo 2 ve 3'te, sırası ile, 1. kat kolonları ile kirişleri için, parametrik araştırmadan ve DBYBHY'teki ortak etki formüllerinden elde edilen donatı oranları gösterilmiştir.

Tablo 3 - 1. kat kolonlarında elverişsiz deprem doğrultuları ve donatı oranları

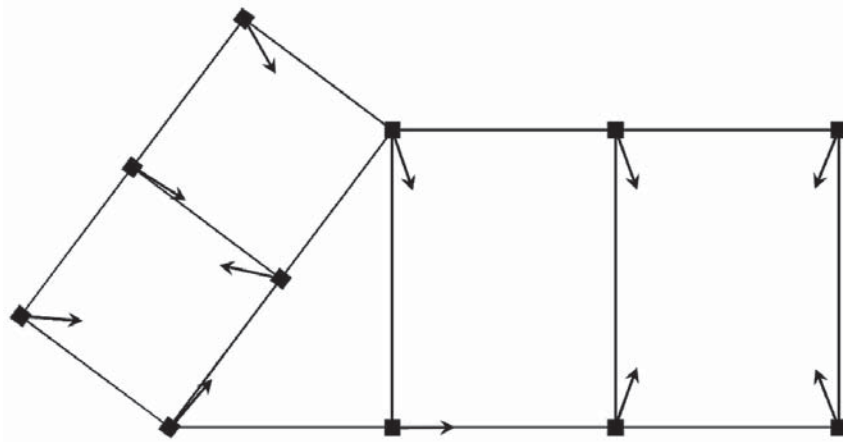
$\Delta\alpha=1^\circ$ (Kesin)				DBYBHY		
Kolon No.	α_p Derece	A_s cm ²	ρ %	A_s cm ²	ρ %	Hata %
1	300	15.51	1.72	15.64	1.74	0.84
2	289	25.97	1.28	28.05	1.39	8.01
3	290	27.54	1.36	29.42	1.45	6.83
4	248	11.70	1.30	9.74	1.08	-16.75
5	329	18.28	1.49	18.97	1.55	3.77
6	167	22.34	1.10	24.50	1.21	9.67
7	355	14.18	1.58	14.48	1.61	2.12
8	49	24.41	1.53	24.57	1.54	0.66
9	359	16.00	1.00	16.00	1.00	-
10	71	18.18	1.14	20.31	1.27	11.72
11	111	11.61	1.29	12.56	1.40	8.18
Max						11.72
Min						-16.75
AOH						± 4.73

Tablolarda α_p başlığı altında sıralanmış olan değerler, parametrik araştırma sonunda elde edilen en elverişsiz deprem doğrultularına ait olan açıları göstermektedir. Bu açıların çeşitli yapı elemanları için birbirlerinden çok farklı bağımsız değerler aldıkları gözlenmektedir. 1. kattaki tüm kolonlar için elverişsiz deprem doğrultuları Şekil 6'da grafik olarak gösterilmiştir.

Tablolarda A_s ve ρ başlıkları altındaki değerler, sırası ile, elverişsiz doğrultulara karşı gelen donatılar ile donatı oranlarıdır. Tabloların son kolonlarında, yüzde olarak hata oranları gösterilmiştir. Tabloların alt 3 satırlarında, sırası ile, maksimum, minimum ve ağırlıklı ortalama (AOH) hatalar görülmektedir.

Tablo 4 - 1. kat kirişlerinde elverişsiz deprem doğrultuları ve üst donatı oranları

$\Delta\alpha=1^\circ$ (Kesin)				DBYBHY		
Kiriş No.	α_p Derece	A_s cm ²	ρ %	A_s cm ²	ρ %	Hata %
K101	149	9.09	0.73	8.64	0.69	-4.95
K102	5	9.86	0.79	10.17	0.81	3.14
K103	186	8.15	0.65	8.39	0.67	2.94
K104	335	12.64	1.01	12.47	1.00	-1.34
K105	152	6.54	0.52	6.41	0.51	-1.99
K106	2	6.99	0.56	7.07	0.57	1.14
K107	8	8.34	0.67	8.52	0.68	2.16
K108	188	7.30	0.58	7.46	0.60	2.19
K109	219	4.44	0.36	4.44	0.36	-
K110	42	4.44	0.36	4.44	0.36	-
K111	44	9.82	0.79	9.90	0.79	0.81
K112	58	10.27	0.82	9.12	0.73	-11.20
K113	80	12.53	1.00	12.71	1.02	1.44
K114	87	18.61	1.49	18.67	1.49	0.32
K115	273	7.87	0.63	7.89	0.63	0.25
Max						3.14
Min						-11.20
AOH						± 2.11



