

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

154510

ASAL EKSENLERİ DEPREM DOĞRULTULARINA
PARALEL OLMAYAN TAŞIYICI SİSTEMLERDEKİ
KOLONLARDA DONATI HESABI İÇİN ELVERİŞSİZ
İÇ KUVVETLERİN BELİRLENMESİ

İnşaat Müh. Ara KESKİNKILIÇYAN

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN

Prof. Dr. Metin AYDOĞAN
İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi
Yapı Ana Bilim Dalı

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTIMA LİSTESİ	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ	iv
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Etkileşimsiz Superpozisyon	2
1.2 Etkileşimli Superpozisyon	3
1.3 Karelerin Toplamının Kare Kökü	3
1.4 İrdeme	4
2. ÖRNEK YAPILAR	5
2.1 Varsayımlar	5
3. ÇALIŞMADA İZLENEN PARAMETRİK ARAŞTIRMA	7
3.1 Örnek 1	8
3.1.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi.....	14
3.2 Örnek 2.....	17
3.2.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi.....	24
3.3 Örnek 3.....	28
3.3.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi.....	34
3.4 Örnek 4.....	38
3.4.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi.....	49
3.5 Örnek 5.....	55
3.5.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi.....	61
3.6 Örnek 6.....	65
3.6.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi.....	70
3.7 Superpozisyon Formüllerinin Değerlendirilmesi.....	73
4. YENİ SUPERPOZİSYON FORMÜLLERİ	74
5. SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR	85
ÖZGEÇMİŞ	86

SİMGE LİSTESİ

B_a	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini etrafında tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
B_{ax}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini etrafında, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_{ay}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini etrafında, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_b	Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini etrafında tasarıma esas iç kuvvet büyüklüğü
B_{bx}	Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini etrafında, x doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
B_{by}	Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini etrafında, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan iç kuvvet büyüklüğü
M_a	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini etrafında tasarıma esas eğilme momenti değeri
M_{ax}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini etrafında, x doğrultusundaki depremden oluşan eğilme momenti değeri
M_{ay}	Taşıyıcı sistem elemanının a asal eksenini etrafında, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan eğilme momenti değeri
M_b	Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini etrafında tasarıma esas eğilme momenti değeri
M_{bx}	Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini etrafında, x doğrultusundaki depremden oluşan eğilme momenti değeri
M_{by}	Taşıyıcı sistem elemanının b asal eksenini etrafında, x'e dik y doğrultusundaki depremden oluşan eğilme momenti değeri
N_n	n nolu kolondaki aksinel kuvvet değeri
P_i	Binanın i. katına etkileyen deprem kuvveti
R_o	Kolon donatı yüzdesi
ρ	Donatı oranı
ρ_{max}	Superpozisyon formülleri kullanılarak tespit edilen maksimum donatı oranı değeri
ρ_p	Parametrik araştırmada bulunan donatı oranı değeri
α	Deprem kuvvetlerinin x eksenine yaptığı açı

KISALTMA LİSTESİ

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
KTKK	Karelerinin Toplamının Kare Kökü
NO	Non-Orthogonal
NOK	Ortogonal olmayan kolon
OK	Ortogonal kolon



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Deprem Doğrultuları ve NO Kolonların Asal Eksenleri	1
Şekil 2.1 Örnek Yapıların Şematik Kalıp Planları.....	5
Şekil 3.1 Yüklemeler ve Kolon Asal Eksenleri	7
Şekil 3.2 Örnek 1 Şematik Kalıp Planı	8
Şekil 3.3 Örnek 1 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi.....	10
Şekil 3.4 Örnek 1 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi.....	11
Şekil 3.5 Örnek 1 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi.....	12
Şekil 3.6 Örnek 1 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	13
Şekil 3.7 Örnek 1 (Tüm Kolonlar) Donatı Oranlarının Değişimi.....	13
Şekil 3.8 Örnek 2 Şematik Kalıp Planı	17
Şekil 3.9 Örnek 2 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi.....	19
Şekil 3.10 Örnek 2 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi.....	20
Şekil 3.11 Örnek 2 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi.....	21
Şekil 3.12 Örnek 2 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	22
Şekil 3.13 Örnek 2 (Kolon 5) Donatı Oranlarının Değişimi.....	23
Şekil 3.14 Örnek 2 (Kolon 1 ve 2) Donatı Oranlarının Değişimi.....	23
Şekil 3.15 Örnek 2 (Kolon 3 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	24
Şekil 3.16 Örnek 3 Şematik Kalıp Planı	28
Şekil 3.17 Örnek 3 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi.....	30
Şekil 3.18 Örnek 3 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi.....	31
Şekil 3.19 Örnek 3 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi.....	32
Şekil 3.20 Örnek 3 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	33
Şekil 3.21 Örnek 3 (Kolon 1 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	33
Şekil 3.22 Örnek 3 (Kolon 1,2,3 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	34
Şekil 3.23 Örnek 4 Şematik Kalıp Planı	38
Şekil 3.24 Örnek 4 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi.....	40
Şekil 3.25 Örnek 4 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi.....	41
Şekil 3.26 Örnek 4 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi.....	42
Şekil 3.27 Örnek 4 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	43
Şekil 3.28 Örnek 4 (Kolon 5) Donatı Oranlarının Değişimi.....	44
Şekil 3.29 Örnek 4 (Kolon 6) Donatı Oranlarının Değişimi.....	45
Şekil 3.30 Örnek 4 (Kolon 7) Donatı Oranlarının Değişimi.....	46
Şekil 3.31 Örnek 4 (Kolon 8) Donatı Oranlarının Değişimi.....	47
Şekil 3.32 Örnek 4 (Kolon 1 ve 5) Donatı Oranlarının Değişimi.....	47
Şekil 3.33 Örnek 4 (Kolon 2 ve 6) Donatı Oranlarının Değişimi.....	48
Şekil 3.34 Örnek 4 (Kolon 3 ve 7) Donatı Oranlarının Değişimi.....	48
Şekil 3.35 Örnek 4 (Kolon 4 ve 8) Donatı Oranlarının Değişimi.....	49
Şekil 3.36 Örnek 5 Şematik Kalıp Planı	55
Şekil 3.37 Örnek 5 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi.....	57
Şekil 3.38 Örnek 5 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi.....	58
Şekil 3.39 Örnek 5 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi.....	59
Şekil 3.40 Örnek 5 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	60
Şekil 3.41 Örnek 5 (Kolon 1 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	60
Şekil 3.42 Örnek 5 (Kolon 2 ve 3) Donatı Oranlarının Değişimi.....	61
Şekil 3.43 Örnek 6 Şematik Kalıp Planı	65
Şekil 3.44 Örnek 6 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi.....	67
Şekil 3.45 Örnek 6 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi.....	68
Şekil 3.46 Örnek 6 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi.....	69
Şekil 3.47 Örnek 6 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Örnek 1 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	9
Çizelge 3.2 Örnek 1 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	10
Çizelge 3.3 Örnek 1 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	11
Çizelge 3.4 Örnek 1 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	12
Çizelge 3.5 Örnek 1 Etkileşimsiz Superpozisyon.....	14
Çizelge 3.6 Örnek 1 Etkileşimli Superpozisyon	15
Çizelge 3.7 Örnek 1 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu	16
Çizelge 3.8 Örnek 2 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	18
Çizelge 3.9 Örnek 2 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	19
Çizelge 3.10 Örnek 2 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	20
Çizelge 3.11 Örnek 2 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	21
Çizelge 3.12 Örnek 2 (Kolon 5) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	22
Çizelge 3.13 Örnek 2 Etkileşimsiz Superpozisyon.....	25
Çizelge 3.14 Örnek 2 Etkileşimli Superpozisyon	26
Çizelge 3.15 Örnek 2 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu	27
Çizelge 3.16 Örnek 3 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	29
Çizelge 3.17 Örnek 3 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	30
Çizelge 3.18 Örnek 3 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	31
Çizelge 3.19 Örnek 3 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	32
Çizelge 3.20 Örnek 3 Etkileşimsiz Superpozisyon.....	35
Çizelge 3.21 Örnek 3 Etkileşimli Superpozisyon	36
Çizelge 3.22 Örnek 3 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu	37
Çizelge 3.23 Örnek 4 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	39
Çizelge 3.24 Örnek 4 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	40
Çizelge 3.25 Örnek 4 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	41
Çizelge 3.26 Örnek 4 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	42
Çizelge 3.27 Örnek 4 (Kolon 5) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	43
Çizelge 3.28 Örnek 4 (Kolon 6) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	44
Çizelge 3.29 Örnek 4 (Kolon 7) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	45
Çizelge 3.30 Örnek 4 (Kolon 8) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	46
Çizelge 3.31 Örnek 4 Etkileşimsiz Superpozisyon.....	50
Çizelge 3.32 Örnek 4 Etkileşimli Superpozisyon	52
Çizelge 3.33 Örnek 4 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu	53
Çizelge 3.34 Örnek 5 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	56
Çizelge 3.35 Örnek 5 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	57
Çizelge 3.36 Örnek 5 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	58
Çizelge 3.37 Örnek 5 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	59
Çizelge 3.38 Örnek 5 Etkileşimsiz Superpozisyon.....	62
Çizelge 3.39 Örnek 5 Etkileşimli Superpozisyon	63
Çizelge 3.40 Örnek 5 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu	64
Çizelge 3.41 Örnek 6 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	66
Çizelge 3.42 Örnek 6 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	67
Çizelge 3.43 Örnek 6 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	68
Çizelge 3.44 Örnek 6 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları	69
Çizelge 3.45 Örnek 6 Etkileşimsiz Superpozisyon.....	71
Çizelge 3.46 Örnek 6 Etkileşimli Superpozisyon	72
Çizelge 3.47 Örnek 6 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu	73
Çizelge 4.1 Örnek 1 Yeni Superpozisyonda Örnek 1 için Hata Oranları	75
Çizelge 4.2 Örnek 2 Yeni Superpozisyonda Örnek 2 için Hata Oranları	76

Çizelge 4.3 Örnek 3 Yeni Superpozisyonda Örnek 3 için Hata Oranları	77
Çizelge 4.4 Örnek 4 Yeni Superpozisyonda Örnek 4 için Hata Oranları	78
Çizelge 4.5 Örnek 5 Yeni Superpozisyonda Örnek 5 için Hata Oranları	79
Çizelge 4.6 Örnek 6 Yeni Superpozisyonda Örnek 6 için Hata Oranları	79
Çizelge 4.7 Örnek 1 Yeni Superpozisyonda Örnek 1 için Hata Oranları	80
Çizelge 4.8 Örnek 2 Yeni Superpozisyonda Örnek 2 için Hata Oranları	80
Çizelge 4.9 Örnek 3 Yeni Superpozisyonda Örnek 3 için Hata Oranları	81
Çizelge 4.10 Örnek 4 Yeni Superpozisyonda Örnek 4 için Hata Oranları	81
Çizelge 4.11 Örnek 5 Yeni Superpozisyonda Örnek 5 için Hata Oranları	82
Çizelge 4.12 Örnek 6 Yeni Superpozisyonda Örnek 6 için Hata Oranları	82



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, asal eksenleri deprem doğrultularına paralel olmayan taşıyıcı sistemlerdeki kolonlarda iç kuvvetler hesaplanmış ve buna bağlı olarak gerekli donatı oranlarının tayinine yer verilmiştir. Çeşitli örnek yapılar seçilerek, yürürlükte olan yönetmeliklerdeki konuyla ilgili formüller incelenmiş ve detaylı bir parametrik araştırma neticesinde kolon donatı hesabına esas olacak elverişsiz iç kuvvetler için yeni formüller önerilmiştir.

Bu çalışmada beni yönlendiren ve bilimsel katkılarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN'a çok teşekkür ederim. Ayrıca eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Çeşitli deprem yönetmeliklerinde, “Asal Eksenleri Deprem Doğrultularına Paralel Olmayan” elemanlar içeren yapıların da deprem hesaplarının seçilen iki birbirine dik doğrultudaki yüklere göre yapılabileceği belirtilmiştir. Ortogonal olmayan elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetlerin hesabı için özel superpozisyon formülleri verilmiş bulunmaktadır. Ancak bu formüllerde, ortogonal olmayan kolonların iki asal eksenleri için elde edilen değerlerin karşılıklı etkilerinin nasıl göz önüne alınacağı açıkça belirtilmemiştir. Bunun için uygulamada karşılaşılan yapı tiplerini olabildiğince kapsamlı bir biçimde temsil etmek üzere belirli sayıda örnek yapı seçilmiş ve bu yapılara parametrik olarak değişen farklı doğrultularda deprem yükleri uygulanmıştır. Her doğrultu için, her iki asal eksen doğrultusundaki eğilme momentleri göz önünde tutularak, ortogonal olmayan kolonların donatı oranları hesaplanmış ve maksimum donatı oranı ile bu oranı veren deprem doğrultusu saptanmıştır. Daha sonra deprem yönetmeliklerinde verilen superpozisyon formüllerinin verdiği sonuçlar gerçek maksimum ile karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir. Sonuç olarak superpozisyon formüllerinin uygulanması durumunda elde edilen donatı oranlarının önemli ölçüde güvensiz olduğu saptanmış bulunmaktadır. Ayrıca, merkezi simetri ve eksen takımı değiştirme gibi özel durumlar ile ortogonal olmayan yapılardaki ortogonal kolonlar için de, yönetmeliklerde öngörülen superpozisyon formüllerinin de farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durumda uygun ve güvenli bir donatı oranı veren bir superpozisyon formülünün geliştirilmesi düşüncesinden hareket edilerek yapılan parametrik çalışmaların sonucunda yeni bir superpozisyon formülü önerilmiştir. Bu yeni superpozisyon formülünün örnek yapıların kolonlarına uygulanması sonunda, hem yeterli düzeyde gerçekçi sonuçlar verdiği, hem de özel durumları kapsamakta başarılı olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ortogonal Olmayan Elemanlar, Deprem Yükleri, Superpozisyon Formülleri.

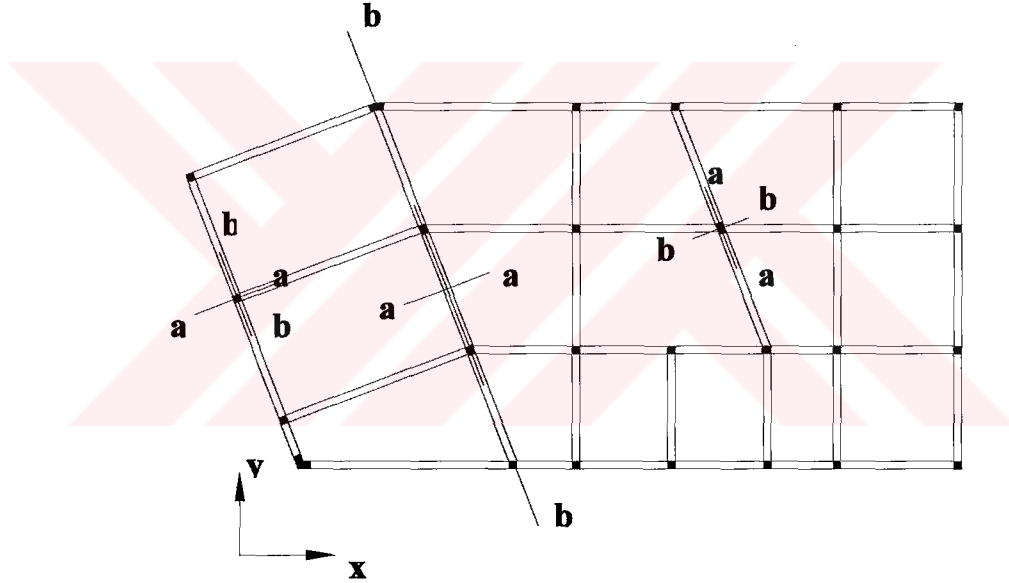
ABSTRACT

In contemporary earthquake-resistant design codes, it is asserted that, the analysis of the structures containing non-orthogonal elements may be carried out, by using two orthogonal loading axes. Special superposition formulae are given for calculating the end forces of non-orthogonal elements. However, the effect of the interaction of the bending moments acting on the two principal axes of the non-orthogonal columns, is not specifically explained. For this purpose, a number of typical structures are chosen which represent a wide selection among practical applications. These structures are subjected to earthquake loading inparametrically varied directions and column reinforcements are calculated for each direction, taking into consideration the bending moments acting on both principal axes. Then, the reinforcement ratios are calculated by applying the superposition formulae given in the earthquake codes and the results are compared with the rigorous values. It is concluded that the superposition formulae given in codes may yield inconsistent results. For this reason, it is found necessary to develop a more appropriate and sufficiently safe superposition formula and a new one is introduced. The newly introduced formula is tested, by using the data and the results of the typical structures. It is found that, it gives sufficiently realistic results while proving successful for all the special cases.

Key words: Non-orthogonal Elements, Seismic loading, Superposition Formulae .

1. GİRİŞ

Bir yapının taşıyıcı sisteminin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu, 1998’de yürürlüğe girmiş olan yeni “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” (ABYYHY) hükümlerine göre bir düzensizlik (A4) olarak tanımlanmıştır. Bu yapıların deprem hesapları, istenildiği gibi seçilebilen, birbirine dik iki doğrultudaki yüklere göre yapılabilmektedir. Ancak “Asal eksenleri Deprem Doğrultularına Paralel Olmayan” (Non-Ortogonal, NO) elemanların asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetlerin hesabı için özel bir superpozisyon formülünün kullanılması gerekir. Ortogonal olmayan elemanları bulunan örnek bir yapının şematik kalıp planı ile birbirine dik olarak seçilmiş olan X ve Y deprem doğrultuları Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Deprem Doğrultuları ve NO Kolonların Asal Eksenleri (ABYYHY, 1997)

Yukarıda ortogonal olmayan kolonlara ait a ve b asal eksenleri şekil üzerinde gösterilmiş bulunmaktadır. Eksenleri X veya Y yükleme doğrultularından birine paralel olmayan kirişler de ortogonal olmayan elemanlardır.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik’e göre, ortogonal olmayan elemanların a ve b asal eksenleri doğrultusundaki B_a ve B_b iç kuvvetlerini (ABYYHY, 1997)

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \quad (1.1a)$$

$$B_b = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay} \quad (1.1b)$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30B_{by} \quad (1.2a)$$

$$B_b = \pm 0.30B_{bx} \pm B_{by} \quad (1.2b)$$

superpozisyon formülleri ile hesaplanması gerekmektedir. Burada B_{ij} katsayılarındaki i indisi asal eksen, j indisi de deprem doğrultusunu göstermektedir. (1.1) ve (1.2) denklemleri ile elde edilen her büyüklük için ayrı ayrı donatı hesaplanarak elverişsiz olanın seçilmesi gereklidir. Tek eksenli eğilme momenti etkisinde bulunan kirişler için ABYYHY’te verilen superpozisyon formüllerinin uygulama biçimi açıktır. Ancak yönetmelikte, ortogonal olmayan kolonların iki asal eksenleri için elde edilen eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin nasıl göz önüne alınacağı konusunda bir açıklık yoktur. Başka bazı yönetmeliklerde ise, elverişsiz kesit zorlarının hesabında “Karelerin Toplamının Kare Kökü” (KTKK) yönteminin de kullanılabileceği belirtilmiş bulunmaktadır. Bazı yapılarda ortogonal olmayan elemanlar ile birlikte ortogonal elemanlar da bulunmaktadır. Şekil 1.1’de gösterilmiş olan X ve Y eksenlerine paralel olan kolonlar ve eksenleri X ve Y doğrultularından birine paralel olan kirişler bu tür elemanlardır. ABYYHY’e göre bu tür elemanlar ile ilgili superpozisyon ve kesit hesapları için özel formüllerin kullanılmasına gerek yoktur. Yani bu elemanlar ile ilgili hesaplar ortogonal yapılardaki gibi yapılabilmektedir.

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması konusunda, yönetmelik hükümlerinin uygulanması ile ilgili olasılıklar aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

1.1 Etkileşimsiz Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmaması halinde, her eleman için (1.1) ve (1.2) formüllerine göre hesaplanan eğilme momentleri (G. Özmen, 2001)

$$M_a = \pm(|M_{ax}| + 0.30|M_{ay}|) \quad M_b = 0 \quad (1.3a)$$

$$M_a = 0 \quad M_b = \pm(|M_{bx}| + 0.30|M_{by}|) \quad (1.3b)$$

$$M_a = \pm(0.30|M_{ax}| + |M_{ay}|) \quad M_b = 0 \quad (1.3c)$$

$$M_a = 0 \quad M_b = \pm(0.30|M_{bx}| + |M_{by}|) \quad (1.3d)$$

biçiminde yazılabilmektedir. Burada da M_{ij} katsayılarındaki i indisi asal eksen, j indisi de deprem doğrultusunu göstermektedir. Deprem yüklemelerinin tersinir nitelikte oldukları göz önünde tutularak, (1.3) formüllerinde mutlak değer gösterimi kullanılmış bulunmaktadır. Her bir kolon için, (1.3a) ~ (1.3d) formüllerinden her biri ayrı ayrı uygulanıp, düşey yükler ve normal kuvvetler de göz önüne alınarak yapılan kesit hesapları sonunda elde edilen en elverişsiz donatı oranının kullanılması gerekmektedir.

1.2 Etkileşimli Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması durumunda, her eleman için elde edilecek momenti ifadeleri (G. Özmen, 2001)

$$M_a = \pm(M_{ax} + 0.30|M_{ay}|) \quad M_b = \pm(M_{bx} + 0.30|M_{by}|) \quad (1.4a)$$

$$M_a = \pm(0.30|M_{ax}| + |M_{ay}|) \quad M_b = \pm(0.30|M_{bx}| + |M_{by}|) \quad (1.4b)$$

biçimini alır. Bu durumda da, (1.4a) ve (1.4b) formülleri ayrı ayrı uygulanıp, düşey yükler ve normal kuvvetler de göz önüne alınarak yapılan kesit hesapları sonunda elde edilen en elverişsiz donatı oranı kullanılmalıdır.

1.3 Karelerin Toplamının Kare Kökü

Yukarıda belirtildiği gibi, bazı çağdaş yönetmeliklerde, elverişsiz kesit zorlarının hesabında “Karelerin Toplamının Kare Kökü” (KTKK) yönteminin de kullanılabileceği belirtilmiş bulunmaktadır. Gerçekte, KTKK yönteminin en büyük kesit zorlarını veren kesin bir yöntem olduğu uzun bir süreden beri bilinmektedir. Bazı yönetmeliklere son yıllarda girebilmiş olan bu yöntemde ortogonal olmayan elemanların a ve b asal eksenleri doğrultusundaki B_a ve B_b iç kuvvetleri (1.5a) ve (1.5b) formüllerinde görülmektedir. (G. Özmen, 2001)

$$B_a = \pm\sqrt{B_{ax}^2 + B_{ay}^2} \quad (1.5a)$$

$$B_b = \pm\sqrt{B_{bx}^2 + B_{by}^2} \quad (1.5b)$$

Bu yöntemin elverişsiz kiriş eğilme momentlerinin hesabı için kesin nitelikte olduğu bilinmektedir. Ancak burada da, iki eksenli eğilme momenti etkisinde bulunan kolonlar için uygulanacak superpozisyon biçimi belirgin değildir. KTKK yöntemi uygulamalarında, kolon kesit hesapları için

$$M_a = \pm \sqrt{M_{ax}^2 + M_{ay}^2} \quad M_b = \pm \sqrt{M_{bx}^2 + M_{by}^2} \quad (1.6)$$

veya

$$M_a = \pm \sqrt{M_{ax}^2 + M_{ay}^2} \quad M_b = 0 \quad (1.7a)$$

$$M_a = 0 \quad M_b = \pm \sqrt{M_{bx}^2 + M_{by}^2} \quad (1.7b)$$

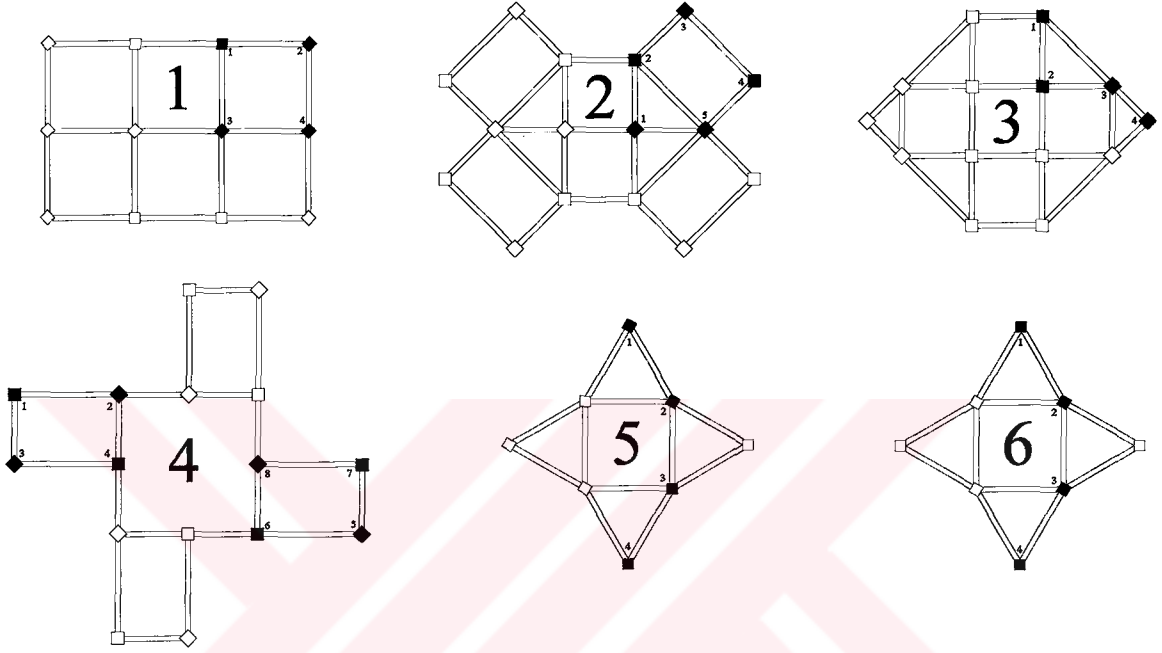
formüllerinin kullanılabilceği söylenebilir. (1.6) formüllerinin uygulanması durumunda, her iki asal eğilme momentinin de maksimumu kullanıldığından, oldukça abartılmış değerler elde edilecektir. Bu nedenle uygulamada genellikle, (1.7) formülleri kullanılmaktadır.