Şekil 6 - 1. kat kolonları için elverişsiz deprem doğrultuları

4.2 Genel Değerlendirme

Kaynak [8]'deki araştırma raporunda, seçilen tipik yapılar sıra ile ele alınarak DBYBHY'teki ortak etki formülleri uygulanmış ve sonuçlar tablolar halinde sunulmuştur. Çeşitli yapı tipleri için elde edilmiş olan maksimum, minimum ve ağırlıklı ortalama hatalar Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5 - DBYBH formüllerindeki hatalar

Yapı Tipi	Kolonlarda hatalar (%)			Kirişlerde hatalar (%)		
	Max	Min	AOH	Max	Min	AOH
1	11.72	-16.75	±4.73	3.14	-11.20	±2.11
2	11.17	-17.41	±2.52	3.96	-6.79	±1.54
3	8.58	-14.18	±3.35	23.62	-19.34	±5.49
4	11.79	-19.45	±4.67	5.11	-8.33	±2.42

Görüldüğü gibi, ağırlıklı ortalama hatalar kabul edilebilir mertebede olmakla birlikte, maksimum ve minimum hatalar, bazı elemanlar için, % 20'ler mertebesinde oluşmaktadır. Bu orandaki hataların ışığında, yönetmeliklerdeki ortak etki formüllerinin güvenilir nitelikte olmadıkları söylenebilir. Aşağıda ortak etki formülleri yerine daha çok sayıda deprem yüklemesi kullanma seçeneği irdelenecektir.

5. Tasarımda Daha Çok Yükleme Kullanılması

Yukarıda özetlenen irdemeler sonunda, DBYBH formüllerinin pratik uygulamalar bakımından pek güvenilir olmadıkları, buna karşılık $\Delta\alpha=5^\circ$ ve 10° artımlar için oldukça güvenilir sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu durumda, yönetmeliklerdeki ortak etki formülleri yerine, farklı açılarda daha çok sayıda deprem yüklemesi kullanılabileceği düşünülmektedir. Bu bölümde Yapı Tip 1 için $\Delta\alpha=22.5^\circ$ ve 45° için analiz ve boyutlandırma işlemlerinin sonuçları verilecek ve genel bir değerlendirme yapılacaktır.

5.1 Yapı Tip 1

Yapı Tip 1'e ait 1. kattaki kesin kolon ve kiriş donatıları ile $\Delta\alpha=22.5^\circ$ ve 45° için elde edilenler, hata oranları ile birlikte, Tablo 6 ve 7'de gösterilmiştir.

Minimum değerlerden Tablo 6'daki -%3.53 ile Tablo 7'deki -%5.27 değerleri, sırası ile, 5. ve 3. katta oluşmaktadır. Tabloların alt 2 satırlarında, sırası ile minimum ve ağırlıklı ortalama hatalar görülmektedir. Beklendiği gibi, tüm hatalar negatiftir.

Tablo 6 - Kolonlarda maksimum donatı oranları

$\Delta\alpha=1^\circ$ (Kesin)			$\Delta\alpha=22.5^\circ$			$\Delta\alpha=45^\circ$		
Kolon No.	A_s cm ²	ρ %	A_s cm ²	ρ %	Hata %	A_s cm ²	ρ %	Hata %
1	15.51	1.72	15.39	1.71	-0.79	14.91	1.66	-3.87
2	25.97	1.28	25.81	1.27	-0.60	24.81	1.23	-4.47
3	27.54	1.36	27.51	1.36	-0.13	25.87	1.28	-6.07
4	11.70	1.30	11.70	1.30	0.00	10.73	1.19	-8.30
5	18.28	1.49	18.28	1.49	-	17.84	1.46	-2.43
6	22.34	1.10	22.28	1.10	-0.31	22.28	1.10	-0.31
7	14.18	1.58	14.11	1.57	-0.46	14.11	1.57	-0.46
8	24.41	1.53	24.38	1.52	-0.11	24.38	1.52	-0.11
9	16.00	1.00	16.00	1.00	-	16.00	1.00	-
10	18.18	1.14	17.98	1.12	-1.10	17.02	1.06	-6.36
11	11.61	1.29	11.59	1.29	-0.17	10.56	1.17	-9.00
Min					-3.53			-9.00
AOH					-0.47			-1.55

Tablo 7 - Kirişlerde maksimum üst donatı oranları

$\Delta\alpha=22.5^\circ$			$\Delta\alpha=22.5^\circ$			$\Delta\alpha=45^\circ$		
Kiriş No.	A_s cm ²	ρ %	A_s cm ²	ρ %	Hata %	A_s cm ²	ρ %	Hata %
K101	9.09	0.73	9.08	0.73	-0.15	9.08	0.73	-0.15
K102	9.86	0.79	9.77	0.78	-0.98	9.77	0.78	-0.98
K103	8.15	0.65	8.07	0.65	-0.97	8.07	0.65	-0.97
K104	12.64	1.01	12.46	1.00	-1.42	12.46	1.00	-1.42
K105	6.54	0.52	6.48	0.52	-0.89	6.48	0.52	-0.89
K106	6.99	0.56	6.99	0.56	-0.07	6.99	0.56	-0.07
K107	8.34	0.67	8.31	0.66	-0.39	8.31	0.66	-0.39
K108	7.30	0.58	7.27	0.58	-0.42	7.27	0.58	-0.42
K109	4.44	0.36	4.44	0.36	-	4.44	0.36	-
K110	4.44	0.36	4.44	0.36	-	4.44	0.36	-
K111	9.82	0.79	9.70	0.78	-1.22	9.58	0.77	-2.46
K112	10.27	0.82	10.25	0.82	-0.26	10.25	0.82	-0.26
K113	12.53	1.00	12.51	1.00	-0.16	12.51	1.00	-0.16
K114	18.61	1.49	18.60	1.49	-0.01	18.60	1.49	-0.01
K115	7.87	0.63	7.87	0.63	-	7.87	0.63	-
Min					-1.42			-5.27
AOH					-0.36			-0.65

5.2 Genel Değerlendirme

Kaynak [8]'deki araştırma raporunda, tipik yapılar sıra ile ele alınmış ve deprem doğrultusunu belirleyen α açısı, $\Delta\alpha=1^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 22.5^\circ$ ve 45° alınarak analiz ve boyutlandırma işlemlerinin sonuçları tablolar halinde sunulmuştur. Bu tablolarda $\Delta\alpha>1^\circ$ için bulunan donatı oranlarının kesin sonuçlara göre hataları da gösterilmiştir. Çeşitli yapı tipleri için bulunmuş olan hata yüzdeleri Tablo 8 ve 9'da özetlenmiştir.

Tablo 8 - Kolonlarda hata yüzdeleri

Yapı Tipi	$\Delta\alpha=5^\circ$		$\Delta\alpha=10^\circ$		$\Delta\alpha=22.5^\circ$		$\Delta\alpha=45^\circ$	
	Min	AOH	Min	AOH	Min	AOH	Min	AOH
1	-0.34	-0.04	-1.02	-0.14	-3.53	-0.47	-9.00	-1.55
2	-0.35	-0.03	-1.17	-0.17	-5.66	-0.58	-11.22	-1.97
3	-0.90	-0.08	-1.89	-0.20	-3.27	-0.75	-10.34	-2.56
4	-0.34	-0.05	-1.07	-0.16	-4.93	-0.75	-10.89	-2.72

Tablo 9 - Kirişlerde hata yüzdeleri

Yapı Tipi	$\Delta\alpha=5^\circ$		$\Delta\alpha=10^\circ$		$\Delta\alpha=22.5^\circ$		$\Delta\alpha=45^\circ$	
	Min	AOH	Min	AOH	Min	AOH	Min	AOH
1	-0.21	-0.02	-0.39	-0.08	-1.42	-0.36	-5.27	-0.65
2	-0.19	-0.03	-0.41	-0.07	-1.59	-0.41	-7.10	-0.90
3	-0.17	-0.03	-0.17	-0.03	-1.32	-0.61	-4.36	-1.19
4	-0.16	-0.03	-0.37	-0.08	-2.12	-0.52	-5.79	-1.45

Tablolarda görüldüğü gibi, minimum (mutlak değerce en büyük) hatalar

- $\Delta\alpha=5^\circ$ için binde mertebesindedir;
- $\Delta\alpha=10^\circ$ için %2'yi aşmamaktadır;
- $\Delta\alpha=22.5$ için %5 mertebesindedir;
- $\Delta\alpha=45^\circ$ için bile % 10'u pek az aşmaktadır.

Tablolarda ağırlıklı ortalama hatalar (AOH) da gösterilmiştir. Bu değerlerin çoğu binde mertebesindedir olup $\Delta\alpha=45^\circ$ için bile %2'yi aşmamaktadır. Bu durumda yönetmeliklerdeki ortak etki formülleri yerine daha çok sayıda deprem yüklemesi kullanılması önerilebilir. $\pm\% 5$ ek dışmerkezliklerin de göz önüne alınması durumunda DBYBHY'teki ortak etki formüllerinin uygulanması için 8 adet deprem yüklemesi ve 64 adet yükleme birleşimi yapılması gerekli olmaktadır, [3]. Çeşitli değerlerdeki $\Delta\alpha$ artımları kullanılması durumunda gereken yükleme ve yükleme birleşimi sayıları ise Tablo 10'da gösterilenler kadardır.