1.4 İrdeleme

Yukarıda açıklanan superpozisyon yöntemlerinden hangisinin daha uygun olduğunun belirlenmesi gerekmektedir. Kolon kesit hesapları için, eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin nasıl göz önüne alınacağı yönetmeliklerde açıkça belirtilmemiştir. Ayrıca bu superpozisyon formülleri yalnızca ortogonal olmayan elemanlar için önerilmiştir. Yönetmelikce ortogonal olan elemanlar için özel bir superpozisyon yöntemine gereksinim duyulmamaktadır. Bu çalışmada, çerçevelerden oluşan yapılar için, ortogonal olmayan ve ortogonal olan kolonlarda oluşan en elverişsiz donatı oranlarını saptayabilmek amacı ile, basit fakat gerçekçi bir superpozisyon formülünün elde edilmesine çalışılacaktır. Bu amaçla, belirli sayıda örnek yapı seçilip deprem doğrultusu parametrik olarak değiştirilerek hesaplamalar yapılacaktır.

2. ÖRNEK YAPILAR

Araştırmanın uygulamada karşılaşılan yapıların olabildiğince geniş bir bölümünü kapsayabilmesi amacı ile seçilen, 6 adet örnek yapının şematik kalıp planları Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Örnek Yapıların Şematik Kalıp Planları

Bu yapıların karakteristikleri aşağıda ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Burada kısaca tanımları yapılarak genel özellikleri ve ilgili varsayımlar belirtilecektir.

2.1 Varsayımlar

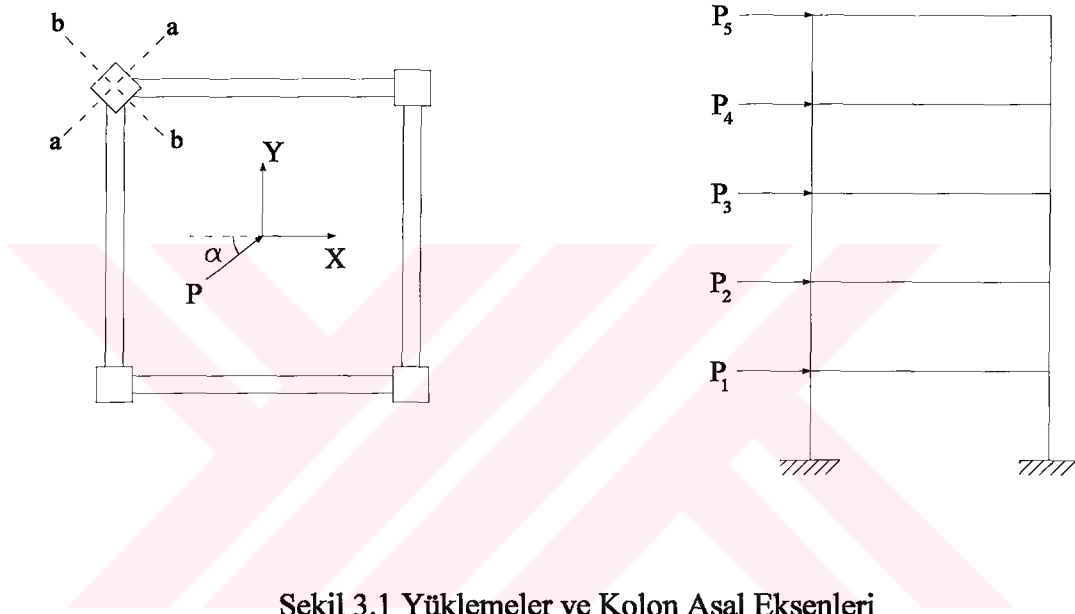
Parametrik araştırmada düşey yükler ve normal kuvvetler de göze alınarak yapılan kesit hesapları neticesinde belirlenecek elverişsiz donatı oranları saptanıp, çeşitli superpozisyon yöntemleri irdelenecektir. İki eksenli eğilme momenti etkisinde bulunan kolonlarda, donatı oranları hesapları birçok değişkene bağlıdır. Kesite etkileyen normal kuvvet değeri, dikdörtgen kesitlerde kesit boyutlarının oranı ve donatının kesit içindeki dağılımı başlıca faktörler arasındadır. Bu çalışmada depremden meydana gelen eğilme momentlerinin karşılıklı etkisini diğer faktörlerden soyutlamak için bazı basitleştirici varsayımlar yapılmış bulunmaktadır.

Parametrik araştırmalarda göz önüne alınan örnek yapıların tümü için geçerli olan en önemli varsayımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Seçilen örneklerde tüm düşey taşıyıcı elemanlar kolonlardır. Taşıyıcı perdeler içeren yapı sistemleri bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.
- 2- Tüm kolonların kesitleri karedir ve donatının köşelerde toplandığı varsayılmıştır.
- 3- Tüm örnekler beş katlı olarak seçilmiş olup kat yükseklikleri 3.00 m'dir. Parametrik araştırmada incelen kolonlar, eğilme momentlerinin en fazla olduğu zemin kat kolonlarıdır.
- 4- Donatı hesaplarında düşey yüklerden oluşan eğilme momentleri göz önüne alınmamıştır. Bu varsayımın nicesel sonuçları biraz değiştireceği, ancak karşılaştırmalara etkisinin ihmal edilebilecek nitelikte olduğu düşünölmektedir.
- 5- Tüm örnekler için, yapı yükleri ve boyutları, kolon toplam donatı oranları % 1 ~ % 2,3 arasında olacak biçimde seçilmiştir. Deprem hesapları eşdeğer deprem yükü esas alınarak ve SAP 2000 programı kullanılarak yapılmıştır.
- 6- Seçilen örnekler ile ilgili parametrik araştırmalarda ve karşılaştırmalarda sadece kolonlar göz önüne alınmıştır.

3. ÇALIŞMADA İZLENEN PARAMETRİK ARAŞTIRMA

Çalışmada 6 adet beş katlı farklı yapı seçilip bu yapıların her katı belirlenen P_1, P_2, P_3, P_4 ve P_5 deprem yüklerine maruz bırakılacaktır. Ancak belirli deprem doğrultularına bağlı kalmadan, mümkün olduğunca çok doğrultuda deprem yüklemelerini etkilemek amacı ile Şekil 3.1’de görülen α açısı $\alpha = 0, 10, 20, \dots, 180^\circ$ değerleri arasında değiştirilecektir.

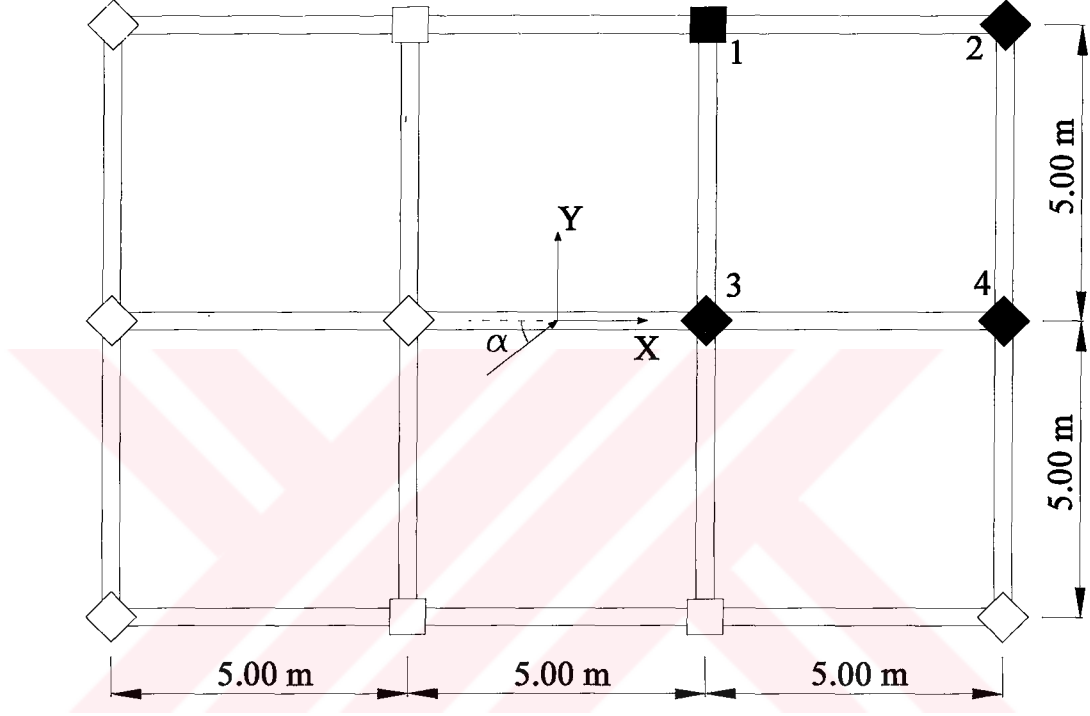


Şekil 3.1 Yüklemler ve Kolon Asal Eksenleri

Böylece deprem yüklerinin farklı açılarda etkimesi sonucunda incelenen kolonlarda her bir açıdaki deprem yüklemelerine karşılık farklı eğilme momenti değerleri elde edilecektir (M_a, M_b). Dolayısı ile her açıya karşılık gelen kolon donatı gereksinimleri de birbirlerinden farklı olacaktır. Bu çalışmada kolonların her bir açıdaki deprem yüklemelerine karşı gerekli donatı oranları tek tek incelenip maksimum değerler belirlenecektir. Daha sonra bu değerler mevcut superpozisyon formülleri ile elde edilen değerlerle kıyaslanıp gerekli bulunduğu takdirde yeni bir superpozisyon formülü oluşturulacaktır. Eğilme momentlerinin elde edilmesi için SAP 2000 yazılımı, kolon donatı hesapları için de A. Çakıroğlu ve E. Özer'in "Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri" den yararlanılarak M. Zorbozan tarafından hazırlanan program kullanılmıştır.

3.1 Örnek 1

İlk örnek olarak seçilen beş katlı yapının şematik kalıp planı Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Yapının kat yükseklikleri 3.00 m’dir. Tüm katlarda kolon ve kirişler sabit kesitlerde olan yapının kolonları $30 \times 30 \text{ cm}^2$, kirişleri de $25 \times 50 \text{ cm}^2$ olarak seçilmiş bulunmaktadır. Hesaplamalarda malzeme kalitesi olarak beton BS25 ve çelik BÇIII kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Örnek 1 Şematik Kalıp Planı

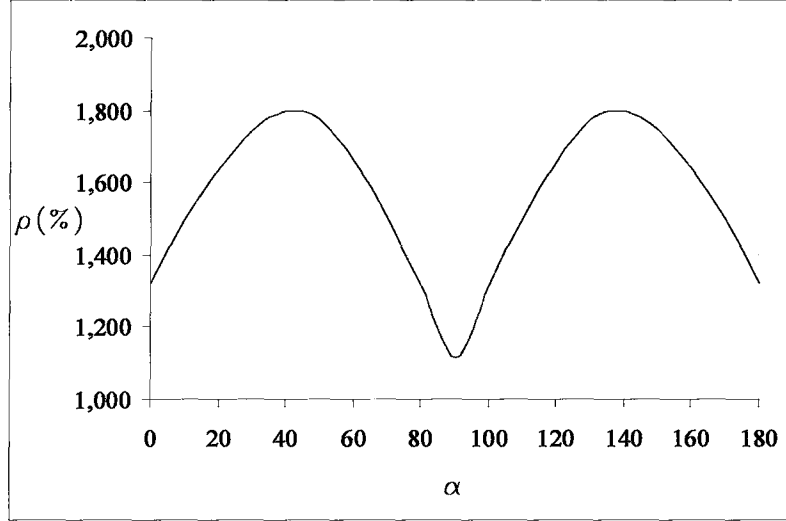
Örnekte yapının simetri özelliği de dikkate alınarak, numaralandırılmış dört kolonu incelenecektir. Bu kolonlardan 2, 3 ve 4 No.lu olanların asal eksenleri ortogonal eksenlere göre 45° döndürülmüştür. 1 No.lu kolon ise ortogondur.

Kolonlarda maksimum donatı oranını veren deprem doğrultusunu saptamak amacı ile, Şekil 3.2’de gösterilen α açısı $\alpha = 0, 10, 20, \dots, 180^\circ$ değerleri arasında değiştirilip sırası ile $P_1 = 40 \text{ kN}$, $P_2 = 80 \text{ kN}$, $P_3 = 125 \text{ kN}$, $P_4 = 165 \text{ kN}$ ve $P_5 = 210 \text{ kN}$ alınarak hesaplamalar yapılmıştır. İncelenen dört kolon için Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4’de her α değerine karşılık elde edilen M_a ve M_b değerleri ve bu değerler kullanılarak saptanan ρ donatı oranları belirtilmiştir. Kolon kesit hesaplarında kullanılan normal kuvvetler SAP2000 programından elde edilen yaklaşık değerler olup sırası ile $N_1 = 740 \text{ kN}$, $N_2 = 450 \text{ kN}$,

$N_3 = 950$ kN ve $N_4 = 770$ kN olarak kullanılmıştır. ρ donatı oranları A. Çakıroğlu'nun yazılımı ile elde edilmiştir. Ayrıca donatı oranlarının değişimi Kolon 1 için Şekil 3.3'de, Kolon 2 için Şekil 3.4'de, Kolon 3 için Şekil 3.5'de ve Kolon 4 için Şekil 3.6'de grafik olarak gösterilmiştir. İncelenen dört kolonun tümünün donatı oranlarının değişimi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1: Örnek 1 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 1	OK	30/30	740,00	30,00	0	0,00	90,51	1,322
					10	14,31	89,13	1,497
					20	28,19	85,05	1,642
					30	41,22	78,38	1,746
					40	52,98	69,33	1,798
					50	63,14	58,18	1,775
					60	71,38	45,26	1,660
					70	77,46	30,95	1,501
					80	81,18	15,72	1,315
					90	82,43	0,00	1,114
					100	81,18	-15,72	1,315
					110	77,46	-30,95	1,501
					120	71,38	-45,26	1,660
					130	63,14	-58,18	1,775
					140	52,98	-69,33	1,798
					150	41,22	-78,38	1,746
					160	28,19	-85,05	1,642
170	14,31	-89,13	1,497					
180	0,00	-90,51	1,322					

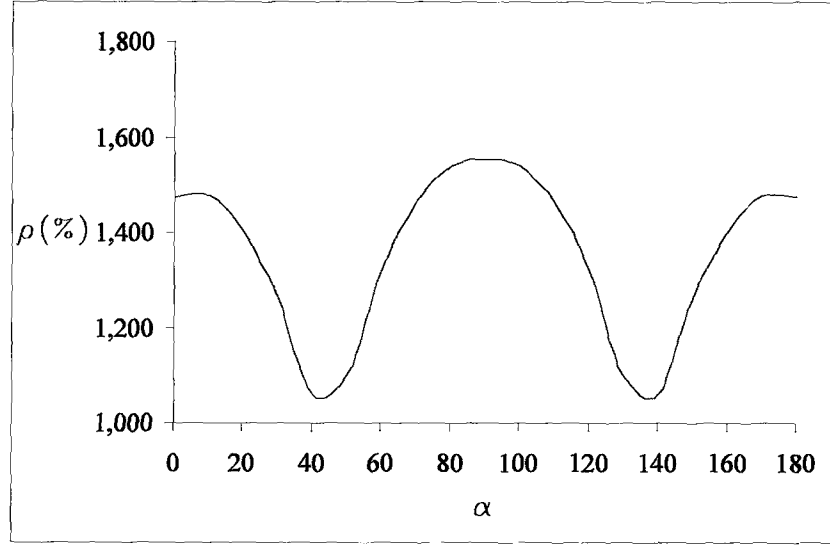


Şekil 3.3 Örnek 1 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi

Yukardaki şekilde de görüldüğü gibi diyagram belirli bir simetride ilerlemiştir ve iki bölgede maksimum değerlerine ulaşmıştır. Kolon 1 için maksimum donatı oranları $\alpha = 40^\circ$ ve $\alpha = 140^\circ$ değerleri civarında ve $\rho_p = \% 1.798$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.2: Örnek 1 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 2	NOK	30/30	450,00	30,00	0	-56,88	56,88	1,474
					10	-66,13	45,89	1,476
					20	-73,38	33,51	1,405
					30	-78,40	20,11	1,264
					40	-81,03	6,10	1,059
					50	-81,21	-8,09	1,102
					60	-78,91	-22,04	1,316
					70	-74,22	-35,32	1,464
					80	-67,28	-47,52	1,540
					90	-58,29	-58,29	1,541
					100	-47,52	-67,28	1,540
					110	-35,32	-74,22	1,464
					120	-22,04	-78,91	1,316
					130	-8,09	-81,21	1,102
					140	6,10	-81,03	1,059
					150	20,11	-78,40	1,264
					160	33,51	-73,38	1,405
170	45,89	-66,13	1,476					
180	56,88	-56,88	1,474					

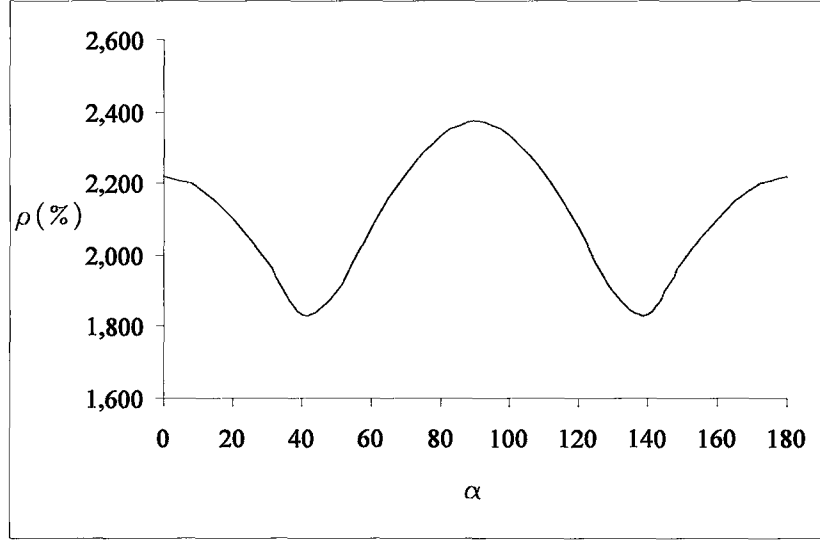


Şekil 3.4 Örnek 1 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve bir noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 2 için maksimum donatı oranı $\alpha = 90^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.541$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.3: Örnek 1 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 3	NOK	30/30	950,00	30,00	0	-64,00	64,00	2,217
					10	-74,67	51,38	2,186
					20	-83,07	37,21	2,102
					30	-88,95	21,90	1,981
					40	-92,12	5,93	1,834
					50	-92,50	-10,22	1,899
					60	-90,06	-26,06	2,078
					70	-84,89	-41,12	2,227
					80	-77,14	-54,91	2,332
					90	-67,05	-67,05	2,375
					100	-54,91	-77,14	2,332
					110	-41,12	-84,89	2,227
					120	-26,06	-90,06	2,078
					130	-10,22	-92,50	1,899
					140	5,93	-92,12	1,834
					150	21,90	-88,95	1,981
					160	37,21	-83,07	2,102
					170	51,38	-74,67	2,186
180	64,00	-64,00	2,217					

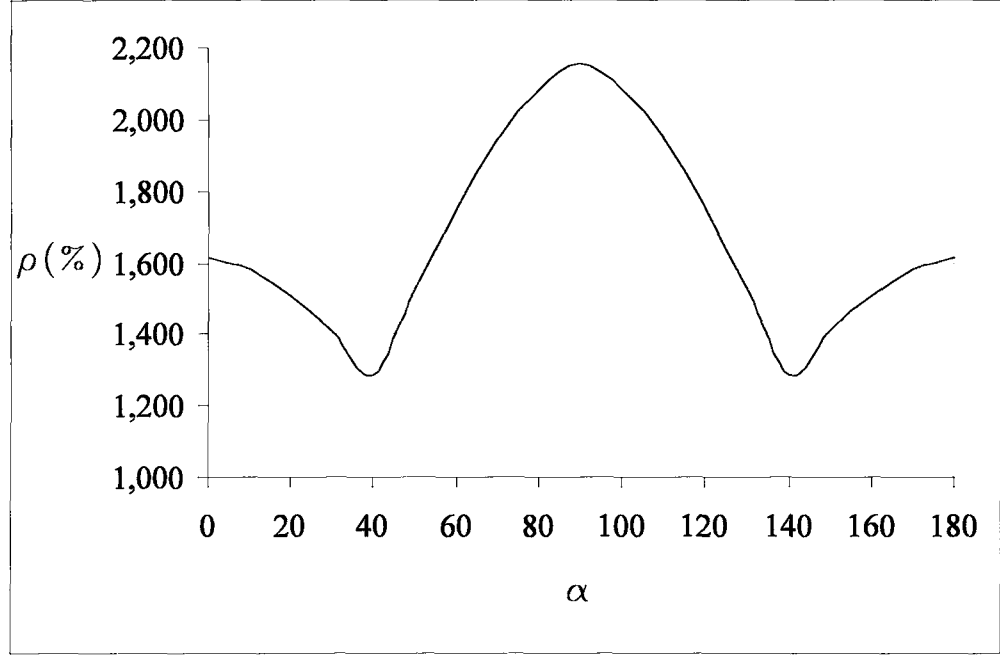


Şekil 3.5 Örnek 1 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve bir noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 3 için maksimum donatı oranı $\alpha = 90^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 2.375$ olarak elde edilmiştir.

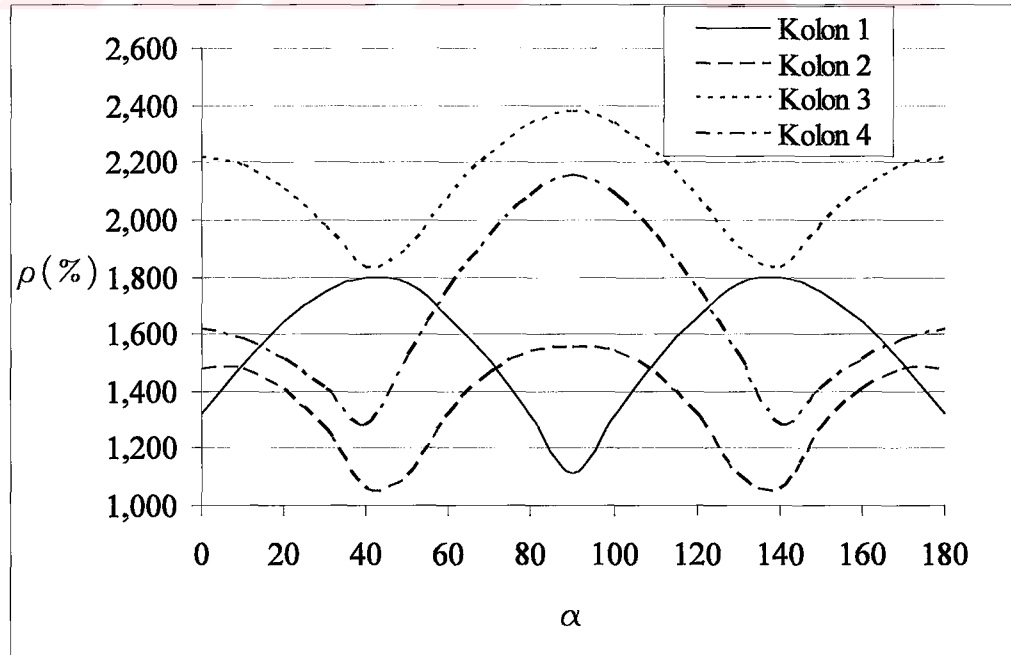
Çizelge 3.4 Örnek 1 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 4	NOK	30/30	770,00	30,00	0	-56,88	56,88	1,614
					10	-67,65	44,37	1,583
					20	-76,37	30,51	1,509
					30	-82,78	15,73	1,405
					40	-86,66	0,45	1,282
					50	-87,92	-14,80	1,523
					60	-86,50	-29,63	1,752
					70	-82,45	-43,55	1,945
					80	-75,91	-56,15	2,085
					90	-67,05	-67,05	2,155
					100	-56,15	-75,91	2,085
					110	-43,55	-82,45	1,945
					120	-29,63	-86,50	1,752
					130	-14,80	-87,92	1,523
					140	0,45	-86,66	1,282
					150	15,73	-82,78	1,405
					160	30,51	-76,37	1,509
170	44,37	-67,65	1,583					
180	56,88	-56,88	1,614					



Şekil 3.6 Örnek 1 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi

Kolon 4 için maksimum donatı oranı $\alpha = 90^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 2.155$ olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 3.7'de dört kolonun donatı oranlarının değişimi beraber gösterilmiştir. Kolonlardan ortogonal olan Kolon 1 deki donatı değişimi sürekli çizgiyle ortogonal olmayan Kolon 2, Kolon 3 ve Kolon 4 deki donatı değişimleri ise kesikli çizgilerle gösterilmiştir.



Şekil 3.7 Örnek 1 (Tüm Kolonlar) Donatı Oranlarının Değişimi

3.1.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi

Yukardaki Bölümde uygulanan parametrik araştırma sonucunda, incelenen kolonların donatı oranları için en elverişsiz deprem doğrultuları ile bu doğrultulara karşı gelen maksimum donatı oranı saptanmış bulunmaktadır. Burada Bölüm 1'de açıklanan süperpozisyon formülleri uygulanarak, yönetmeliklere göre elde edilen donatı oranları hesaplanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

a) Etkileşimsiz Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmaması halinde, (1.3) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 Örnek 1 Etkileşimsiz Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,00	82,43	90,51	0,00	0,00	90,51	1,322	1,322	1,798	-26,4
						82,43	0,00	1,114			
2	NOK	56,88	58,29	56,88	58,29	74,37	0,00	0,772	0,797	1,541	-48,2
						0,00	74,37	0,772			
						75,35	0,00	0,797			
						0,00	75,35	0,797			
3	NOK	64,00	67,05	64,00	67,05	84,11	0,00	1,557	1,612	2,375	-32,1
						0,00	84,11	1,557			
						86,25	0,00	1,612			
						0,00	86,25	1,612			
4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05	76,99	0,00	1,027	1,211	2,155	-43,8
						0,00	76,99	1,027			
						84,11	0,00	1,211			
						0,00	84,11	1,211			

Çizelgenin M_{ax} , M_{ay} , M_{bx} ve M_{by} başlıklı kolonlarında, sırası ile, X ve Y eksenleri doğrultusundaki $P_1 = 40$ kN, $P_2 = 80$ kN, $P_3 = 125$ kN, $P_4 = 165$ kN ve $P_5 = 210$ kN Şiddetindeki katlara gelen deprem yüklemelerinden a ve b asal eksenleri etrafında meydana gelen eğilme momentleri bulunmaktadır. M_a ve M_b başlıklı kolonlara da, bu değerler

kullanılarak elde edilen ve kesit hesabında kullanılan eğilme momentleri yazılmıştır. Ortogonal olmayan 2, 3 ve 4 No.lu kolonlar için (1.3) formülleri kullanılmış, ortogonal olan 1 No.lu kolon için ise, ilgili eğilme momentleri doğrudan aktarılmıştır. ρ başlıklı kolonda kesit hesabı sonunda bulunan donatı oranı değerleri, ρ_{max} başlıklı kolonda da, 4 (veya 2) ρ değeri arasından seçilen maksimum donatı oranı değerleri bulunmaktadır. ρ_p başlıklı kolonda parametrik araştırmada bulunan donatı oranları yazılmış, çizelgenin son kolonunda da hata değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde ve -% 26.4 ile -% 43.8 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir. Ayrıca ortogonal olmayan kolonlardaki hata oranlarının ortogonal kolona göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmektedir.

b) Etkileşimli Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması halinde, (1.4) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.6 Örnek 1 Etkileşimli Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,00	82,43	90,51	0,00	0,00	90,51	1,322	1,322	1,798	-26,4
						82,43	0,00	1,114			
2	NOK	56,88	58,29	56,88	58,29	74,37	74,37	2,311	2,359	1,541	53,1
						75,35	75,35	2,359			
3	NOK	64,00	67,05	64,00	67,05	84,11	84,11	3,296	3,416	2,375	43,8
						86,25	86,25	3,416			
4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05	76,99	76,99	2,675	3,115	2,155	44,5
						84,11	84,11	3,115			

Bu çizelgenin düzeni de Çizelge 3.5 gibidir. Ortogonal olan 1 No.lu kolon ile ilgili değerler Çizelge 3.5'tekinin aynıdır, dolayısı ile donatı oranı güvensiz yönde ve -% 26.4 değerindedir. Ortogonal olmayan kolonlarda ise elde edilen donatı oranları +% 43.8 ile +% 53.1 oranları arasında hatalı olup aşırı güvenli niteliktedir.

c) Karelerin Toplamının Kare Kökü

Karelerin Toplamının Kare Kökü yönteminin uygulanması halinde, (1.7) formülleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.7'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.7 Örnek 1 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu

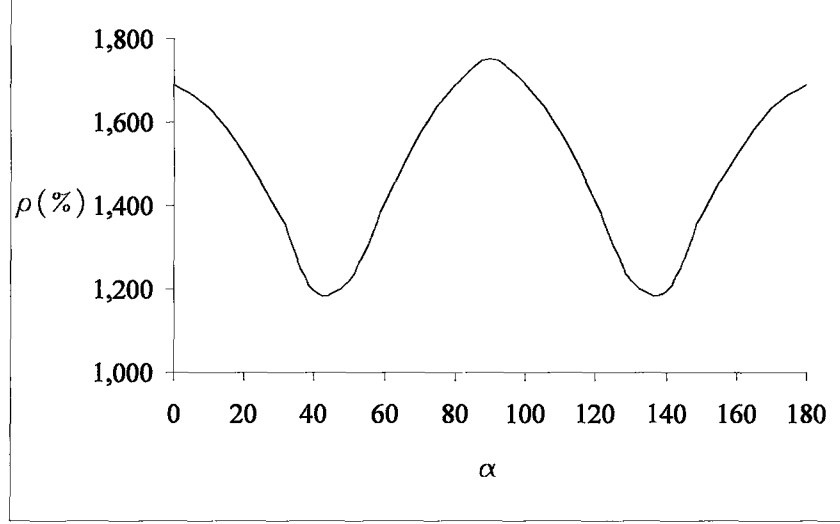
Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,00	82,43	90,51	0,00	0,00	90,51	1,322	1,322	1,798	-26,4
						82,43	0,00	1,114			
2	NOK	56,88	58,29	56,88	58,29	81,44	0,00	0,954	0,954	1,541	-38,0
						0,00	81,44	0,954			
3	NOK	64,00	67,05	64,00	67,05	92,69	0,00	1,778	1,778	2,375	-25,1
						0,00	92,69	1,778			
4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05	87,92	0,00	1,309	1,309	2,155	-39,2
						0,00	87,92	1,309			

Bu çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde -% 25.1 ile -% 39.2 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir. Üç tür superpozisyonda sadece ortogonal olmayan kolonlar için farklı donatı oranları bulunmakta, ortogonal kolonlar için hesaplanan donatı oranları ise değişmemektedir. Dikkat çeken önemli bir husus, ortogonal kolonlar için hesaplanan donatı oranlarının, parametrik araştırmada elde edilen gerçek değerlere göre, güvensiz yönde ve önemli sayılabilecek oranda hatalı olmalarıdır.

belirtilmiştir. Kolon kesit hesaplarında normal kuvvetler SAP2000 programından elde edilen $N_1 = 930$ kN, $N_2 = 870$ kN, $N_3 = 500$ kN, $N_4 = 500$ kN ve $N_5 = 1100$ kN olan yaklaşık değerler ve her α değerine karşı gelen M_a ve M_b değerleri kullanılmıştır. Donatı oranlarının değişimi Kolon 1 için Şekil 3.9'da, Kolon 2 için Şekil 3.10'da, Kolon 3 için Şekil 3.11'de, Kolon 4 için Şekil 3.12'de ve Kolon 5 için Şekil 3.13'de grafik olarak gösterilmiştir. Ayrıca birbirlerine göre konumları benzer görünen, ortogonal olmayan 3 No.lu kolon ile ortogonal olan 4 No.lu kolon ve ortogonal olan 2 No.lu kolon ile ortogonal olmayan 5 No.lu kolonlardaki donatı değişimleri iki ayrı grafikte (şekil 3.14 ve şekil 3.15) gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Örnek 2 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 1	NOK	35/35	930,00	30,00	0	-96,84	96,84	1,690
					10	-112,50	78,23	1,632
					20	-124,75	57,25	1,521
					30	-133,20	34,52	1,374
					40	-137,61	10,75	1,194
					50	-137,84	13,35	1,222
					60	-133,88	-37,04	1,410
					70	-125,85	-59,61	1,570
					80	-114,00	-80,37	1,689
					90	-98,68	-98,68	1,751
					100	-80,37	-114,00	1,689
					110	-59,61	-125,85	1,570
					120	-37,04	-133,88	1,410
					130	-13,35	-137,84	1,222
					140	10,75	-137,61	1,194
					150	34,52	-133,20	1,374
					160	57,25	-124,75	1,521
					170	78,23	-112,50	1,632
					180	96,84	-96,84	1,690

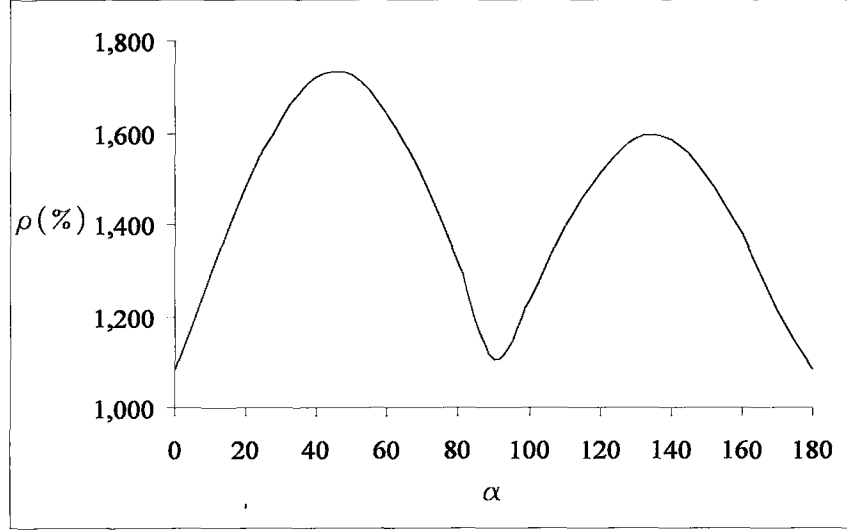


Şekil 3.9 Örnek 2 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve bir noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 1 için maksimum donatı oranı $\alpha = 90^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.751$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.9 Örnek 2 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 2	OK	35/35	870,00	30,00	0	3,18	136,97	1,081
					10	27,18	135,41	1,297
					20	50,34	129,74	1,484
					30	71,98	120,13	1,631
					40	91,43	106,87	1,722
					50	108,10	90,36	1,724
					60	121,49	71,11	1,639
					70	131,19	49,69	1,499
					80	136,90	26,77	1,316
					90	138,45	3,03	1,103
					100	135,79	-20,80	1,234
					110	129,01	-44,00	1,393
					120	118,31	-65,86	1,514
					130	104,01	-85,72	1,586
					140	86,55	-102,97	1,582
					150	66,47	-117,10	1,503
					160	44,36	-127,67	1,376
170	20,90	-134,36	1,213					
180	-3,18	-136,97	1,081					

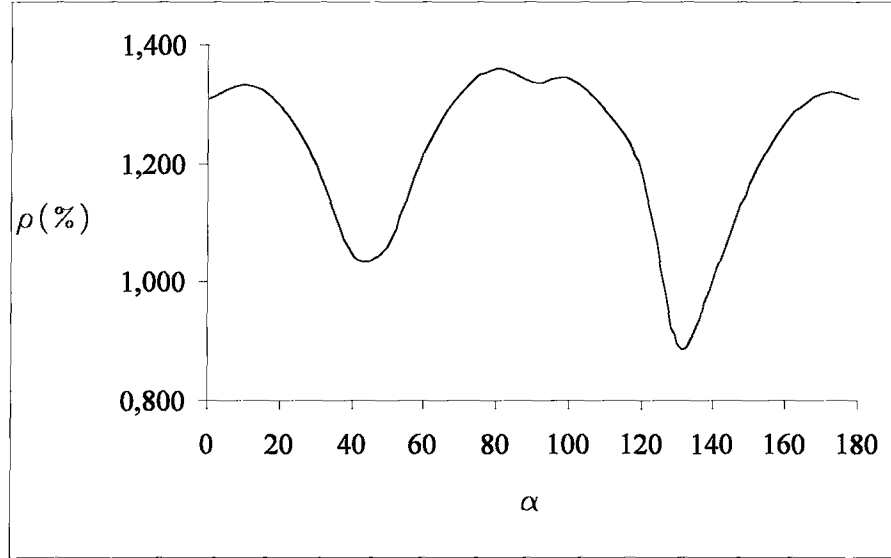


Şekil 3.10 Örnek 2 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ve bir bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 2 için maksimum donatı oranı $\alpha = 50^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.724$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.10 Örnek 2 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 3	NOK	35/35	500,00	30,00	0	-86,61	84,63	1,310
					10	-100,49	68,47	1,334
					20	-111,32	50,23	1,295
					30	-118,76	30,46	1,196
					40	-122,60	9,77	1,043
					50	-122,71	-11,22	1,059
					60	-119,09	-31,87	1,216
					70	-111,85	-51,55	1,318
					80	-101,22	-69,67	1,359
					90	-87,51	-85,66	1,337
					100	-71,14	-99,06	1,343
					110	-52,61	-109,44	1,287
					120	-32,48	-116,50	1,182
					130	-11,36	-120,02	0,890
					140	10,10	-119,89	1,004
					150	31,25	-116,12	1,164
					160	51,46	-108,82	1,270
170	70,10	-98,22	1,318					
180	86,61	-84,63	1,310					

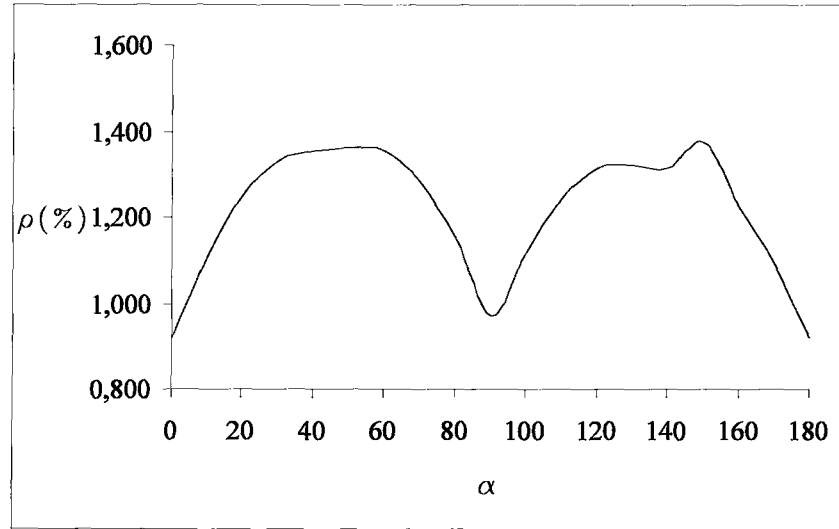


Şekil 3.11 Örnek 2 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram bir bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 3 için maksimum donatı oranı $\alpha = 80^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.359$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.11 Örnek 2 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 4	OK	35/35	500,00	30,00	0	0,35	120,57	0,918
					10	21,71	119,03	1,109
					20	42,40	113,88	1,249
					30	61,81	105,27	1,332
					40	79,34	93,46	1,353
					50	94,45	78,82	1,362
					60	106,70	61,77	1,353
					70	115,71	42,85	1,282
					80	121,20	22,63	1,152
					90	123,01	1,72	0,969
					100	121,08	-19,24	1,115
					110	115,47	-39,62	1,243
					120	106,35	-58,79	1,314
					130	94,00	-76,18	1,324
					140	78,80	-91,25	1,313
					150	61,20	-108,55	1,375
					160	41,74	-112,71	1,223
170	21,01	-118,43	1,092					
180	-0,35	-120,57	0,918					

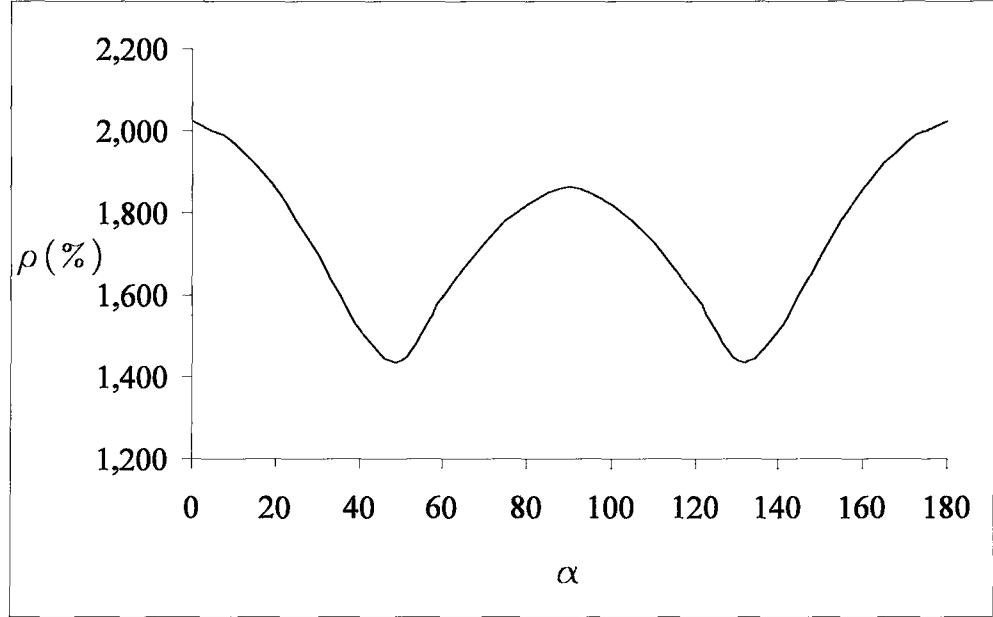


Şekil 3.12 Örnek 2 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ve bir bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 4 için maksimum donatı oranı $\alpha = 150^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.375$ olarak elde edilmiştir.

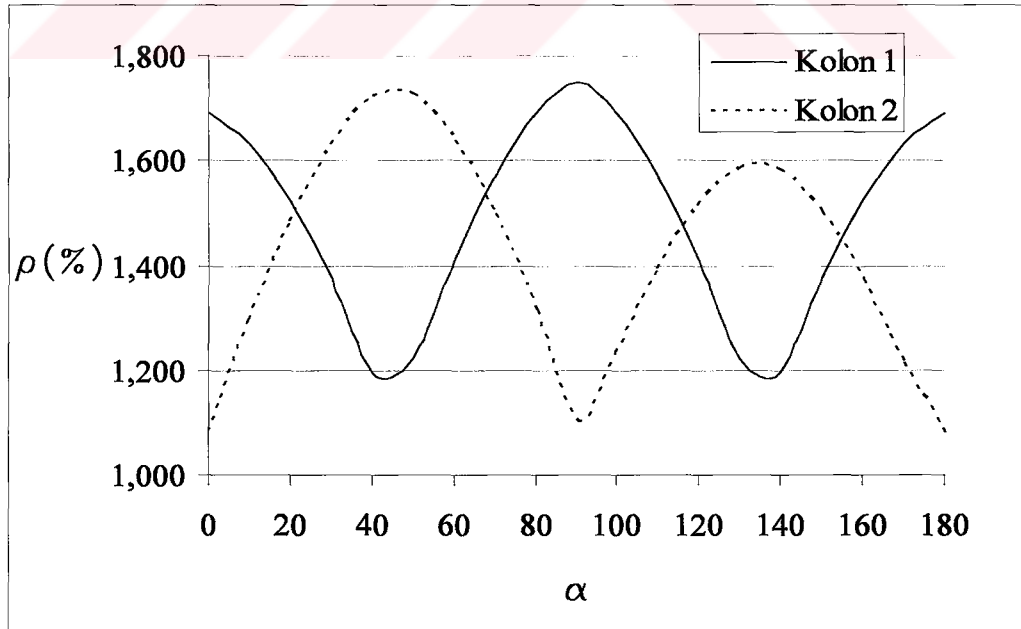
Çizelge 3.12 Örnek 2 (Kolon 5) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 5	NOK	35/35	1100,00	30,00	0	-102,84	102,84	2,024
					10	-118,27	84,28	1,970
					20	-130,11	63,17	1,857
					30	-137,99	40,13	1,699
					40	-141,68	15,87	1,512
					50	-141,07	-8,86	1,441
					60	-136,17	-33,33	1,596
					70	-127,13	-56,79	1,727
					80	-114,23	-78,52	1,821
					90	-97,86	-97,86	1,863
					100	-78,52	-114,23	1,821
					110	-56,79	-127,13	1,727
					120	-33,33	-136,17	1,596
					130	-8,86	-141,07	1,441
					140	15,87	-141,68	1,512
					150	40,13	-137,99	1,699
					160	63,17	-130,11	1,857
170	84,28	-118,27	1,970					
180	102,84	-102,84	2,024					

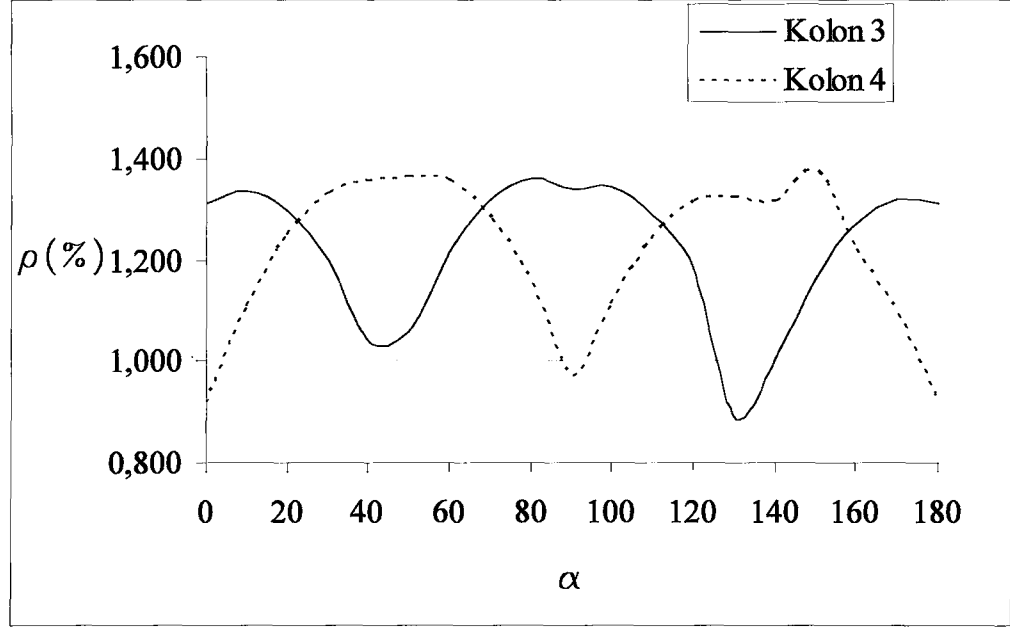


Şekil 3.13 Örnek 2 (Kolon 5) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetri ile ilerlemiştir ve iki bölgede maksimum değerlerine ulaşmıştır. Kolon 5 için maksimum donatı oranları $\alpha = 0^\circ$ ve $\alpha = 180^\circ$ değerleri civarında ve $\rho_p = \%2.024$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.14 Örnek 2 (Kolon 1 ve 2) Donatı Oranlarının Değişimi



Şekil 3.15 Örnek 2 (Kolon 3 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi

Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de 2 ve 4 No.lu ortogonal kolonlar ile 1 ve 3 No.lu ortogonal olmayan kolonlar karşılaştırılmıştır. Grafikler incelendiğinde donatı diyagramlarının yaklaşık 45° faz farkı ile benzer oldukları görülmektedir. Ancak deprem yönetmeliklerinin uygulanmasında değişik sonuçlar elde edilmesi kaçınılmazdır.