Tablo 10 - Yükleme ve yükleme birleşimi sayıları

$\Delta\alpha$ Derece	Yükleme sayısı	Yükleme birleşimi sayısı
5	144	288
10	72	144
22.5	32	64
45	16	32
DBYBHY	8	64

$\Delta\alpha=22.5^\circ$ ve 45° için gerekli olan yükleme ve yükleme birleşimi sayılarının çok aşırı olmadığı görülmektedir. Günümüz bilgisayar olanakları göz önünde tutulursa, bu artımlar ile yapılacak olan deprem yüklemelerinin kolayca gerçekleştirilebileceği söylenebilir.

Özellikle $\Delta\alpha=22.5^\circ$ için bulunan -% 5 mertebesindeki hataların DBYBHY formüllerine ait -% 20'yi aşanlara oranla çok daha gerçekçi oldukları ileri sürülebilir. Belirtmek gerekir ki, çok sayıda yükleme yapılması durumunda ortaya çıkan hataların tümünün negatif (güvensiz) yönde olması tek sakınca olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sakıncayı gidermek amacı ile boyutlandırma sonucunda hesaplanan donatı oranlarının % 5 oranında artırılması düşünülmüştür.

5.3 45° Artım için Düzeltme

45° artım için donatı oranlarının %5 artırılması durumunda bulunmuş olan hata yüzdeleri Tablo 11'de özetlenmiştir, [8].

Tablo 11 - Düzeltilmiş 45° artım için hatalar

Yapı Tipi	Kolonlarda hatalar (%)			Kirişlerde hatalar (%)		
	Max	Min	AOH	Max	Min	AOH
1	5.00	-4.50	± 3.60	5.00	-1.00	± 4.35
2	5.00	-6.79	± 3.95	5.00	-2.46	± 4.18
3	5.00	-5.85	± 3.06	5.00	-0.21	± 4.07
4	5.00	-6.44	± 3.14	5.00	-1.08	± 3.55

45° artım için daha önce elde edilmiş bulunan tüm hatalar negatif olduğundan, %5 donatı artırılması durumundaki tüm maksimum hataların %5 olması doğaldır. Tabloda görüldüğü gibi, minimum hatalar -% 1 ~ 7, ağırlıklı ortalama hatalar ise $\pm\% 3 \sim 4$ aralığındadır. Tablo 11'deki hata

değerleri DBYBHY formülleri için elde edilmiş olan Tablo 5'tekilerle karşılaştırılırsa düzeltilmiş 45° artım için bulunan hata yüzdelere çok düşük düzeyde olduğu ortaya çıkar.

Deprem yönetmeliklerindeki ortak etki formülleri yerine düzeltilmiş 45° artım yüklemelerinin kullanılmasının daha doğru olacağı söylenebilir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada bir "Sayısal Deney" yöntemi kullanılarak çok katlı yapılarda ortak etki formüllerinin doğruluk mertebelerinin araştırılması ve elverişsiz deprem doğrultuları için yeni bir yöntem geliştirilmesi için yapılmış olan bir araştırmanın sonuçları özetlenmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıdadır.

1. Elverişsiz deprem doğrultularının çeşitli yapı elemanları için birbirlerinden çok farklı bağımsız değerler alabildikleri saptanmıştır.
2. Deprem yönetmeliklerindeki ortak etki formüllerinin güvenilir nitelikte olmadıkları gösterilmiştir.
3. Ortak etki formülleri yerine farklı açılarda çok sayıda deprem yüklemesi yapılması önerilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.
4. 22.5° veya 45°'lik artımlarla değişen doğrultularda uygulanan deprem yüklemelerinin pratik uygulamalarda başarı ile kullanılabileceği gösterilmiştir.
5. Çok sayıda deprem yüklemesindeki hataların tümü negatif (güvensiz) yönde oluşmaktadır. Bu sakıncayı gidermek üzere, 45°'lik artım uygulamasında, donatıların %5 artırılması önerilmiştir.
6. Elde edilen sonuçların genelleştirilebilmesi için
 - Perde içeren çok katlı yapıların,
 - Ek dışmerkezlikleri de içeren yapı sistemlerinin incelenmesi uygun olacaktır.

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] Özmen, G., Deprem Etkisi Altında Tasarım İç Kuvvetleri, www.yapistatigi.itu.edu.tr/raporlar/raporlar.html, 2009.
- [4] Özmen, G., Deprem Etkisi Altında Tasarım İç Kuvvetleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, Yıl: 54/2009-5, Sayı: 457, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Aralık 2009.
- [5] Earthquake Resistant Regulations – A World List, International Association for Earthquake Engineering, Tokyo 1996.
- [6] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Mart 2007.
- [7] SAP2000, Structural Analysis Program, CSI, Berkeley, ABD.
- [8] Özmen, G., Çok Katlı Yapılarda Elverişsiz Deprem Doğrultuları, www.yapistatigi.itu.edu.tr/raporlar/raporlar.html, 2011.