3.2.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi

Bu bölümde, yönetmeliklere göre elde edilen donatı oranları Bölüm 1’de açıklanan süperpozisyon formülleri yardımı ile hesaplanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

a) Etkileşimsiz Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmaması halinde, (1.3) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.13’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.13 Örnek 2 Etkileşimsiz Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	96,84	98,68	96,84	98,68	126,44	0,00	0,923	0,944	1,751	-46,1
						0,00	126,44	0,923			
						127,73	0,00	0,944			
						0,00	127,73	0,944			
2	OK	3,18	138,45	136,97	3,03	3,18	136,97	1,081	1,103	1,724	-36,0
						138,45	3,03	1,103			
3	NOK	86,61	87,51	84,63	85,66	112,86	0,00	0,796	0,806	1,359	-40,7
						0,00	110,33	0,757			
						113,49	0,00	0,806			
						0,00	111,05	0,768			
4	OK	0,35	123,01	120,57	1,72	0,35	120,57	0,918	0,969	1,375	-29,5
						123,01	1,72	0,969			
5	NOK	102,84	97,86	102,84	97,86	132,20	0,00	1,231	1,231	2,024	-39,2
						0,00	132,20	1,231			
						128,71	0,00	1,176			
						0,00	128,71	1,176			

Çizelgenin M_{ax} , M_{ay} , M_{bx} ve M_{by} başlıklı kolonlarında, sırası ile, X ve Y eksenleri doğrultusundaki $P_1 = 80$ kN, $P_2 = 160$ kN, $P_3 = 240$ kN, $P_4 = 320$ kN ve $P_5 = 400$ kN şiddetindeki katlara gelen deprem yüklemelerinden a ve b asal eksenleri etrafında meydana gelen eğilme momentleri bulunmaktadır. M_a ve M_b başlıklı kolonlara da, bu değerler kullanılarak elde edilen ve kesit kesit hesabında kullanılan eğilme momentleri yazılmıştır. Ortogonal olmayan 1, 3 ve 5 No.lu kolonlar için (1.3) formülleri kullanılmış, ortogonal olan 2 ve 4 No.lu kolonlar için ise, ilgili eğilme momentleri doğrudan aktarılmıştır. ρ başlıklı kolonda kesit hesabı sonunda bulunan donatı oranı değerleri, ρ_{max} başlıklı kolonda da, 4 (veya 2) ρ değeri arasından seçilen maksimum donatı oranı değerleri bulunmaktadır. ρ_p başlıklı kolon parametrik araştırmada bulunan donatı oranları yazılmış, çizelgenin son kolonunda da hata değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde ve -% 29.5 ile -% 46.1 oranları arasında hatalı olduğu

belirlenmektedir. Ayrıca ortogonal olmayan kolonlardaki hata oranlarının ortogonal kolona göre daha yüksek değerlerde olduğu gözlenmektedir.

b) Etkileşimli Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması halinde, (1.4) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.14’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.14 Örnek 2 Etkileşimli Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M'_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	96,84	98,68	96,84	98,68	126,44	126,44	2,705	2,751	1,751	57,1
						127,73	127,73	2,751			
2	OK	3,18	138,45	136,97	3,03	3,18	136,97	1,081	1,103	1,724	-36,0
						138,45	3,03	1,103			
3	NOK	86,61	87,51	84,63	85,66	112,86	110,33	2,030	2,049	1,359	50,8
						113,49	111,05	2,049			
4	OK	0,35	123,01	120,57	1,72	0,35	120,57	0,918	0,969	1,375	-29,5
						123,01	1,72	0,969			
5	NOK	102,84	97,86	102,84	97,86	132,20	132,20	3,019	3,019	2,024	49,2
						128,71	128,71	2,897			

Bu çizelgenin düzeni de Çizelge 3.13 gibidir. Ortogonal olan 2 ve 4 No.lu kolonlar ile ilgili değerler Çizelge 3.13’dekinin aynıdır, donatı oranları güvensiz yönde -% 36.0 ve -% 29.5 değerlerindedir. Ortogonal olmayan kolonlarda ise elde edilen donatı oranları +% 49.2 ile +% 57.1 oranları arasında hatalı olup aşırı güvenli niteliktedir.

c) Karelerin Toplamının Kare Kökü

Karelerin Toplamının Kare Kökü yönteminin uygulanması halinde, (1.7) formülleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.15’te özetlenmiştir.

Çizelge 3.15 Örnek 2 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu

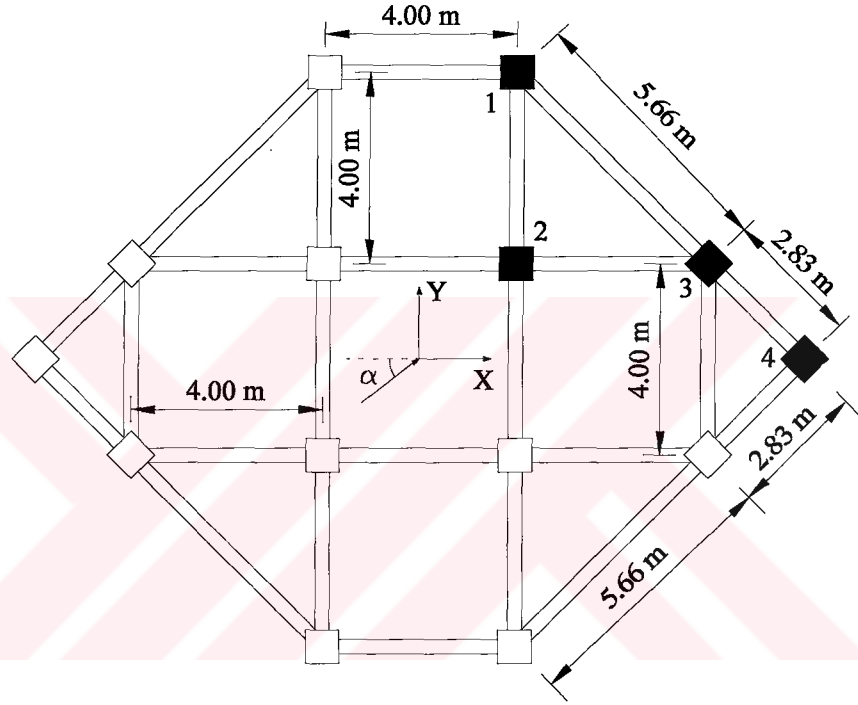
Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	96,84	98,68	96,84	98,68	138,26	0,00	1,110	1,110	1,751	-36,6
						0,00	138,26	1,110			
2	OK	3,18	138,45	136,97	3,03	3,18	136,97	1,081	1,103	1,724	-36,0
						138,45	3,03	1,103			
3	NOK	86,61	87,51	84,63	85,66	123,12	0,00	0,954	0,954	1,359	-29,8
						0,00	120,41	0,912			
4	OK	0,35	123,01	120,57	1,72	0,35	120,57	0,918	0,969	1,375	-29,5
						123,01	1,72	0,969			
5	NOK	102,84	97,86	102,84	97,86	141,96	0,00	1,385	1,385	2,024	-31,6
						0,00	141,96	1,385			

Bu çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde -% 29.5 ile -% 36.6 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir.

Tüm superpozisyonlarda sadece ortogonal olmayan kolonlar için farklı donatı oranları bulunmakta, ortogonal kolonlar için hesaplanan donatı oranları ise değişmemektedir.

3.3 Örnek 3

Üçüncü örnek olarak seçilen beş katlı yapının şematik kalıp planı Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Yapının kat yükseklikleri 3.00 m'dir. Tüm katlarda kolon ve kirişler sabit kesitlerdedir. Kolon ebatları $35 \times 35 \text{ cm}^2$, kiriş ebatları ise $25 \times 50 \text{ cm}^2$ olarak seçilmiş bulunmaktadır. Hesaplamalarda malzeme kalitesi olarak beton BS25 ve çelik BÇIII kullanılmıştır.



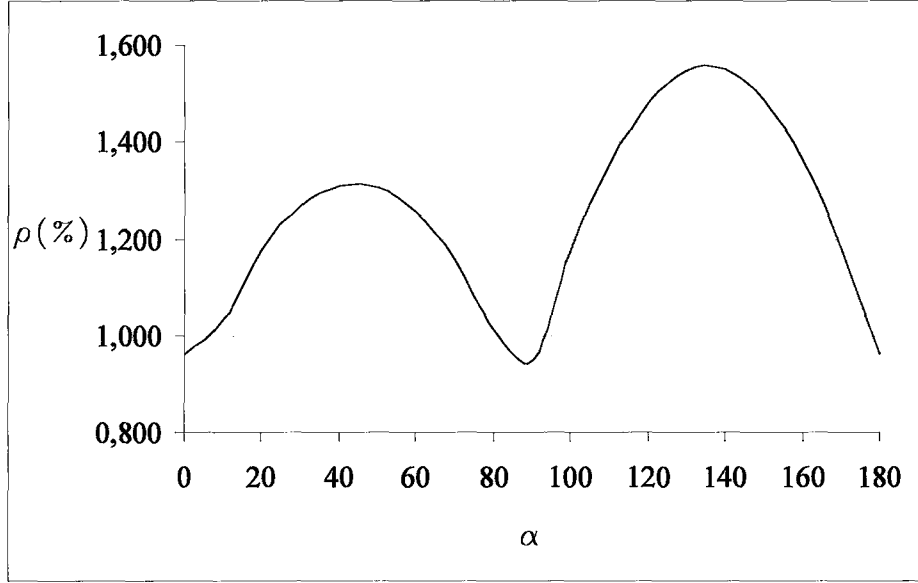
Şekil 3.16 Örnek 3 Şematik Kalıp Planı

Bu örnekte numaralandırılmış dört kolon incelenecektir. Kolonlardan 1 ve 2 No.lu olanlar ortogonal 3 ve 4 No.lu olanlar ise ortogonal olmayan (45° döndürülmüş) kolonlardır. Kolonlarda maksimum donatı oranını veren deprem doğrultusunu saptamak amacı ile, P deprem yükünün X eksenine yaptığı α açısı $\alpha = 0, 10, 20, \dots, 180^\circ$ değerleri arasında değiştirilip, beş katta deprem kuvvetleri sırası ile $P_1 = 75 \text{ kN}$, $P_2 = 145 \text{ kN}$, $P_3 = 210 \text{ kN}$, $P_4 = 280 \text{ kN}$ ve $P_5 = 360 \text{ kN}$ alınarak hesaplamalar yapılmış ve incelenen dört kolon için Çizelge 3.16, Çizelge 3.17, Çizelge 3.18 ve Çizelge 3.19'da her α değerine karşılık elde edilen M_a ve M_b değerleri ve bu değerler kullanılarak saptanan ρ donatı oranları belirtilmiştir. Kolon kesit hesaplarında normal kuvvetler SAP2000 programından elde edilen $N_1 = 775 \text{ kN}$, $N_2 = 1180 \text{ kN}$, $N_3 = 845 \text{ kN}$ ve $N_4 = 300 \text{ kN}$ olan yaklaşık değerler ve yukarıdaki

çizelgelerde gösterilen her α değerine karşı gelen M_a ve M_b değerleri kullanılmıştır. Donatı oranlarının değişimi Kolon 1 için Şekil 3.17'de, Kolon 2 için Şekil 3.18'de, Kolon 3 için Şekil 3.19'da ve Kolon 4 için Şekil 3.20'de grafik olarak gösterilmiştir. Ayrıca ortogonal olmayan 4 No.lu kolon ile ortogonal olan 1 No.lu kolondaki donatı değişimleri aynı grafikte şekil 3.21'de gösterilmiştir. Şekil 3.22'de ise incelenen dört kolonun tümünün donatı değişimleri aynı grafiktedir.

Çizelge 3.16 Örnek 3 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 1	OK	35/35	775,00	30,00	0	5,17	127,91	0,960
					10	-16,41	124,90	1,035
					20	-38,48	118,09	1,174
					30	-58,88	107,70	1,268
					40	-77,49	94,03	1,310
					50	-93,75	77,51	1,305
					60	-107,15	58,63	1,256
					70	-117,31	37,97	1,156
					80	-123,89	16,16	1,011
					90	-126,72	-6,14	0,951
					100	-125,69	-28,26	1,174
					110	-120,84	-49,52	1,354
					120	-112,32	-69,27	1,482
					130	-100,39	-86,92	1,547
					140	-85,41	-101,93	1,549
					150	-67,84	-113,84	1,486
					160	-48,20	-122,29	1,360
170	-27,09	-127,03	1,182					
180	-5,17	-127,91	0,960					

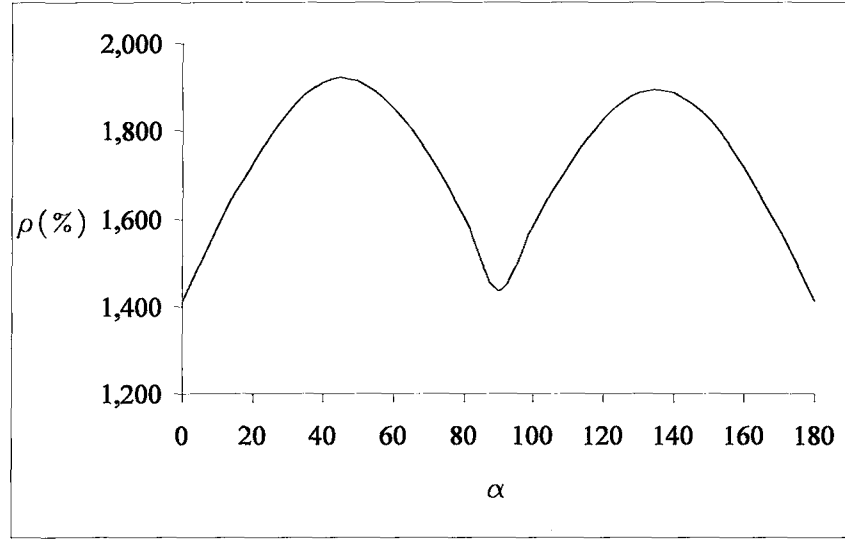


Şekil 3.17 Örnek 3 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi

Ortogonal olan Kolon 1 için maksimum donatı oranı $\alpha = 140^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \%1.549$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.17 Örnek 3 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 2	OK	35/35	1180,00	30,00	0	-0,08	136,52	1,409
					10	-24,00	134,62	1,579
					20	-47,19	128,63	1,726
					30	-68,95	118,73	1,841
					40	-88,61	105,22	1,909
					50	-105,58	88,51	1,913
					60	-119,34	69,12	1,853
					70	-129,48	47,62	1,745
					80	-135,68	24,68	1,602
					90	-137,76	0,99	1,435
					100	-135,66	-22,73	1,583
					110	-129,43	-45,76	1,723
					120	-119,27	-67,41	1,829
					130	-105,48	-87,00	1,888
					140	-88,49	-103,95	1,887
					150	-68,81	-117,74	1,823
					160	-47,04	-127,95	1,714
170	-23,85	-134,28	1,572					
180	0,08	-136,52	1,409					

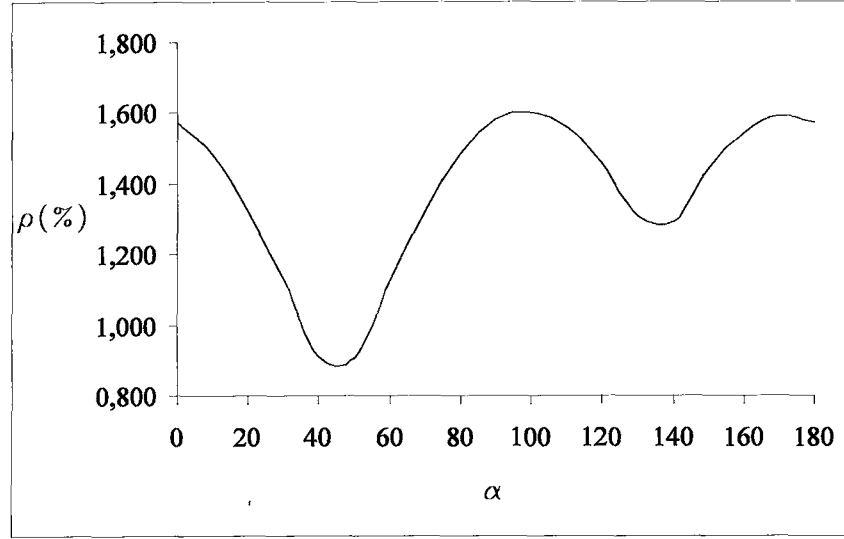


Şekil 3.18 Örnek 3 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ancak az bir farkla da olsa ilk ekstrem noktası daha yüksektir ve bu bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 2 için maksimum donatı oranı $\alpha = 50^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.913$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.18 Örnek 3 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 3	NOK	35/35	845,00	30,00	0	-104,17	84,72	1,573
					10	-84,59	98,33	1,479
					20	-62,44	108,96	1,323
					30	-38,40	116,28	1,129
					40	-13,19	120,07	0,912
					50	12,42	120,20	0,906
					60	37,66	116,69	1,127
					70	61,75	109,63	1,324
					80	83,96	99,24	1,484
					90	103,63	85,83	1,582
					100	120,14	69,82	1,603
					110	133,00	51,68	1,558
					120	141,83	31,97	1,457
					130	146,34	11,30	1,307
					140	146,41	-9,73	1,293
					150	142,03	-30,45	1,442
					160	133,33	-50,25	1,545
170	120,58	-68,53	1,591					
180	104,17	-84,72	1,573					

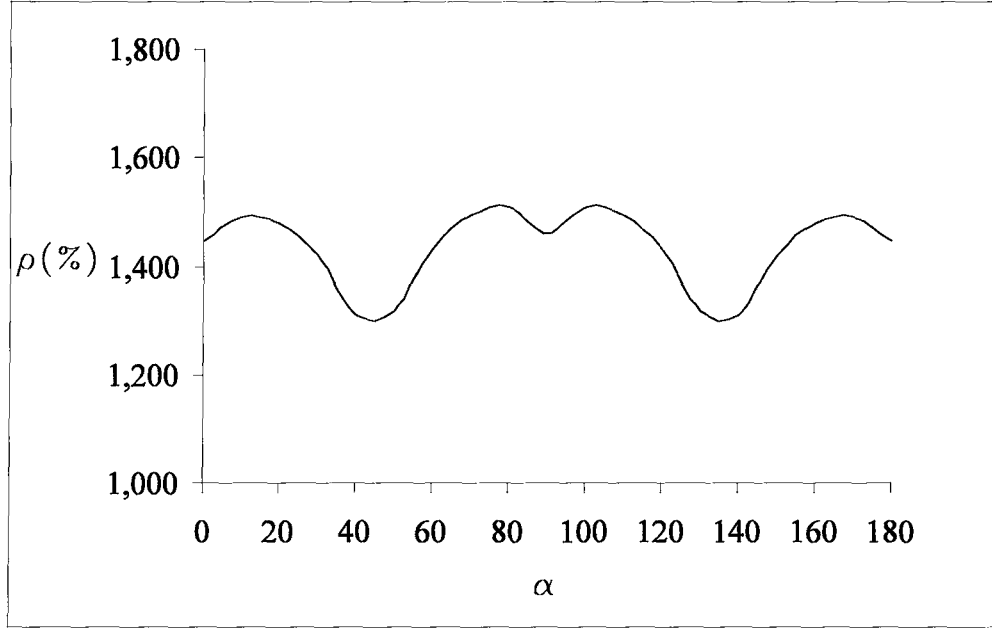


Şekil 3.19 Örnek 3 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram incelendiğinde donatı oranlarındaki değişimlerin belirli bir simetride gerçekleşmediği görülmektedir. Kolon 3 için maksimum donatı oranı $\alpha = 100^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.603$ olarak elde edilmiştir.

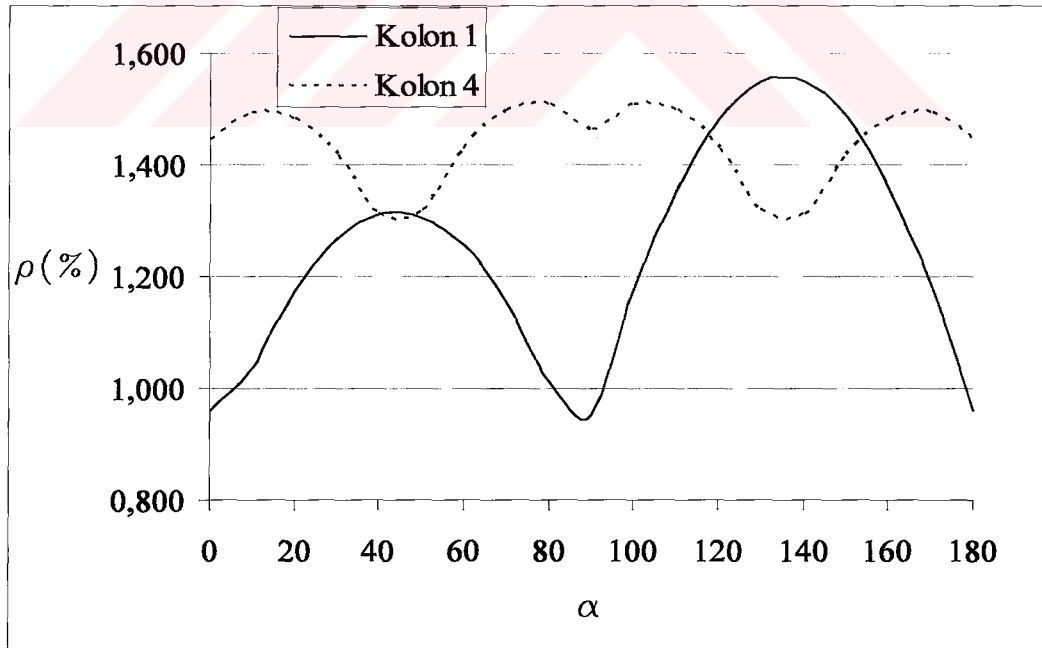
Çizelge 3.19 Örnek 3 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 4	NOK	35/35	300,00	30,00	0	-87,66	87,66	1,445
					10	-70,99	101,67	1,491
					20	-52,16	112,59	1,481
					30	-31,75	120,08	1,419
					40	-10,37	123,03	1,310
					50	11,32	124,01	1,318
					60	32,67	120,33	1,431
					70	53,02	112,99	1,495
					80	71,77	102,21	1,507
					90	88,33	88,33	1,462
					100	102,21	71,77	1,507
					110	112,99	53,02	1,495
					120	120,33	32,67	1,431
					130	124,01	11,32	1,318
					140	123,93	-10,37	1,310
					150	120,08	-31,75	1,419
					160	112,59	-52,16	1,481
170	101,67	-70,99	1,491					
180	87,66	-87,66	1,445					

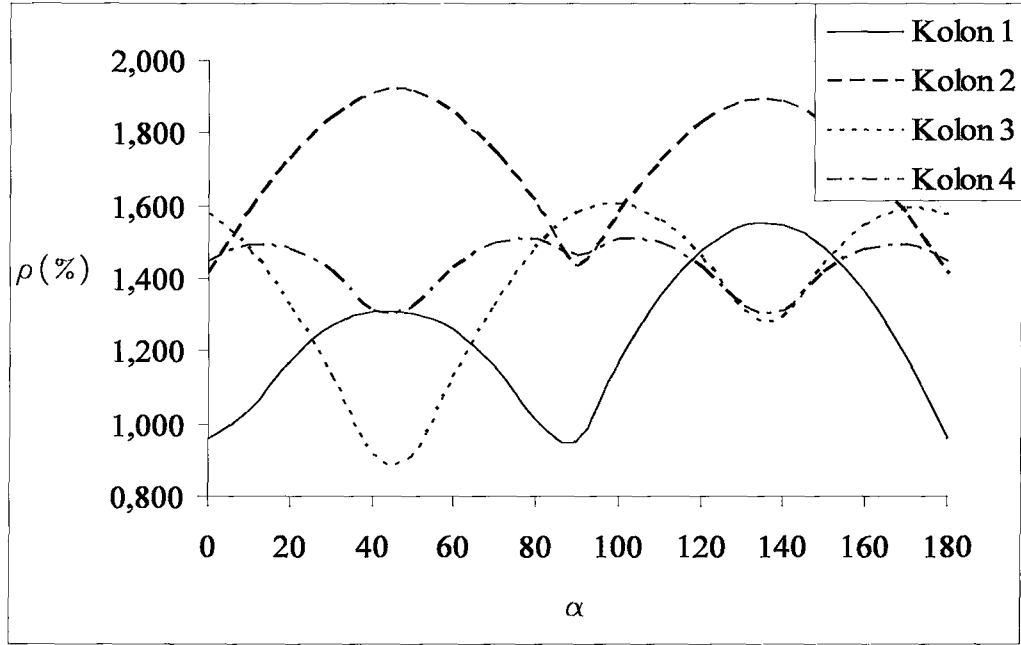


Şekil 3.20 Örnek 3 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi

Şekil 3.20'deki diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve iki noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 4 için maksimum donatı oranları $\alpha = 80^\circ$ ve $\alpha = 100^\circ$ değerleri civarında ve $\rho_p = \% 1.507$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.21 Örnek 3 (Kolon 1 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi



Şekil 3.22 Örnek 3 (Kolon 1,2,3 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi

3.3.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi

Bu bölümde, yönetmeliklere göre elde edilen donatı oranları Bölüm 1'de açıklanan süperpozisyon formülleri yardımı ile hesaplanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

a) Etkileşimsiz Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmaması halinde, (1.3) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.20'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.20 Örnek 3 Etkileşimsiz Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	5,17	126,72	127,91	6,14	5,17	127,91	0,960	0,960	1,549	-38,0
						126,72	6,14	0,951			
2	OK	0,08	137,76	136,52	0,99	0,08	136,52	1,409	1,435	1,913	-24,9
						137,76	0,99	1,435			
3	NOK	104,17	103,63	84,72	85,83	135,26	0,00	1,025	1,025	1,603	-36,1
						0,00	110,47	0,634			
						134,88	0,00	1,019			
						0,00	111,25	0,646			
4	NOK	87,66	88,33	87,66	88,33	114,16	0,00	1,084	1,092	1,507	-27,5
						0,00	114,16	1,084			
						114,63	0,00	1,092			
						0,00	114,63	1,092			

Çizelgenin M_{ax} , M_{ay} , M_{bx} ve M_{by} başlıklı kolonlarında, sırası ile, X ve Y eksenleri doğrultusundaki $P_1 = 75$ kN, $P_2 = 145$ kN, $P_3 = 210$ kN, $P_4 = 280$ kN ve $P_5 = 360$ kN şiddetindeki katlara gelen deprem yüklemelerinden a ve b asal eksenleri etrafında meydana gelen eğilme momentleri bulunmaktadır. M_a ve M_b başlıklı kolonlara da, bu değerler kullanılarak elde edilen ve kesit hesabında kullanılan eğilme momentleri yazılmıştır. Ortogonal olmayan 3 ve 4 No.lu kolonlar için (1.3) formülleri kullanılmış, ortogonal olan 1 ve 2 No.lu kolonlar için ise, ilgili eğilme momentleri doğrudan aktarılmıştır. ρ başlıklı kolonda kesit hesabı sonunda bulunan donatı oranı değerleri, ρ_{max} başlıklı kolonda da, 4 (veya 2) ρ değeri arasından seçilen maksimum donatı oranı değerleri bulunmaktadır. ρ_p başlıklı kolon parametrik araştırmada bulunan donatı oranları yazılmış, çizelgenin son kolonunda da hata değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde ve -% 24.9 ile -% 38.0 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir.

b) Etkileşimli Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması halinde, (1.4) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.21’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.21 Örnek 3 Etkileşimli Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	5,17	126,72	127,91	6,14	5,17	127,91	0,960	0,960	1,549	-38,0
						126,72	6,14	0,951			
2	OK	0,08	137,76	136,52	0,99	0,08	136,52	1,409	1,435	1,913	-24,9
						137,76	0,99	1,435			
3	NOK	104,17	103,63	84,72	85,83	135,26	110,47	2,484	2,491	1,603	55,4
						134,88	111,25	2,491			
4	NOK	87,66	88,33	87,66	88,33	114,16	114,16	2,142	2,155	1,507	42,9
						114,63	114,63	2,155			

Bu çizelgenin düzeni de Çizelge 3.20 gibidir. Ortogonal olan 1 ve 2 No.lu kolonlar ile ilgili değerler Çizelge 3.20’deki aynıdır, donatı oranları güvensiz yönde -% 38.0 ve -% 24.9 değerlerindedir. Ortogonal olmayan kolonlarda ise elde edilen donatı oranları +% 42.9 ile +% 55.4 oranları arasında hatalı olup aşırı güvenli niteliktedir.

c) Karelerin Toplamının Kare Kökü

Karelerin Toplamının Kare Kökü yönteminin uygulanması halinde, (1.7) formülleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.22’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.22 Örnek 3 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu

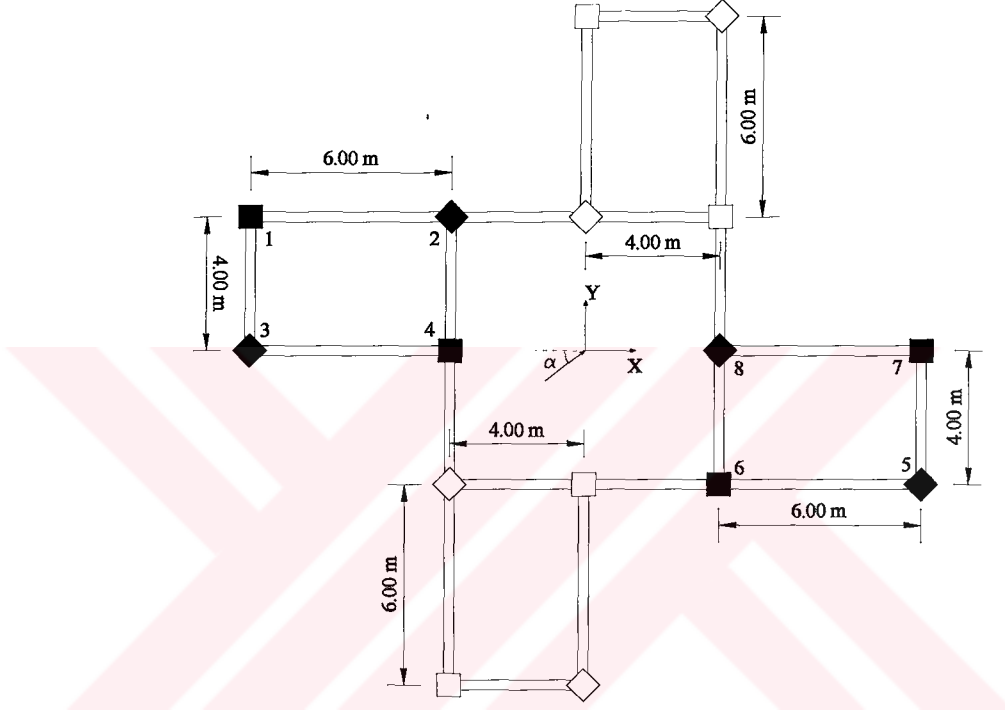
Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	5,17	126,72	127,91	6,14	5,17	127,91	0,960	0,960	1,549	-38,0
						126,72	6,14	0,951			
2	OK	0,08	137,76	136,52	0,99	0,08	136,52	1,409	1,435	1,913	-24,9
						137,76	0,99	1,435			
3	NOK	104,17	103,63	84,72	85,83	146,94	0,00	1,209	1,209	1,603	-24,6
						0,00	120,60	0,794			
4	NOK	87,66	88,33	87,66	88,33	124,44	0,00	1,242	1,242	1,507	-17,6
						0,00	124,44	1,242			

Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde -% 17.6 ile -% 38.0 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir.

Tüm superpozisyonlarda sadece ortogonal olmayan kolonlar için farklı donatı oranları bulunmakta, ortogonal kolonlar için hesaplanan donatı oranları ise değişmemektedir.

3.4 Örnek 4

Seçilen beş katlı yapının şematik kalıp planı Şekil 3.23'de gösterilmiştir. Yapının kat yükseklikleri 3.00 m'dir. Tüm katlarda kolon ve kirişler sabit kesitlerdedir. Kolon ebatları $35 \times 35 \text{ cm}^2$, kiriş ebatları ise $25 \times 50 \text{ cm}^2$ olarak seçilmiş bulunmaktadır. Hesaplamalarda malzeme kalitesi olarak beton BS25 ve çelik BÇIII kullanılmıştır.



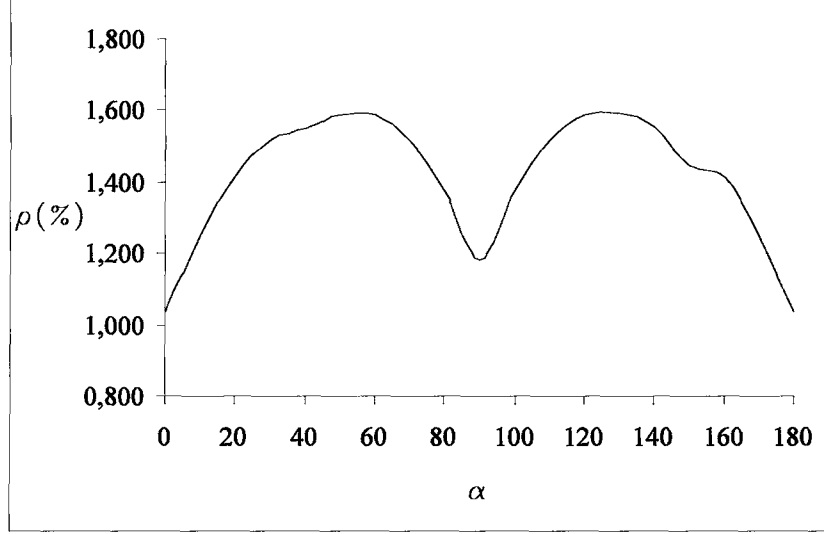
Şekil 3.23 Örnek 4 Şematik Kalıp Planı

Bu örnekte numaralandırılmış sekiz kolon incelenecektir. Kolonlardan dördü ortogonal olarak diğer dördü ise ortogonal olmayacak şekilde konumlandırılmıştır. Ayrıca her iki tip kolonlar birbirleriyle kıyaslanabilmesi amacıyla birbirlerine benzer konumlarda yerleştirilmiştir. Kolonlardan 2, 3, 5 ve 8 No.lu olanların asal eksenleri ortogonal eksenlere göre 45° döndürülmüştür. 1, 4, 6 ve 7 No.lu kolonlar ise ortogonaldir. Kolonlarda maksimum donatı oranını veren deprem doğrultusunu saptamak amacı ile, P deprem yükünün X eksenine yaptığı α açısı $\alpha = 0, 10, 20, \dots, 180^\circ$ değerleri arasında değiştirilip, beş katta deprem kuvvetleri sırası ile $P_1 = 85 \text{ kN}$, $P_2 = 165 \text{ kN}$, $P_3 = 250 \text{ kN}$, $P_4 = 330 \text{ kN}$ ve $P_5 = 410 \text{ kN}$ alınarak hesaplamalar yapılmıştır. İncelenen sekiz kolon için Çizelge 3.23, Çizelge 3.24, Çizelge 3.25, Çizelge 3.26, Çizelge 3.27, Çizelge 3.28, Çizelge 3.29, Çizelge 3.30'da her α değerine karşılık elde edilen M_a ve M_b değerleri ve bu değerler kullanılarak saptanan ρ

donatı oranları belirtilmiştir. Kolon kesit hesaplarında normal kuvvetler SAP2000 programından elde edilen $N_1 = 510$ kN, $N_2 = 830$ kN, $N_3 = 515$ kN, $N_4 = 1030$ kN, $N_5 = 510$ kN, $N_6 = 530$ kN, $N_7 = 515$ kN, ve $N_8 = 1030$ kN olan yaklaşık değerler ve her α değerine karşı gelen M_a ve M_b değerleri kullanılmıştır. Donatı oranlarının değişimi Kolon 1 için Şekil 3.24'de, Kolon 2 için Şekil 3.25'de, Kolon 3 için Şekil 3.26'da, Kolon 4 için Şekil 3.27'de, Kolon 5 için Şekil 3.28'de, Kolon 6 için Şekil 3.29'da, Kolon 7 için Şekil 3.30'da ve Kolon 8 için Şekil 3.31'de grafik olarak gösterilmiştir. Ayrıca birbirlerine göre konumları benzer görünen, ortogonal olmayan 5 No.lu kolon ile ortogonal olan 1 No.lu kolon, ortogonal olan 6 No.lu kolon ile ortogonal olmayan 2 No.lu kolon, ortogonal olmayan 3 No.lu kolon ile ortogonal olan 7 No.lu kolon, ortogonal olan 4 No.lu kolon ile ortogonal olmayan 8 No.lu kolonlardaki donatı değişimleri dört ayrı grafikte (şekil 3.32, şekil 3.33, şekil 3.34, şekil 3.35) gösterilmiştir.

Çizelge 3.23 Örnek 4 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 1	OK	35/35	510,00	30,00	0	0,03	129,13	1,037
					10	-24,03	127,16	1,251
					20	-47,35	121,33	1,413
					30	-69,25	111,81	1,516
					40	-89,03	98,90	1,552
					50	-106,12	82,98	1,590
					60	-119,97	64,53	1,586
					70	-130,18	44,13	1,514
					80	-136,44	22,39	1,377
					90	-138,55	-0,04	1,183
					100	-136,45	-22,46	1,378
					110	-130,21	-44,20	1,515
					120	-120,01	-64,60	1,588
					130	-106,16	-83,03	1,591
					140	-89,08	-98,94	1,553
					150	-69,30	-111,85	1,447
					160	-47,42	-121,36	1,414
					170	-24,09	-127,18	1,252
180	-0,03	-129,13	1,037					

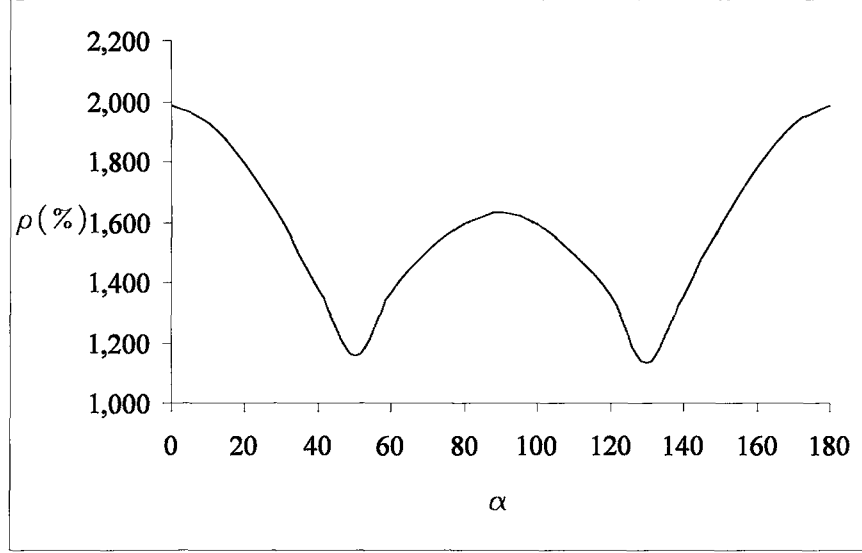


Şekil 3.24 Örnek 4 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ancak az bir farkla da olsa ikinci ekstrem noktası daha yüksektir ve bu bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 1 için maksimum donatı oranı $\alpha = 130^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.591$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.24 Örnek 4 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 2	NOK	35/35	830,00	30,00	0	-106,84	107,68	1,984
					10	-88,60	122,87	1,927
					20	-67,66	134,32	1,797
					30	-44,67	141,70	1,609
					40	-20,33	144,77	1,377
					50	0,00	143,44	1,154
					60	29,46	137,75	1,367
					70	53,39	127,87	1,503
					80	75,70	114,11	1,595
					90	95,71	96,89	1,631
					100	112,81	76,72	1,589
					110	126,48	54,22	1,492
					120	136,31	30,07	1,351
					130	141,99	0,00	1,131
					140	143,36	-20,21	1,354
					150	140,38	-44,81	1,590
					160	133,13	-68,05	1,784
170	121,84	-89,22	1,921					
180	106,84	-107,68	1,984					

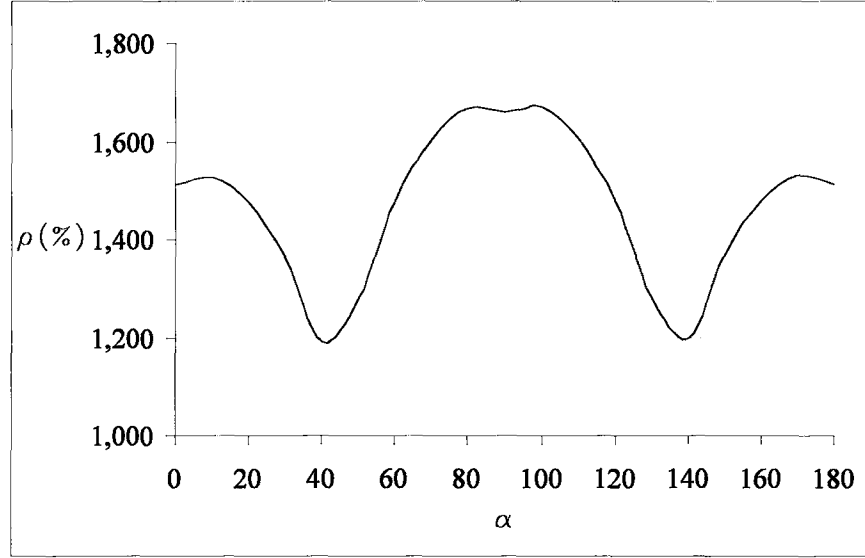


Şekil 3.25 Örnek 4 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ve başlangıç ve bitiş noktalarında en yüksek donatı oranlarına ulaşır. Kolon 2 için maksimum donatı oranı $\alpha = 0^\circ$ ve $\alpha = 180^\circ$ değerleride ve $\rho_p = \% 1.984$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.25 Örnek 4 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 3	NOK	35/35	515,00	30,00	0	-93,03	92,95	1,510
					10	-74,49	108,58	1,527
					20	-53,69	120,91	1,476
					30	-31,26	129,57	1,362
					40	-7,88	134,29	1,191
					50	15,73	134,93	1,281
					60	38,88	131,47	1,474
					70	60,84	124,01	1,605
					80	80,95	112,79	1,668
					90	98,60	98,14	1,660
					100	113,26	80,51	1,670
					110	124,47	60,43	1,607
					120	131,90	38,52	1,477
					130	135,33	15,43	1,284
					140	134,64	-8,12	1,199
					150	129,86	-31,43	1,369
					160	121,14	-53,78	1,481
					170	108,74	-74,49	1,529
180	93,03	-92,95	1,510					

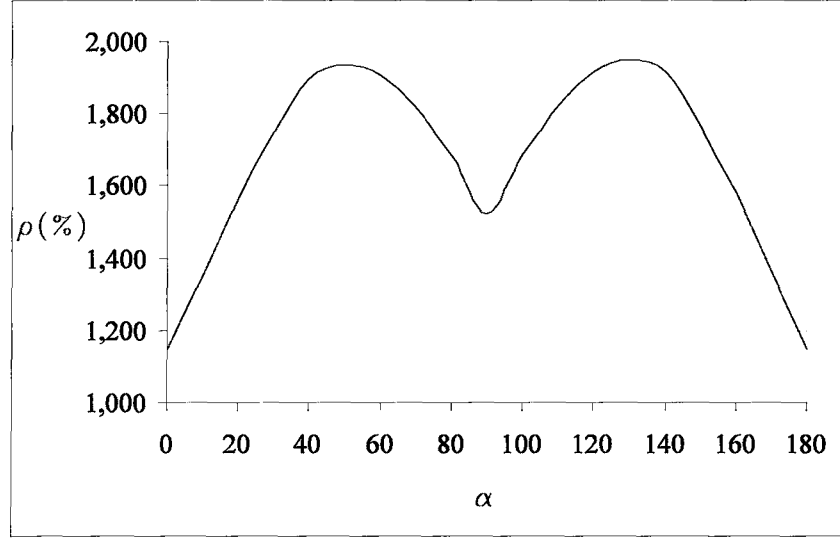


Şekil 3.26 Örnek 4 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve bir noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 3 için maksimum donatı oranı $\alpha = 100^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.670$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.26 Örnek 4 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 4	OK	35/35	1030,00	30,00	0	0,32	132,69	1,149
					10	-26,80	130,62	1,357
					20	-53,12	124,59	1,565
					30	-77,82	114,76	1,751
					40	-100,16	101,45	1,898
					50	-119,45	85,06	1,936
					60	-135,11	66,09	1,903
					70	-146,67	45,10	1,814
					80	-153,77	22,74	1,681
					90	-156,20	-0,30	1,520
					100	-153,88	-23,34	1,689
					110	-146,89	-45,67	1,824
					120	-135,43	-66,61	1,915
					130	-119,86	-85,53	1,950
					140	-100,65	-101,84	1,913
					150	-78,38	-115,07	1,765
					160	-53,72	-124,79	1,576
					170	-27,44	-130,73	1,366
180	-0,32	-132,69	1,149					

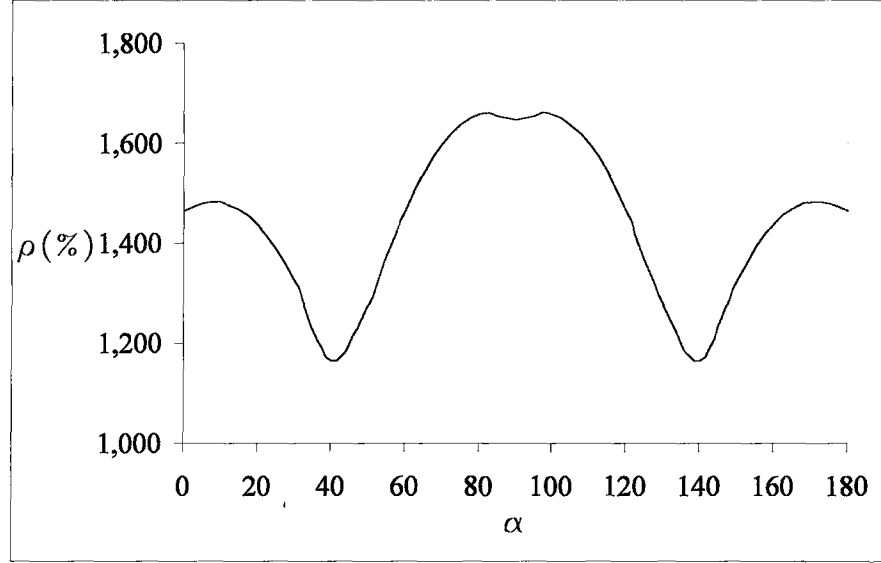


Şekil 3.27 Örnek 4 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ancak az bir farkla da olsa ikinci ekstrem noktası daha yüksektir ve bu bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 4 için maksimum donatı oranı $\alpha = 130^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.950$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.27 Örnek 4 (Kolon 5) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 5	NOK	35/35	510,00	30,00	0	-91,33	91,29	1,463
					10	-72,93	106,91	1,483
					20	-52,31	119,28	1,437
					30	-30,10	128,03	1,329
					40	-6,97	132,89	1,164
					50	16,36	133,71	1,273
					60	39,20	130,47	1,464
					70	60,85	123,26	1,595
					80	80,65	112,31	1,658
					90	98,00	97,95	1,648
					100	112,37	80,61	1,658
					110	123,32	60,82	1,595
					120	130,53	39,18	1,465
					130	133,78	16,35	1,274
					140	132,96	-6,97	1,166
					150	128,10	-30,08	1,330
					160	119,34	-52,28	1,438
170	106,96	-72,89	1,483					
180	91,33	-91,29	1,463					

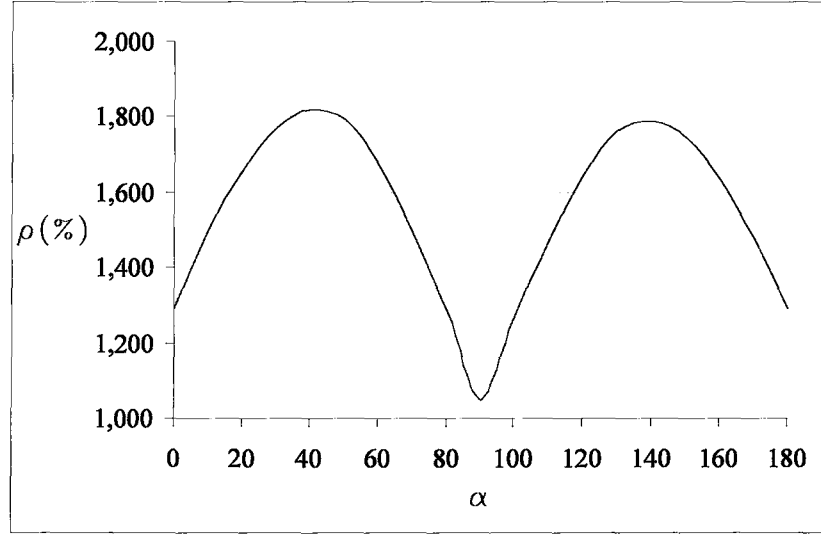


Şekil 3.28 Örnek 4 (Kolon 5) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve iki noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 5 için maksimum donatı oranları $\alpha = 80^\circ$ ve $\alpha = 100^\circ$ değerleri civarında ve $\rho_p = \% 1.658$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.28 Örnek 4 (Kolon 6) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 6	OK	35/35	830,00	30,00	0	-0,60	151,69	1,290
					10	-24,23	149,53	1,494
					20	-47,14	142,93	1,658
					30	-68,61	131,79	1,771
					40	-87,99	116,74	1,821
					50	-104,71	98,15	1,793
					60	-118,24	76,57	1,672
					70	-128,17	52,66	1,498
					80	-134,22	27,16	1,285
					90	-136,18	0,83	1,047
					100	-134,01	-25,52	1,264
					110	-127,77	-51,10	1,471
					120	-117,64	-75,12	1,642
					130	-103,94	-96,87	1,760
					140	-87,08	-115,67	1,790
					150	-67,58	-130,95	1,743
					160	-46,02	-142,26	1,635
170	-23,06	-149,24	1,477					
180	0,60	-151,69	1,290					

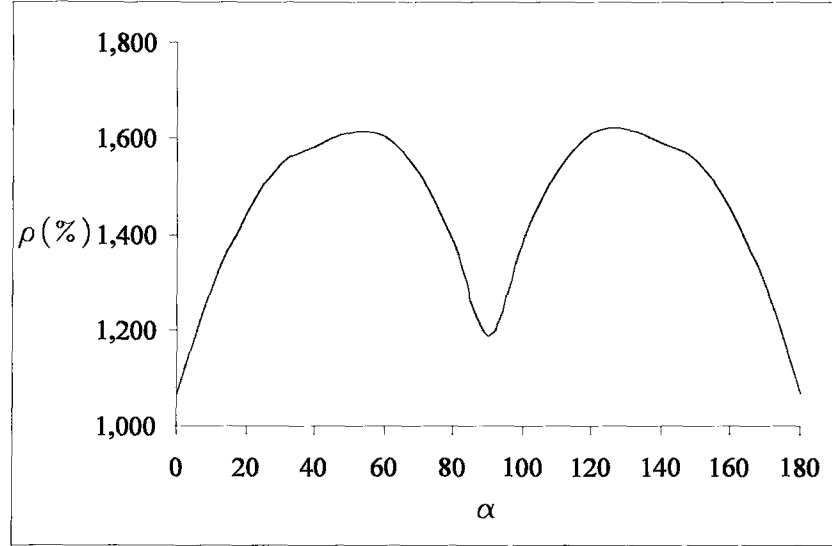


Şekil 3.29 Örnek 4 (Kolon 6) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ancak az bir farkla da olsa ilk ekstrem noktası daha yüksektir ve bu bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 6 için maksimum donatı oranı $\alpha = 40^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.821$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.42 Örnek 4 (Kolon 7) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 7	OK	35/35	515,00	30,00	0	0,06	131,50	1,069
					10	-24,10	129,45	1,284
					20	-47,53	123,46	1,446
					30	-69,51	113,72	1,547
					40	-89,38	100,53	1,582
					50	-106,53	84,25	1,612
					60	-120,45	65,47	1,604
					70	-130,71	44,67	1,526
					80	-136,99	22,52	1,384
					90	-139,12	-0,32	1,189
					100	-137,01	-23,15	1,391
					110	-130,74	-45,28	1,533
					120	-120,51	-66,03	1,611
					130	-106,60	-84,78	1,619
					140	-89,47	-100,95	1,589
					150	-69,61	-114,05	1,553
					160	-47,63	-123,68	1,451
170	-24,21	-129,56	1,287					
180	-0,06	-131,50	1,069					

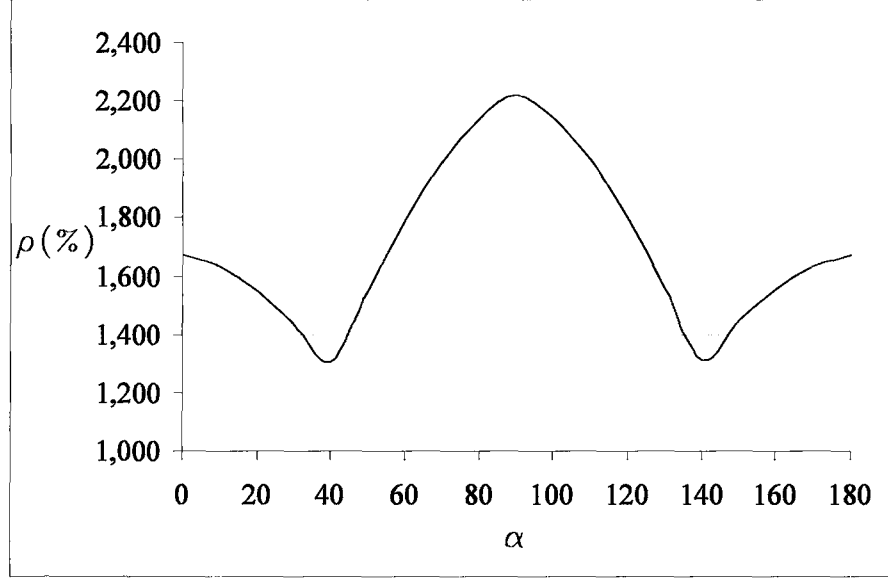


Şekil 3.30 Örnek 4 (Kolon 7) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ancak az bir farkla da olsa ikinci ekstrem noktası daha yüksektir ve bu bölgede maksimum noktasına ulaşmıştır. Kolon 7 için maksimum donatı oranı $\alpha = 130^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.619$ olarak elde edilmiştir.

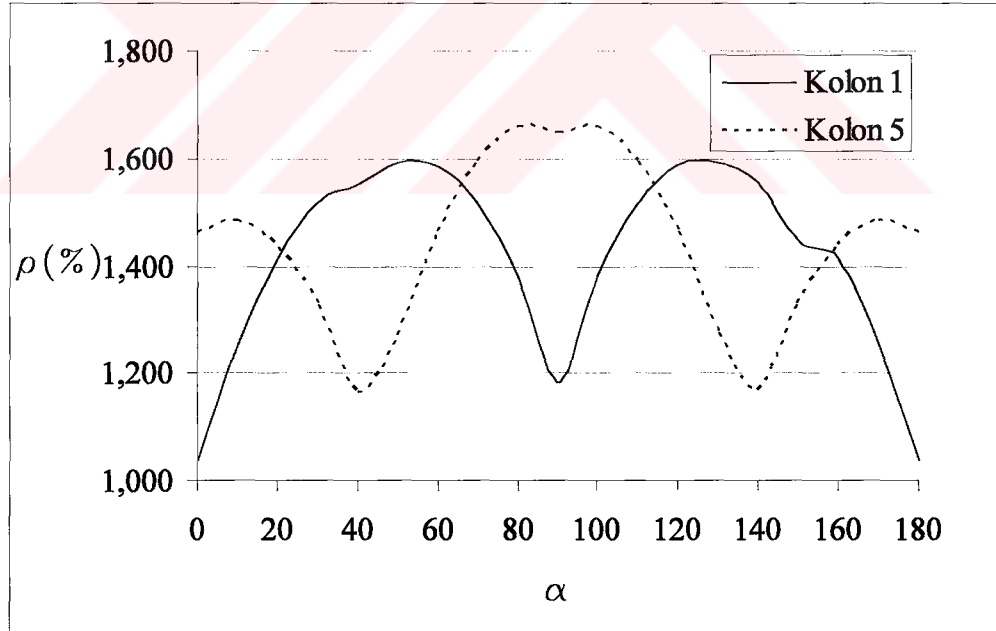
Çizelge 3.30 Örnek 4 (Kolon 8) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 8	NOK	35/35	1030,00	30,00	0	-94,06	93,60	1,673
					10	-73,41	111,32	1,632
					20	-50,54	125,66	1,549
					30	-26,12	136,18	1,438
					40	0,00	142,56	1,302
					50	24,31	144,61	1,552
					60	48,81	142,27	1,789
					70	71,82	135,60	1,991
					80	92,65	124,81	2,141
					90	110,66	110,24	2,219
					100	125,31	92,31	2,143
					110	136,16	71,57	1,997
					120	142,86	48,67	1,797
					130	145,23	24,28	1,562
					140	143,18	0,00	1,312
					150	136,79	-25,94	1,446
					160	126,23	-50,25	1,555
					170	111,84	-73,04	1,635
180	94,06	-93,60	1,673					

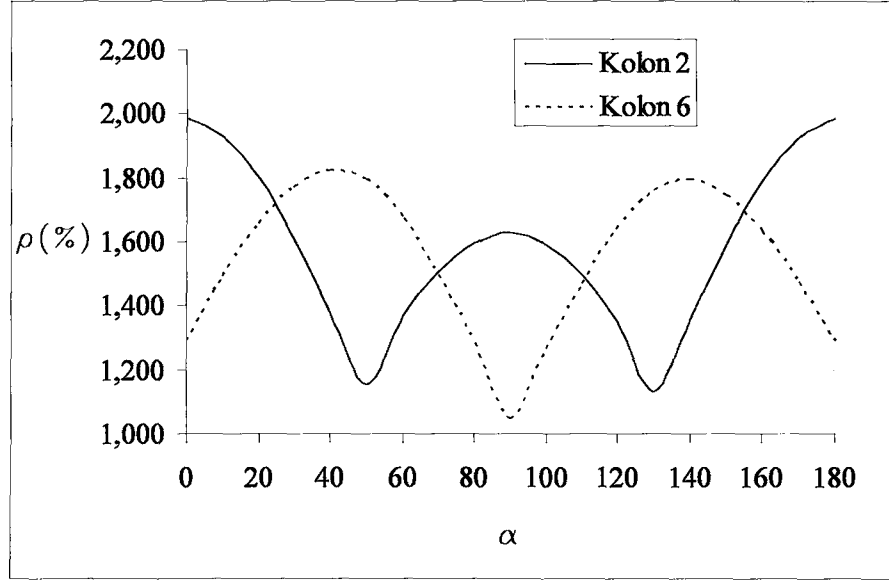


Şekil 3.31 Örnek 4 (Kolon 8) Donatı Oranlarının Değişimi

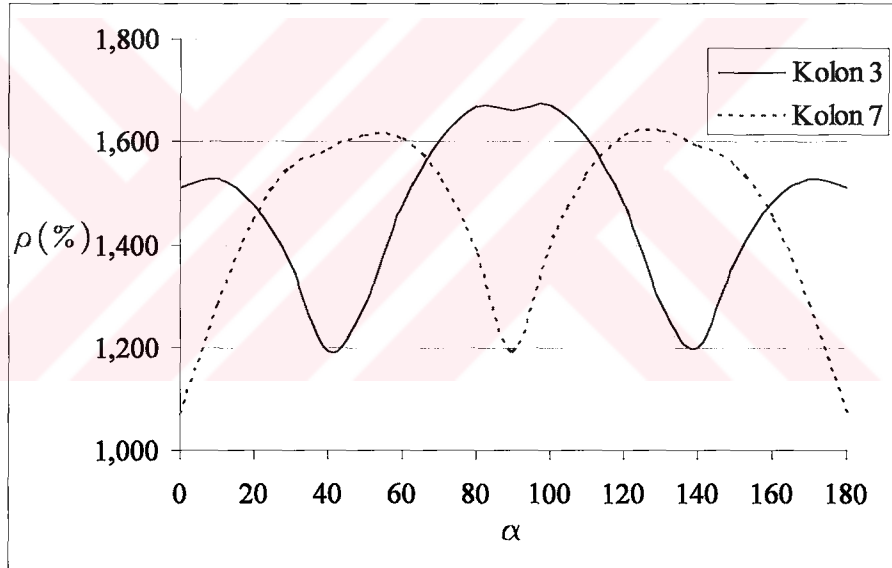
Diyagram yaklaşık bir simetriye sahiptir ve bir noktada maksimum değerine ulaşır. Kolon 8 için maksimum donatı oranı $\alpha = 90^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 2.219$ olarak elde edilmiştir.



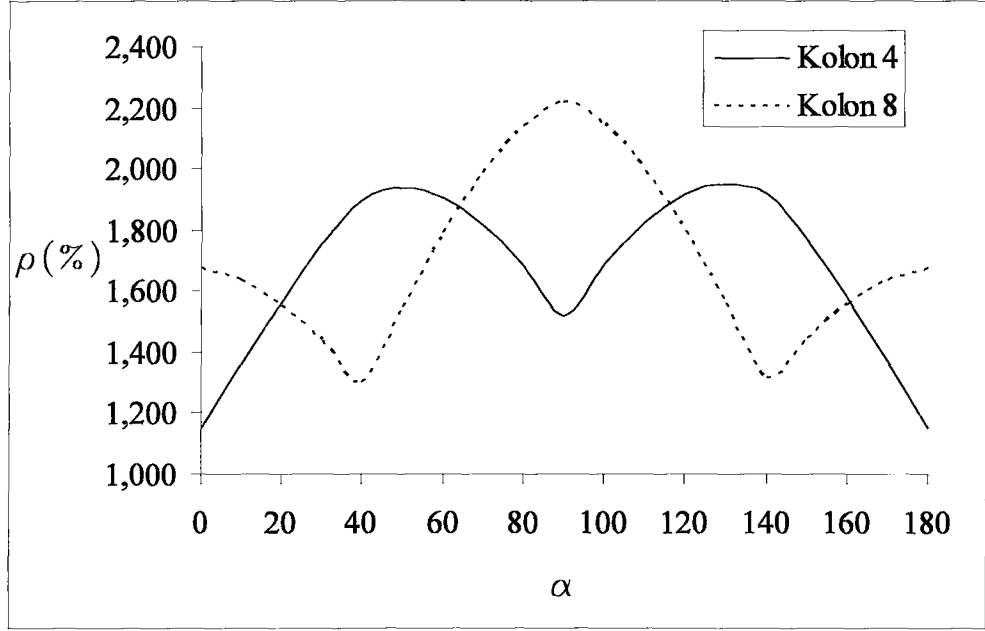
Şekil 3.32 Örnek 4 (Kolon 1 ve 5) Donatı Oranlarının Değişimi



Şekil 3.33 Örnek 4 (Kolon 2 ve 6) Donatı Oranlarının Değişimi



Şekil 3.34 Örnek 4 (Kolon 3 ve 7) Donatı Oranlarının Değişimi



Şekil 3.35: Örnek 4 (Kolon 4 ve 8) Donatı Oranlarının Değişimi

3.4.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi

Bu bölümde, yönetmeliklere göre elde edilen donatı oranları Bölüm 1’de açıklanan süperpozisyon formülleri yardımı ile hesaplanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

a) Etkileşimsiz Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmaması halinde, (1.3) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.31’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.31 Örnek 4 Etkileşimsiz Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,03	138,55	129,13	0,04	0,03	129,13	1,037	1,183	1,591	-25,6
						138,55	0,04	1,183			
2	NOK	106,84	95,71	107,68	96,89	135,55	0,00	1,030	1,049	1,984	-47,1
						0,00	136,75	1,049			
						127,76	0,00	0,907			
						0,00	129,19	0,929			
3	NOK	93,03	98,60	92,95	98,14	122,61	0,00	0,932	0,992	1,670	-40,6
						0,00	122,39	0,928			
						126,51	0,00	0,992			
						0,00	126,02	0,984			
4	OK	0,32	156,20	132,69	0,30	0,32	132,69	1,149	1,520	1,950	-22,1
						156,20	0,30	1,520			
5	NOK	91,33	98,00	91,29	97,95	120,73	0,00	0,908	0,980	1,658	-40,9
						0,00	120,67	0,907			
						125,40	0,00	0,980			
						0,00	125,34	0,979			
6	OK	0,60	136,18	151,69	0,83	0,60	151,69	1,290	1,290	1,821	-29,2
						136,18	0,83	1,047			
7	OK	0,06	139,12	131,50	0,32	0,06	131,50	1,069	1,189	1,619	-26,6
						139,12	0,32	1,189			
8	NOK	94,06	110,66	93,60	110,24	127,26	0,00	1,061	1,244	2,219	-43,9
						0,00	126,67	1,052			
						138,88	0,00	1,244			
						0,00	138,32	1,235			

Çizelgenin M_{ax} , M_{ay} , M_{bx} ve M_{by} başlıklı kolonlarında, sırası ile, X ve Y eksenleri doğrultusundaki $P_1 = 85$ kN, $P_2 = 165$ kN, $P_3 = 250$ kN, $P_4 = 330$ kN ve $P_5 = 410$ kN Şiddetindeki katlara gelen deprem yüklemelerinden a ve b asal eksenleri etrafında meydana gelen eğilme momentleri bulunmaktadır. M_a ve M_b başlıklı kolonlara da, bu değerler kullanılarak elde edilen ve kesit hesabında kullanılan eğilme momentleri yazılmıştır.

Ortogonal olmayan 2, 3, 5 ve 8 No.lu kolonlar için (1.3) formülleri kullanılmış, ortogonal olan 1, 4, 6 ve 7 No.lu kolonlar için ise, ilgili eğilme momentleri doğrudan aktarılmıştır. ρ başlıklı kolonda kesit hesabı sonunda bulunan donatı oranı değerleri, ρ_{max} başlıklı kolonda da, 4 (veya 2) ρ değeri arasından seçilen maksimum donatı oranı değerleri bulunmaktadır. ρ_p başlıklı kolona parametrik araştırmada bulunan donatı oranları yazılmış, çizelgenin son kolonunda da hata değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde ve -% 22.1 ile -% 47.1 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir.

b) Etkileşimli Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması halinde, (1.4) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.32'de özetlenmiştir. Çizelge başlıkları bir önceki superpozisyon yönteminde açıklandığı gibidir.

Çizelge 3.32 Örnek 4 Etkileşimli Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,03	138,55	129,13	0,04	0,03	129,13	1,037	1,183	1,591	-25,6
						138,55	0,04	1,183			
2	NOK	106,84	95,71	107,68	96,89	135,55	136,75	2,953	2,953	1,984	48,8
						127,76	129,19	2,690			
3	NOK	93,03	98,60	92,95	98,14	122,61	122,39	2,337	2,444	1,670	46,3
						126,51	126,02	2,444			
4	OK	0,32	156,20	132,69	0,30	0,32	132,69	1,149	1,520	1,950	-22,1
						156,20	0,30	1,520			
5	NOK	91,33	98,00	91,29	97,95	120,73	120,67	2,285	2,417	1,658	45,8
						125,40	125,34	2,417			
6	OK	0,60	136,18	151,69	0,83	0,60	151,69	1,290	1,290	1,821	-29,2
						136,18	0,83	1,047			
7	OK	0,06	139,12	131,50	0,32	0,06	131,50	1,069	1,189	1,619	-26,6
						139,12	0,32	1,189			
8	NOK	94,06	110,66	93,60	110,24	127,26	126,67	2,786	3,200	2,219	44,2
						138,88	138,32	3,200			

Bu çizelgenin düzeni de Çizelge 3.31 gibidir. Ortogonal olan 1, 4, 6 ve 7 No.lu kolonlar ile ilgili değerler Çizelge 3.31'dekinin aynıdır, donatı oranları güvensiz yönde -% 22.1 ile -% 29.2 değerleri arasındadır. Ortogonal olmayan kolonlarda ise elde edilen donatı oranları +% 44.2 ile +% 48.8 oranları arasında hatalı olup aşırı güvenli niteliktedir.

c) Karelerin Toplamının Kare Kökü

Karelerin Toplamının Kare Kökü yönteminin uygulanması halinde, (1.7) formülleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.33'te özetlenmiştir.

Çizelge 3.33 Örnek 4 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu

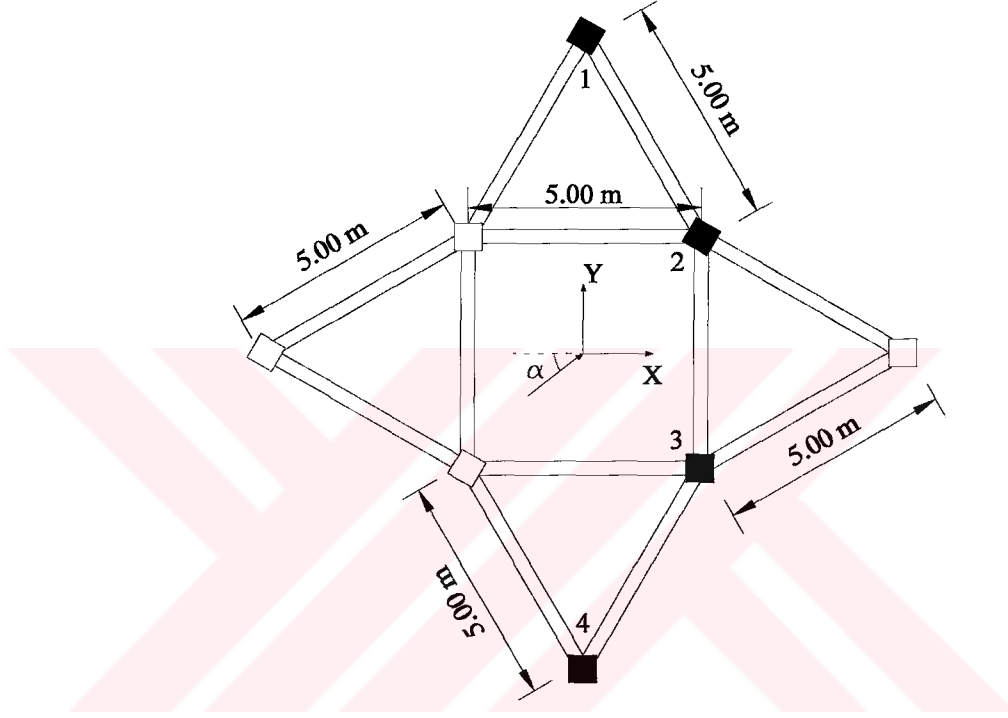
Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,03	138,55	129,13	0,04	0,03	129,13	1,037	1,183	1,591	-25,6
						138,55	0,04	1,183			
2	NOK	106,84	95,71	107,68	96,89	143,44	0,00	1,154	1,176	1,984	-40,7
						0,00	144,85	1,176			
3	NOK	93,03	98,60	92,95	98,14	135,56	0,00	1,131	1,131	1,670	-32,3
						0,00	135,17	1,125			
4	OK	0,32	156,20	132,69	0,30	0,32	132,69	1,149	1,520	1,950	-22,1
						156,20	0,30	1,520			
5	NOK	91,33	98,00	91,29	97,95	133,96	0,00	1,111	1,111	1,658	-32,9
						0,00	133,89	1,110			
6	OK	0,60	136,18	151,69	0,83	0,60	151,69	1,290	1,290	1,821	-29,2
						136,18	0,83	1,047			
7	OK	0,06	139,12	131,50	0,32	0,06	131,50	1,069	1,189	1,619	-26,6
						139,12	0,32	1,189			
8	NOK	94,06	110,66	93,60	110,24	145,23	0,00	1,344	1,344	2,219	-39,4
						0,00	144,62	1,335			

Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde -% 22.1 ile -% 40.7 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir. Tüm superpozisyonlarda sadece ortogonal olmayan kolonlar için farklı donatı oranları bulunmakta, ortogonal kolonlar için hesaplanan donatı oranları ise değişmemektedir.



3.5 Örnek 5

Seçilen beş katlı yapının şematik kalıp planı Şekil 3.36'da gösterilmiştir. Yapının kat yükseklikleri 3.00 m'dir. Tüm katlarda kolon ve kirişler sabit kesitlerdedir. Kolon ebatları $35 \times 35 \text{ cm}^2$, kiriş ebatları ise $25 \times 50 \text{ cm}^2$ olarak seçilmiş bulunmaktadır. Hesaplamalarda malzeme kalitesi olarak beton BS25 ve çelik BÇIII kullanılmıştır.



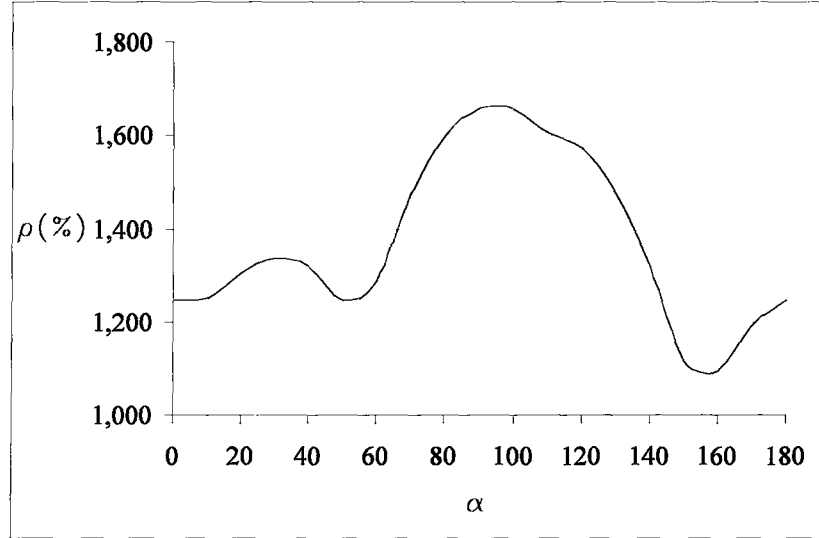
Şekil 3.36 Örnek 5 Şematik Kalıp Planı

Bu örnekte numaralandırılmış dört kolon incelenecektir. Kolonlardan ikisi ortogonal olarak diğer ikisi ise ortogonal olmayacak şekilde konumlandırılmıştır. Yapı şekil olarak simetrik tasarlanmıştır ancak kolonların yerleştirilme biçimleri X ve Y eksenlerine göre simetrik değildir. Kolonlardan 1 ve 2 No.lu olanların asal eksenleri ortogonal eksenlere göre 60° döndürülmüştür. 3 ve 4 No.lu kolonlar ise ortogondur. Kolonlarda maksimum donatı oranını veren deprem doğrultusunu saptamak amacı ile, P deprem yükünün X eksenine yaptığı α açısı $\alpha = 0, 10, 20, \dots, 180^\circ$ değerleri arasında değiştirilip, beş katta deprem kuvvetleri sırası ile $P_1 = 40 \text{ kN}$, $P_2 = 80 \text{ kN}$, $P_3 = 120 \text{ kN}$, $P_4 = 160 \text{ kN}$ ve $P_5 = 200 \text{ kN}$ alınarak hesaplamalar yapılmış ve incelenen dört kolon için Çizelge 3.34, Çizelge 3.35, Çizelge 3.36, Çizelge 3.37'de her α değerine karşılık elde edilen M_a ve M_b değerleri ve bu değerler kullanılarak saptanan ρ donatı oranları belirtilmiştir. Kolon kesit hesaplarında normal

kuvvetler SAP2000 programından elde edilen $N_1 = 400$ kN, $N_2 = 1040$ kN, $N_3 = 1040$ kN ve $N_4 = 400$ kN olan yaklaşık değerler ve her α değerine karşı gelen M_a ve M_b değerleri kullanılmıştır. Donatı oranlarının değişimi Kolon 1 için Şekil 3.37’de, Kolon 2 için Şekil 3.38’de, Kolon 3 için Şekil 3.39’da ve Kolon 4 için Şekil 3.40’da grafik olarak gösterilmiştir. Ayrıca birbirlerine göre konumları benzer görünen, ortogonal olmayan 1 No.lu kolon ile ortogonal olan 4 No.lu kolon, ortogonal olan 3 No.lu kolon ile ortogonal olmayan 2 No.lu kolonlardaki donatı değişimleri iki ayrı grafikte (şekil 3.41 ve şekil 3.42) gösterilmiştir.

Çizelge 3.34 Örnek 5 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 1	NOK	35/35	400,00	30,00	0	-99,66	57,54	1,247
					10	-86,21	77,33	1,249
					20	-70,16	94,75	1,303
					30	-51,96	109,31	1,338
					40	-32,19	120,54	1,318
					50	-11,45	128,11	1,245
					60	9,65	131,79	1,286
					70	30,46	131,46	1,470
					80	50,32	127,15	1,596
					90	68,68	118,96	1,660
					100	84,95	107,15	1,655
					110	98,62	92,11	1,605
					120	109,31	74,25	1,571
					130	116,67	54,14	1,474
					140	120,49	32,39	1,319
					150	120,64	9,65	1,115
					160	117,14	-13,38	1,094
					170	110,08	-36,00	1,193
					180	99,66	-57,54	1,247

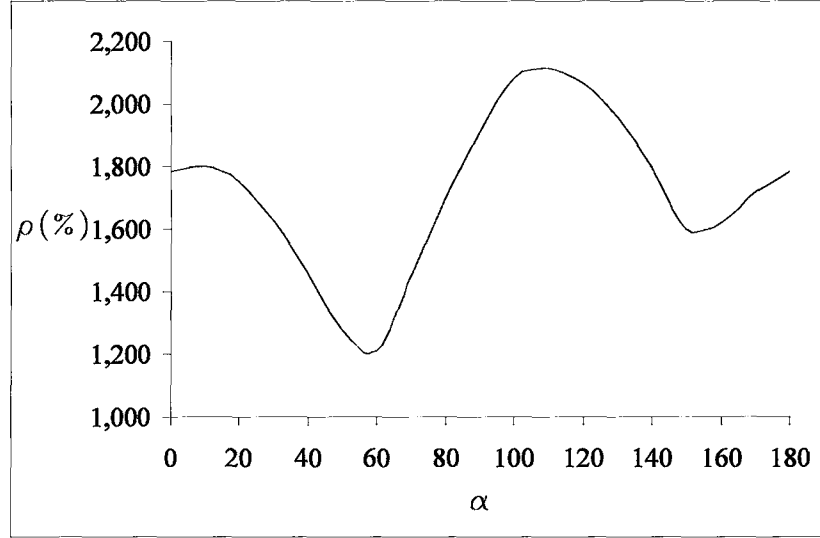


Şekil 3.37 Örnek 5 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram incelendiğinde donatı oranlarındaki değişimlerin belirli bir simetride gerçekleşmediği görülmektedir. Kolon 1 için maksimum donatı oranı $\alpha = 90^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 1.660$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.35 Örnek 5 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 2	NOK	35/35	1040,00	30,00	0	-132,26	59,98	1,785
					10	-115,56	79,58	1,800
					20	-95,36	96,74	1,752
					30	-72,26	110,97	1,620
					40	-46,97	121,84	1,456
					50	-20,24	129,00	1,278
					60	7,09	132,24	1,210
					70	34,22	131,46	1,461
					80	60,29	126,70	1,702
					90	84,55	118,07	1,915
					100	106,24	105,86	2,080
					110	124,68	90,44	2,112
					120	139,35	72,26	2,066
					130	149,78	51,89	1,957
					140	155,66	29,95	1,796
					150	156,81	7,10	1,598
					160	153,20	-15,98	1,619
170	144,94	-38,55	1,721					
180	132,26	-59,98	1,785					

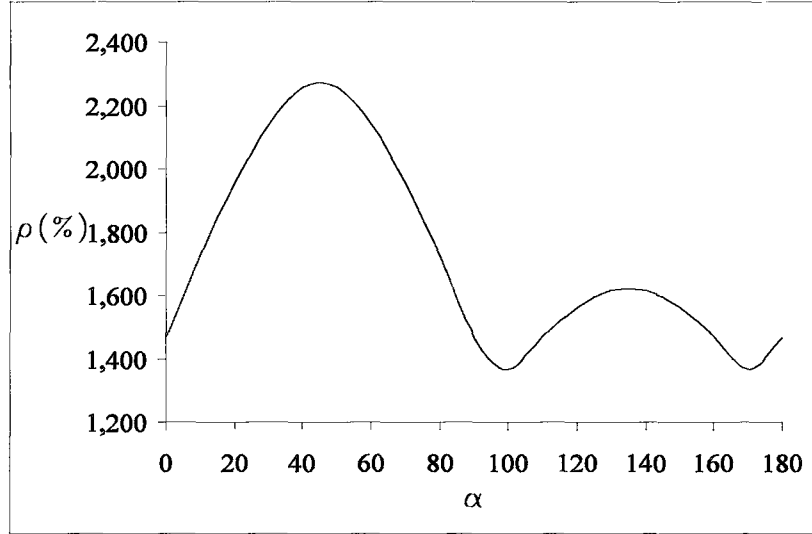


Şekil 3.38 Örnek 5 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram incelendiğinde donatı oranlarındaki değişimlerin belirli bir simetride gerçekleşmediği görülmektedir. Kolon 2 için maksimum donatı oranı $\alpha = 110^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 2.112$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.36 Örnek 5 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 3	OK	35/35	1040,00	30,00	0	-14,19	144,53	1,466
					10	-39,08	144,80	1,725
					20	-62,76	140,66	1,955
					30	-84,55	132,25	2,138
					40	-103,77	119,83	2,258
					50	-119,83	103,77	2,258
					60	-132,25	84,55	2,138
					70	-140,66	62,76	1,955
					80	-144,80	39,08	1,725
					90	-144,53	14,19	1,466
					100	-139,87	-11,14	1,365
					110	-130,96	-36,10	1,474
					120	-118,07	-59,98	1,562
					130	-101,59	-82,03	1,617
					140	-82,03	-101,59	1,617
					150	-59,98	-118,07	1,562
					160	-36,10	-130,96	1,474
170	-11,14	-139,87	1,365					
180	14,19	-144,53	1,466					

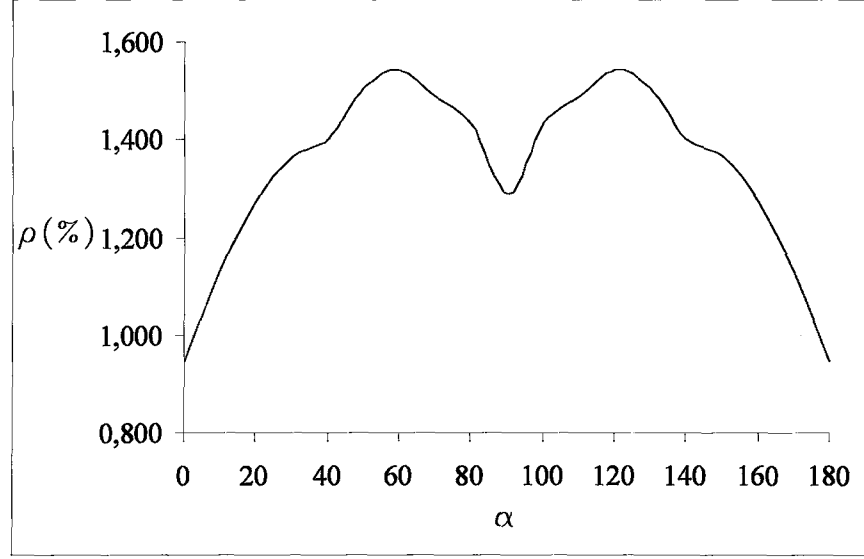


Şekil 3.39 Örnek 5 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram incelendiğinde donatı oranlarındaki değişimlerin belirli bir simetride gerçekleşmediği görülmektedir. Kolon 3 için maksimum donatı oranı $\alpha = 40^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 2.258$ olarak elde edilmiştir.

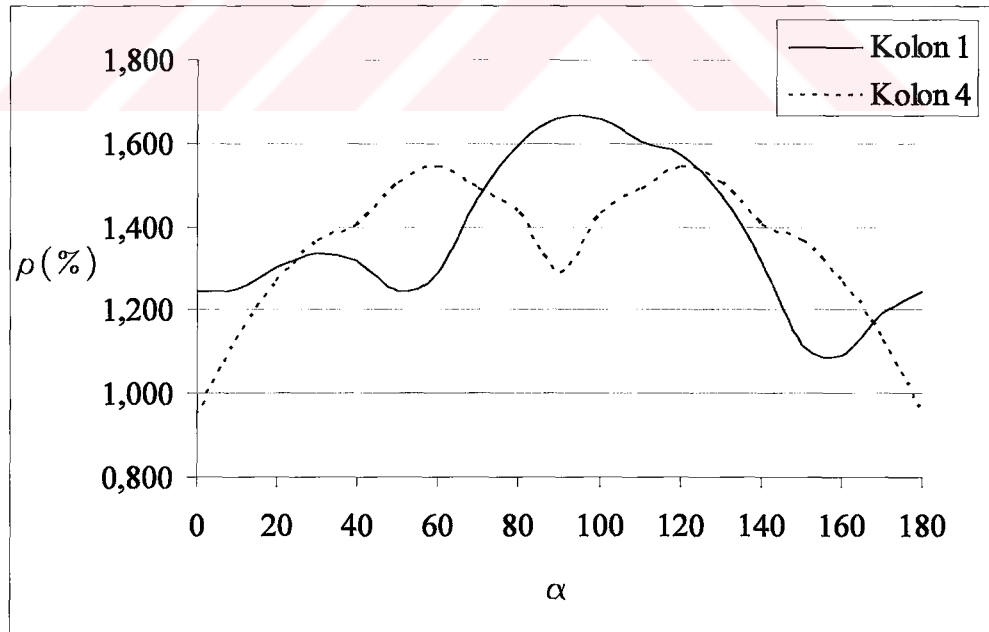
Çizelge 3.37 Örnek 5 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 4	OK	35/35	400,00	30,00	0	0,00	115,07	0,946
					10	-23,86	113,33	1,129
					20	-46,98	108,13	1,270
					30	-68,68	99,65	1,363
					40	-88,29	88,15	1,401
					50	-105,22	73,97	1,505
					60	-118,96	57,54	1,543
					70	-129,08	39,36	1,489
					80	-135,27	19,99	1,432
					90	-137,36	0,00	1,289
					100	-135,27	-19,99	1,432
					110	-129,08	-39,36	1,489
					120	-118,96	-57,54	1,543
					130	-105,22	-73,97	1,505
					140	-88,29	-88,15	1,401
					150	-68,68	-99,65	1,363
					160	-46,98	-108,13	1,270
					170	-23,86	-113,33	1,129
180	0,00	-115,07	0,946					

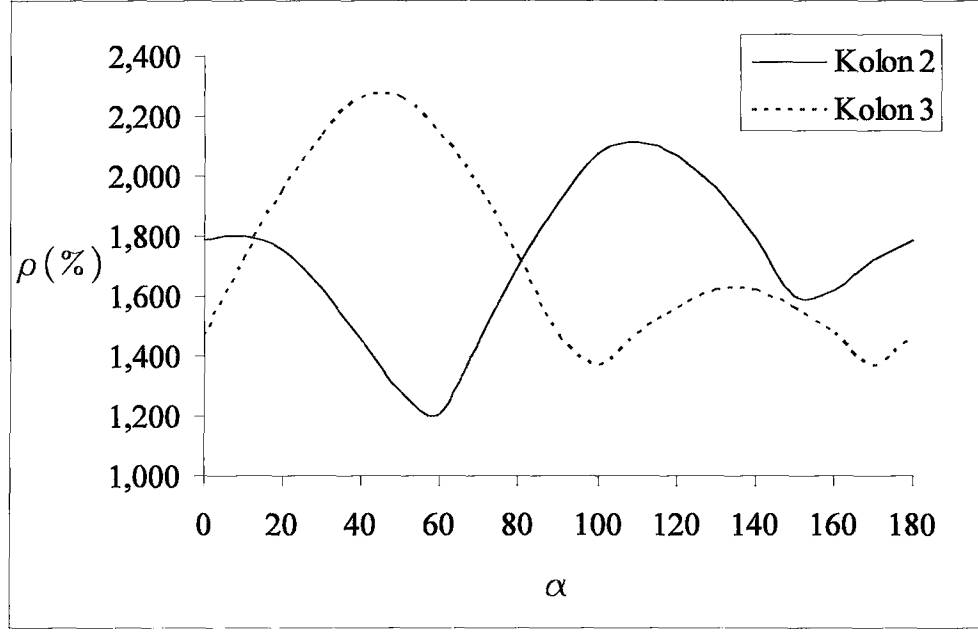


Şekil 3.40 Örnek 5 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve iki noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 4 için maksimum donatı oranı $\alpha = 60^\circ$ ve $\alpha = 120^\circ$ değerleri civarında ve $\rho_p = \% 1.543$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.41 Örnek 5 (Kolon 1 ve 4) Donatı Oranlarının Değişimi



Şekil 3.42 Örnek 5 (Kolon 2 ve 3) Donatı Oranlarının Değişimi

3.5.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi

Bu bölümde, yönetmeliklere göre elde edilen donatı oranları Bölüm 1'de açıklanan süperpozisyon formülleri yardımı ile hesaplanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

a) Etkileşimsiz Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmaması halinde, (1.3) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.38'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.38 Örnek 5 Etkileşimsiz Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	99,66	68,68	57,54	118,96	120,26	0,00	1,026	1,272	1,660	-23,4
						0,00	93,23	0,610			
						98,58	0,00	0,692			
						0,00	136,22	1,272			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	0,00	1,553	1,553	2,112	-26,4
						0,00	95,40	0,570			
						124,23	0,00	1,026			
						0,00	136,06	1,213			
3	OK	14,19	144,53	144,53	14,19	14,19	144,53	1,466	1,466	2,258	-35,1
						144,53	14,19	1,466			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			

Çizelgenin M_{ax} , M_{ay} , M_{bx} ve M_{by} başlıklı kolonlarında, sırası ile, X ve Y eksenleri doğrultusundaki $P_1 = 40$ kN, $P_2 = 80$ kN, $P_3 = 120$ kN, $P_4 = 160$ kN ve $P_5 = 200$ kN Şiddetindeki katlara gelen deprem yüklemelerinden a ve b asal eksenleri etrafında meydana gelen eğilme momentleri bulunmaktadır. M_a ve M_b başlıklı kolonlara da, bu değerler kullanılarak elde edilen ve kesit kesit hesabında kullanılan eğilme momentleri yazılmıştır. Ortogonal olmayan 1 ve 2 No.lu kolonlar için (1.3) formülleri kullanılmış, ortogonal olan 3 ve 4 No.lu kolonlar için ise, ilgili eğilme momentleri doğrudan aktarılmıştır. ρ başlıklı kolonda kesit hesabı sonunda bulunan donatı oranı değerleri, ρ_{max} başlıklı kolonda da, 4 (veya 2) ρ değeri arasından seçilen maksimum donatı oranı değerleri bulunmaktadır. ρ_p başlıklı kolon parametrik araştırmada bulunan donatı oranları yazılmış, çizelgenin son kolonunda da hata değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde ve -% 16.4 ile -% 35.1 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir.

b) Etkileşimli Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması halinde, (1.4) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.39'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.39 Örnek 5 Etkileşimli Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	99,66	68,68	57,54	118,96	120,26	93,23	1,950	2,257	1,660	35,9
						98,58	136,22	2,257			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	95,40	2,711	2,884	2,112	36,5
						124,23	136,06	2,884			
3	OK	14,19	144,53	144,53	14,19	14,19	144,53	1,466	1,466	2,258	-35,1
						144,53	14,19	1,466			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			

Bu çizelgenin düzeni de Çizelge 3.38 gibidir. Ortogonal olan 3 ve 4 No.lu kolonlar ile ilgili değerler Çizelge 3.38'dekinin aynıdır, donatı oranları güvensiz yönde -% 16.4 ve -% 35.1 değerlerindedir. Ortogonal olmayan kolonlarda ise elde edilen donatı oranları +% 35.9 ile +% 36.5 oranları arasında hatalı olup aşırı güvenli niteliktedir.

c) Karelerin Toplamının Kare Kökü

Karelerin Toplamının Kare Kökü yönteminin uygulanması halinde, (1.7) formülleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.40'ta özetlenmiştir.

Çizelge 3.40 Örnek 5 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu

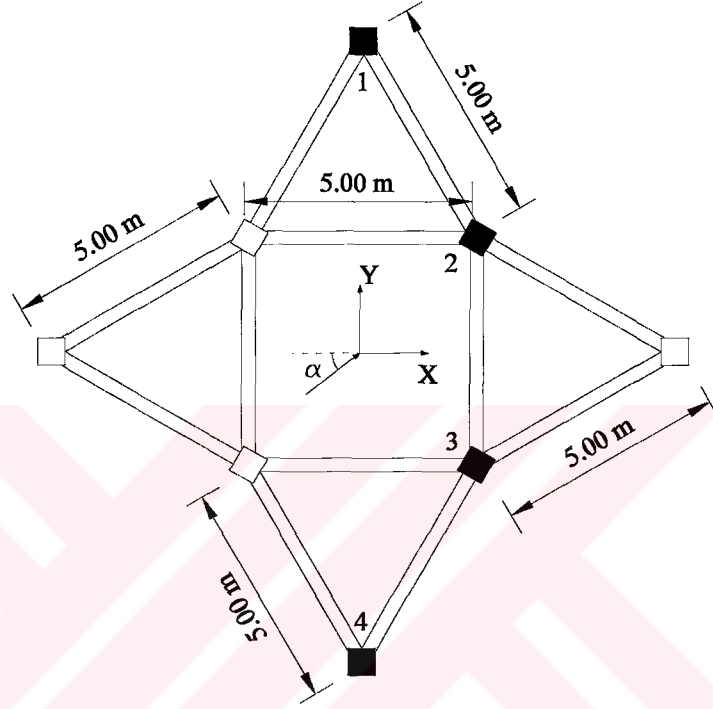
Kolon No	Kolon Tipi	M _{ax} (kNm)	M _{ay} (kNm)	M _{bx} (kNm)	M _{by} (kNm)	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)	ρ _{max} (%)	ρ _p (%)	Hata (%)
1	NOK	99,66	68,68	57,54	118,96	121,03	0,00	1,038	1,209	1,660	-27,2
						0,00	132,14	1,209			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	156,97	0,00	1,542	1,542	2,112	-26,9
						0,00	132,43	1,155			
3	OK	14,19	144,53	144,53	14,19	14,19	144,53	1,466	1,466	2,258	-35,1
						144,53	14,19	1,466			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			

Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde -% 16.4 ile -% 35.1 oranları arasında hatalı olduğu belirlenmektedir.

Tüm superpozisyonlarda sadece ortogonal olmayan kolonlar için farklı donatı oranları bulunmakta, ortogonal kolonlar için hesaplanan donatı oranları ise değişmemektedir.

3.6 Örnek 6

Seçilen beş katlı yapının şematik kalıp planı Şekil 3.43'de gösterilmiştir. Yapının kat yükseklikleri 3.00 m'dir. Tüm katlarda kolon ve kirişler sabit kesitlerdedir. Kolon ebatları $35 \times 35 \text{ cm}^2$, kiriş ebatları ise $25 \times 50 \text{ cm}^2$ olarak seçilmiş bulunmaktadır. Hesaplamalarda malzeme kalitesi olarak beton BS25 ve çelik BÇIII kullanılmıştır.



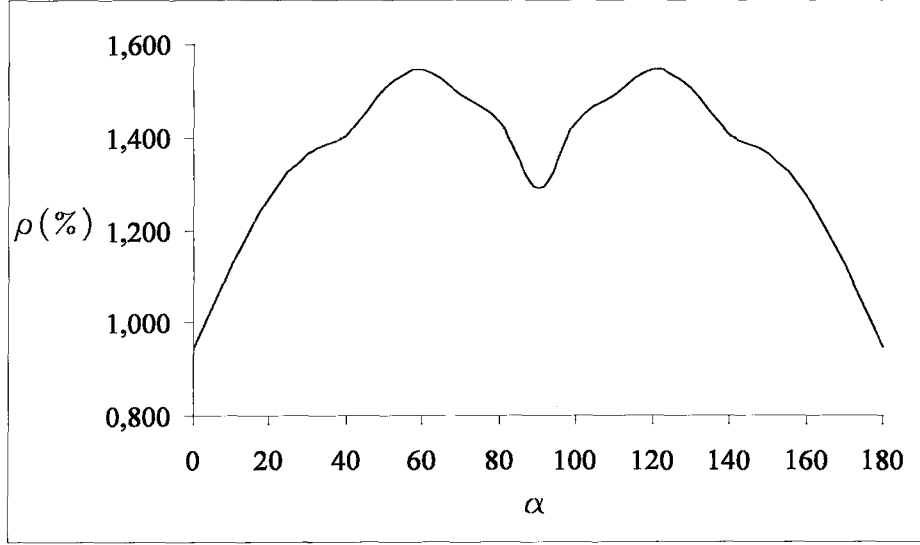
Şekil 3.43 Örnek 6 Şematik Kalıp Planı

Bu örnek şemal olarak bir önceki örneğin aynısıdır fakat yapının şekli dışında kolonlarının yerleştirilme biçimlerinde X ve Y eksenlerine göre simetrik tasarlanmıştır. Yine aynı konumda bulunan numaralandırılmış dört kolon incelenecektir. Kolonlardan ikisi ortogonal olarak diğer ikisi ise ortogonal olmayacak şekilde konumlandırılmıştır. Kolonlardan 2 ve 3 No.lu olanların asal eksenleri ortogonal eksenlere göre 60° döndürülmüştür. 1 ve 4 No.lu kolonlar ise ortogonaldir. Kolonlarda maksimum donatı oranını veren deprem doğrultusunu saptamak amacı ile, P deprem yükünün X eksenine yaptığı α açısı $\alpha = 0, 10, 20, \dots, 180^\circ$ değerleri arasında değiştirilip, beş katta deprem kuvvetleri sırası ile $P_1 = 40 \text{ kN}$, $P_2 = 80 \text{ kN}$, $P_3 = 120 \text{ kN}$, $P_4 = 160 \text{ kN}$ ve $P_5 = 200 \text{ kN}$ alınarak hesaplamalar yapılmış ve incelenen dört kolon için Çizelge 3.41, Çizelge 3.42, Çizelge 3.43, Çizelge 3.44'de her α değerine karşılık elde edilen M_a ve M_b değerleri ve bu değerler kullanılarak saptanan ρ donatı oranları belirtilmiştir. Kolon kesit hesaplarında normal kuvvetler SAP2000 programından elde edilen

$N_1 = 400$ kN, $N_2 = 1040$ kN, $N_3 = 1040$ kN ve $N_4 = 400$ kN olan yaklaşık değerler ve her α değerine karşı gelen M_a ve M_b değerleri kullanılmıştır. Ayrıca donatı oranlarının değişimi Kolon 1 için Şekil 3.44'de, Kolon 2 için Şekil 3.45'de, Kolon 3 için Şekil 3.46'da ve Kolon 4 için Şekil 3.47'de grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.41 Örnek 6 (Kolon 1) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 1	OK	35/35	400,00	30,00	0	0,00	115,07	0,946
					10	23,86	113,33	1,129
					20	46,98	108,13	1,270
					30	68,68	99,65	1,363
					40	88,29	88,15	1,401
					50	105,22	73,97	1,505
					60	118,96	57,54	1,543
					70	129,08	39,36	1,489
					80	135,27	19,99	1,432
					90	137,36	0,00	1,289
					100	135,27	-19,99	1,432
					110	129,08	-39,36	1,489
					120	118,96	-57,54	1,543
					130	105,22	-73,97	1,505
					140	88,29	-88,15	1,401
					150	68,68	-99,65	1,363
					160	46,98	-108,13	1,270
170	23,86	-113,33	1,129					
180	0,00	-115,07	0,946					

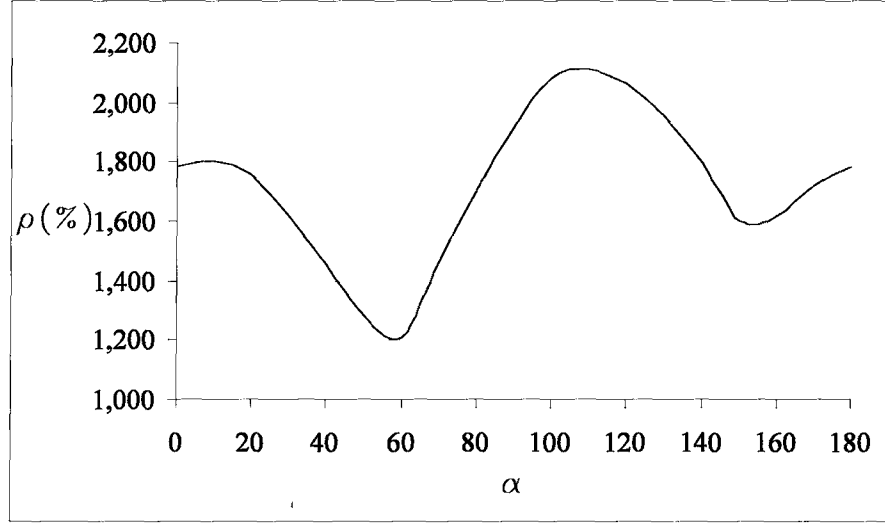


Şekil 3.44 Örnek 6 (Kolon 1) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram belirli bir simetriye sahiptir ve iki noktada maksimum değerine ulaşmaktadır. Kolon 1 için maksimum donatı oranı $\alpha = 60^\circ$ ve $\alpha = 120^\circ$ değerleri civarında ve $\rho_p = \% 1.543$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.42 Örnek 6 (Kolon 2) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M _a (kNm)	M _b (kNm)	ρ (%)
KOLON 2	NOK	35/35	1040,00	30,00	0	-132,26	59,98	1,785
					10	-115,56	79,58	1,800
					20	-95,36	96,74	1,752
					30	-72,26	110,97	1,620
					40	-46,97	121,84	1,456
					50	-20,24	129,00	1,278
					60	7,09	132,24	1,210
					70	34,22	131,46	1,461
					80	60,29	126,70	1,702
					90	84,55	118,07	1,915
					100	106,24	105,86	2,080
					110	124,68	90,44	2,112
					120	139,35	72,26	2,066
					130	149,78	51,89	1,957
					140	155,66	29,95	1,796
					150	156,81	7,10	1,598
					160	153,20	-15,98	1,619
170	144,94	-38,55	1,721					
180	132,26	-59,98	1,785					

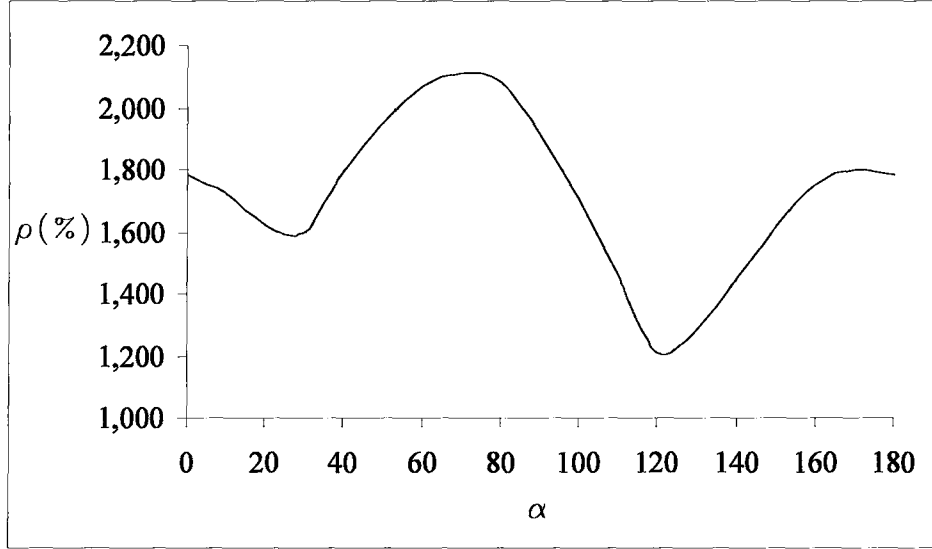


Şekil 3.45 Örnek 6 (Kolon 2) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram incelendiğinde donatı oranlarındaki değişimlerin belirli bir simetride gerçekleşmediği görülmektedir. Kolon 2 için maksimum donatı oranı $\alpha = 110^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 2.112$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.43 Örnek 6 (Kolon 3) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 3	NOK	35/35	1040,00	30,00	0	-132,26	59,98	1,785
					10	-144,94	38,55	1,721
					20	-153,20	15,98	1,619
					30	-156,81	-7,10	1,598
					40	-155,66	-29,55	1,796
					50	-149,78	-51,89	1,957
					60	-139,35	-72,26	2,066
					70	-124,68	-90,44	2,112
					80	-106,24	-105,86	2,080
					90	-84,55	-118,07	1,915
					100	-60,29	-126,70	1,702
					110	-34,22	-131,46	1,461
					120	-7,09	-132,24	1,210
					130	20,24	-129,00	1,278
					140	46,97	-121,84	1,456
					150	72,26	-110,97	1,620
					160	95,36	-96,74	1,752
					170	115,56	-79,58	1,800
180	132,26	-59,98	1,785					

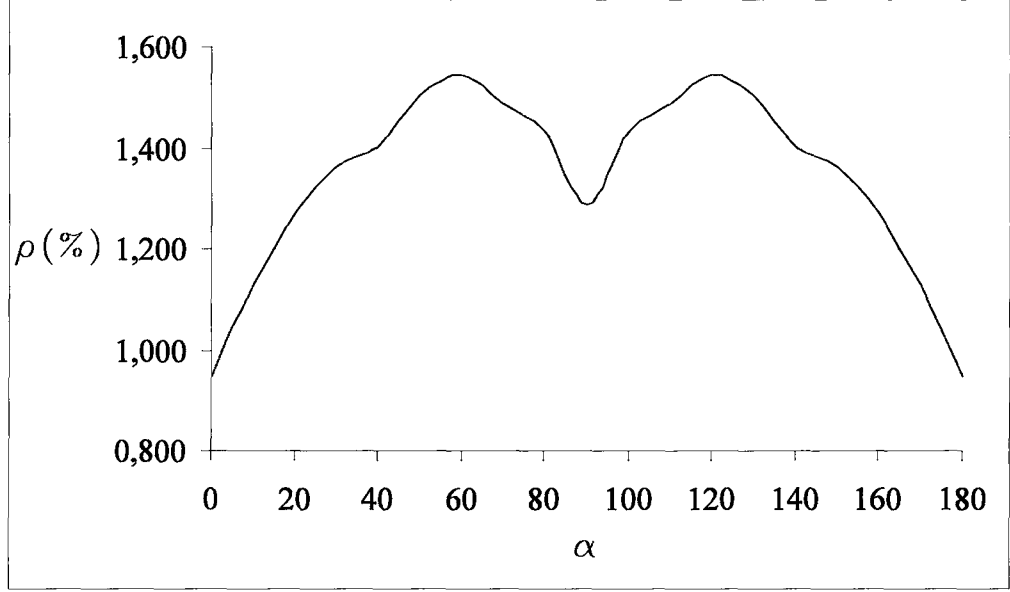


Şekil 3.46 Örnek 6 (Kolon 3) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram incelendiğinde donatı oranlarındaki değişimlerin belirli bir simetride gerçekleşmediği görülmektedir. Kolon 3 için maksimum donatı oranı $\alpha = 70^\circ$ değeri civarında ve $\rho_p = \% 2.112$ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.44 Örnek 6 (Kolon 4) Eğilme Momentleri ve Donatı Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	b/h (cm/cm)	N (kN)	h' (mm)	açı	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)
KOLON 4	OK	35/35	400,00	30,00	0	0,00	115,07	0,946
					10	-23,86	113,33	1,129
					20	-46,98	108,13	1,270
					30	-68,68	99,65	1,363
					40	-88,29	88,15	1,401
					50	-105,22	73,97	1,505
					60	-118,96	57,54	1,543
					70	-129,08	39,36	1,489
					80	-135,27	19,99	1,432
					90	-137,36	0,00	1,289
					100	-135,27	-19,99	1,432
					110	-129,08	-39,36	1,489
					120	-118,96	-57,54	1,543
					130	-105,22	-73,97	1,505
					140	-88,29	-88,15	1,401
					150	-68,68	-99,65	1,363
					160	-46,98	-108,13	1,270
					170	-23,86	-113,33	1,129
180	0,00	-115,07	0,946					



Şekil 3.47 Örnek 6 (Kolon 4) Donatı Oranlarının Değişimi

Diyagram incelendiğinde donatı oranlarındaki değişimlerin belirli bir simetride gerçekleşmediği görülmektedir. Kolon 4 için maksimum donatı oranı $\alpha = 60^\circ$ ve $\alpha = 120^\circ$ değerleri civarında ve $\rho_p = \% 1.543$ olarak elde edilmiştir.

3.6.1 Superpozisyon Formüllerinin İrdelenmesi

Bu bölümde, yönetmeliklere göre elde edilen donatı oranları Bölüm 1'de açıklanan süperpozisyon formülleri yardımı ile hesaplanacak ve sonuçlar irdelenecektir.

a) Etkileşimsiz Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınmaması halinde, (1.3) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.45'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.45 Örnek 6 Etkileşimsiz Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	0,00	1,553	1,553	2,112	-26,4
						0,00	95,40	0,570			
						124,23	0,00	1,026			
						0,00	136,06	1,213			
3	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	0,00	1,553	1,553	2,112	-26,4
						0,00	95,40	0,570			
						124,23	0,00	1,026			
						0,00	136,06	1,213			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			

Çizelgenin M_{ax} , M_{ay} , M_{bx} ve M_{by} başlıklı kolonlarında, sırası ile, X ve Y eksenleri doğrultusundaki $P_1 = 40$ kN, $P_2 = 80$ kN, $P_3 = 120$ kN, $P_4 = 160$ kN ve $P_5 = 200$ kN Şiddetindeki katlara gelen deprem yüklemelerinden a ve b asal eksenleri etrafında meydana gelen eğilme momentleri bulunmaktadır. M_a ve M_b başlıklı kolonlara da, bu değerler kullanılarak elde edilen ve kesit kesit hesabında kullanılan eğilme momentleri yazılmıştır. Ortogonal olmayan 2 ve 3 No.lu kolonlar için (1.3) formülleri kullanılmış, ortogonal olan 1 ve 4 No.lu kolonlar için ise, ilgili eğilme momentleri doğrudan aktarılmıştır. ρ başlıklı kolonda kesit hesabı sonunda bulunan donatı oranı değerleri, ρ_{max} başlıklı kolonda da, 4 (veya 2) ρ değeri arasından seçilen maksimum donatı oranı değerleri bulunmaktadır. ρ_p başlıklı kolon parametrik araştırmada bulunan donatı oranları yazılmış, çizelgenin son kolonunda da hata değerleri verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde -% 16.4 ve -% 26.4 oranları ile hatalı olduğu belirlenmektedir.

b) Etkileşimli Superpozisyon

Eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerinin göz önüne alınması halinde, (1.4) formülleri uygulanarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.46’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.46 Örnek 6 Etkileşimli Superpozisyon

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	95,40	1,553	2,884	2,112	36,5
						124,23	136,06	1,026			
3	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	95,40	1,553	2,884	2,112	36,5
						124,23	136,06	1,026			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			

Bu çizelgenin düzeni de Çizelge 3.45 gibidir. Ortogonal olan 1 ve 4 No.lu kolonlar ile ilgili değerler Çizelge 3.45’dekinin aynıdır, donatı oranları güvensiz yönde -% 16.4 değerlerindedir. Ortogonal olmayan kolonlarda ise elde edilen donatı oranları +% 36.5 oranı ile hatalı olup aşırı güvenli niteliktedir.

c) Karelerin Toplamının Kare Kökü

Karelerin Toplamının Kare Kökü yönteminin uygulanması halinde, (1.7) formülleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3.47’te özetlenmiştir.

Çizelge 3.47 Örnek 6 Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonu

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	156,97	0,00	1,542	1,542	2,112	-26,9
						0,00	132,43	1,155			
3	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	156,97	0,00	1,542	1,542	2,112	-26,9
						0,00	132,43	1,155			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	0,00	115,07	0,946	1,289	1,543	-16,4
						137,36	0,00	1,289			

Çizelgedeki değerler incelendiğinde elde edilen donatı oranlarının güvensiz yönde -% 16.4 ve -% 26.9 oranları ile hatalı olduğu belirlenmektedir.

Tüm superpozisyonlarda sadece ortogonal olmayan kolonlar için farklı donatı oranları bulunmakta, ortogonal kolonlar için hesaplanan donatı oranları ise değişmemektedir.

3.7 Superpozisyon Formüllerinin Değerlendirilmesi

Yukarıda ele alınan 6 adet Örnek Yapı'ya ait tüm sonuçlar incelendiğinde, ortogonal olmayan kolonlar için Etkileşimsiz ve Karelerin Toplamının Kare Kökü Superpozisyonlarının formüllerinin önemli oranda ve güvensiz yönde sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Etkileşimli Superpozisyon formüllerinden elde edilen sonuçlar ise aşırı güvenli niteliktedir. Ayrıca ortogonal kolonlarda da sonuçların ortogonal olmayan kolonlara nazaran daha az hatalı değerlerde olmasına rağmen hata paylarının ihmal edilebilecek mertebelerde olmadığı aşıkardır.

4. YENİ SUPERPOZİSYON FORMÜLLERİ

Yönetmeliklerde verilmiş olan superpozisyon formüllerinin uygulanmasında ortaya çıkan sakıncalar yukada özetlenmiş bulunmaktadır. Uygulamada karşılaşılan özel halleri kapsayan ve aynı zamanda gerçekçi ve güvenli olan yeni bir superpozisyon formülasyonu geliştirmek üzere çeşitli formüller denenmiş ve aşağıda özetlenenlerin uygun olduğu saptanmıştır. Buna göre X ve Y doğrultularında deprem yüklemeleri yapılp kolonların a ve b asal eksenleri etrafındaki M_{ax} , M_{ay} , M_{bx} ve M_{by} eğilme momentleri saptandıktan sonra, kesit hesabında kullanılacak M_a ve M_b momentleri

$$M_a = \pm\sqrt{M_{ax}^2 + M_{ay}^2} \quad M_b = \pm 0.40\sqrt{M_{bx}^2 + M_{by}^2} \quad (4.1a)$$

$$M_a = \pm 0.40\sqrt{M_{ax}^2 + M_{ay}^2} \quad M_b = \pm\sqrt{M_{bx}^2 + M_{by}^2} \quad (4.1b)$$

formülleri ile hesaplanacaktır. Kesit hesabında (4.1a) ve (4.1b) formüllerinden elde edilen değerler ayrı ayrı kullanılacak ve elverişsiz donatı oranı saptanacaktır. Bu formüllerin uygulanması sonucunda Örnek 1, Örnek 2, Örnek 3, Örnek 4, Örnek 5 ve Örnek 6 için elde edilen donatı oranları ile, bu oranları parametrik araştırma sonucunda bulunmuş olanlarla karşılaştırılarak bulunan hata oranları, sırası ile, Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Çizelgelerde görüldüğü gibi, 6 adet örnek ile ilgili 29 adet kolon için, önerilen superpozisyon formülü ile donatı oranları hesaplanmış ve parametrik araştırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Hata oranlarının çoğunun güvenli yönde olduğu ve diğer üç superpozisyon yönteminden elde edilen iç kuvvetlere göre hesaplanan donatı oranlarına kıyasla çok daha gerçeğe yakın değerler elde edildiği görülmüştür. Güvenli ve güvensiz yöndeki hata oranlarının ortalamaları, sırası ile, +% 6.3 ve -% 4.7 olarak hesaplanmıştır. Deprem hesaplarındaki çeşitli belirsizlikler göz önünde tutulursa, bu hata oranlarının pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilir mertebede oldukları söylenebilir. Örnek 1 için ortalama hata oranı % 5.1, örnek 2 için ortalama hata oranı % 4.1, örnek 3 için ortalama hata oranı % 5.8, örnek 4 için ortalama hata oranı % 6.1, örnek 5 için ortalama hata oranı % 6.4, örnek 6 için ise ortalama hata oranı % 6.2 olarak hesaplanmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi hata oranlarının pozitif yönde olması yeni superpozisyon yaklaşımını güvenli kılmaktadır. Sonuç olarak, önerilen yeni superpozisyon formülünün hem yeterli düzeyde gerçekçi sonuçlar verdiği, hem de özel durumları kapsamakta başarılı olduğu anlaşılmaktadır.

Ortogonal olmayan kolonlara uygulanması önerilen bir başka formül ise aşağıdaki gibidir.

$$M_a = \pm(|M_{ax}| + 0.30|M_{ay}|) \quad M_b = \pm(|M_{bx}| + 0.30|M_{by}|) \times 0.55 \quad (4.2a)$$

$$M_a = \pm(0.30|M_{ax}| + |M_{ay}|) \times 0.55 \quad M_b = \pm(0.30|M_{bx}| + |M_{by}|) \quad (4.2b)$$

Yalnızca ortogonal olmayan kolonların incelendiği veya tamamen bu tip kolonlardan oluşan yapılar için kolon kesit hesaplarında kullanılacak M_a ve M_b eğilme momentleri yukarıdaki formüllerle hesaplanması uygun bulunmuştur. İncelenen altı adet örnek yapıda bu formüllerin uygulanması sonucunda ortogonal olmayan kolonlardaki donatı oranları sırası ile, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de gösterilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde güvenli ve güvensiz yöndeki hata oranlarının ortalamaları sırası ile +%4.5 ve -%2.3 olarak hesaplanmıştır. Bu hata oranlarının da pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilir mertebelerde oldukları düşünülebilir.

Çizelge 4.1 Yeni Süperpozisyonda Örnek 1 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)																																				
1	OK	0,00	82,43	90,51	0,00	82,43	36,20	1,739	1,879	1,798	4,5																																				
						32,97	90,51	1,879				2	NOK	56,88	58,29	56,88	58,29	81,44	32,57	1,594	1,594	1,541	3,4	32,57	81,44	1,594	3	NOK	64,00	67,05	64,00	67,05	92,69	37,07	2,347	2,347	2,375	-1,1	37,07	92,69	2,347	4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05
2	NOK	56,88	58,29	56,88	58,29	81,44	32,57	1,594	1,594	1,541	3,4																																				
						32,57	81,44	1,594				3	NOK	64,00	67,05	64,00	67,05	92,69	37,07	2,347	2,347	2,375	-1,1	37,07	92,69	2,347	4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05	87,92	35,17	1,902	1,902	2,155	-11,7	35,17	87,92	1,902						
3	NOK	64,00	67,05	64,00	67,05	92,69	37,07	2,347	2,347	2,375	-1,1																																				
						37,07	92,69	2,347				4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05	87,92	35,17	1,902	1,902	2,155	-11,7	35,17	87,92	1,902																					
4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05	87,92	35,17	1,902	1,902	2,155	-11,7																																				
						35,17	87,92	1,902																																							

Çizelge 4.2 Yeni Süperpozisyonda Örnek 2 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	96,84	98,68	96,84	98,68	138,26	55,30	1,707	1,707	1,751	-2,5
						55,30	138,26	1,707			
2	OK	3,18	138,45	136,97	3,03	138,48	54,80	1,680	1,680	1,724	-2,5
						55,39	137,00	1,664			
3	NOK	86,61	87,51	84,63	85,66	123,12	48,16	1,454	1,454	1,359	6,9
						49,25	120,41	1,424			
4	OK	0,35	123,01	120,57	1,72	123,01	48,23	1,453	1,453	1,375	5,6
						49,20	120,58	1,426			
5	NOK	102,84	97,86	102,84	97,86	141,96	56,78	1,960	1,960	2,024	-3,1
						56,78	141,96	1,960			

Çizelge 4.3 Yeni Süperpozisyonda Örnek 3 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	5,17	126,72	127,91	6,14	126,82	51,22	1,470	1,483	1,549	-4,2
						50,73	128,06	1,483			
2	OK	0,08	137,76	136,52	0,99	137,76	54,61	1,958	1,958	1,913	2,3
						55,10	136,52	1,944			
3	NOK	104,17	103,63	84,72	85,83	146,94	48,24	1,733	1,733	1,603	8,1
						58,78	120,60	1,457			
4	NOK	87,66	88,33	87,66	88,33	124,44	49,78	1,642	1,642	1,507	8,9
						49,78	124,44	1,642			

Çizelge 4.4 Yeni Süperpozisyonda Örnek 4 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,03	138,55	129,13	0,04	138,55	51,65	1,726	1,726	1,591	8,4
						55,42	129,13	1,623			
2	NOK	106,84	95,71	107,68	96,89	143,44	57,94	1,808	1,822	1,984	-8,1
						57,38	144,85	1,822			
3	NOK	93,03	98,60	92,95	98,14	135,56	54,07	1,706	1,706	1,670	2,1
						54,22	135,17	1,701			
4	OK	0,32	156,20	132,69	0,30	156,20	53,07	2,062	2,062	1,950	5,7
						62,48	132,69	1,815			
5	NOK	91,33	98,00	91,29	97,95	133,96	53,56	1,677	1,677	1,658	1,1
						53,58	133,89	1,676			
6	OK	0,60	136,18	151,69	0,83	136,18	60,68	1,730	1,891	1,821	3,8
						54,47	151,69	1,891			
7	OK	0,06	139,12	131,50	0,32	139,12	52,60	1,744	1,744	1,619	7,7
						55,65	131,50	1,661			
8	NOK	94,06	110,66	93,60	110,24	145,23	57,85	1,951	1,951	2,219	-11,9
						58,09	144,62	1,944			

Çizelge 4.5 Yeni Süperpozisyonda Örnek 5 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	99,66	68,68	57,54	118,96	121,03	52,86	1,528	1,654	1,660	-0,3
						48,41	132,14	1,654			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	156,97	52,97	2,083	2,083	2,112	-1,3
						62,79	132,43	1,825			
3	OK	14,19	144,53	144,53	14,19	145,23	58,10	1,964	1,965	2,258	-12,9
						58,10	145,23	1,964			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	137,36	46,38	1,714	1,714	1,543	11,1
						54,94	115,07	1,449			

Çizelge 4.6 Yeni Süperpozisyonda Örnek 6 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	137,36	46,38	1,714	1,714	1,543	11,1
						54,94	115,07	1,449			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	156,97	52,97	2,083	2,083	2,112	-1,3
						62,79	132,43	1,825			
3	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	156,97	52,97	2,083	2,083	2,112	-1,3
						62,79	132,43	1,825			
4	OK	0,00	137,36	115,07	0,00	137,36	46,38	1,714	1,714	1,543	11,1
						54,94	115,07	1,449			

Çizelge 4.7 Yeni Süperpozisyonda Örnek 1 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
2	NOK	56,88	58,29	56,88	58,29	74,37	40,90	1,584	1,620	1,541	5,1
						41,44	75,35	1,620			
3	NOK	64,00	67,05	64,00	67,05	84,11	46,26	2,316	2,396	2,375	0,8
						47,43	86,25	2,396			
4	NOK	56,88	67,05	56,88	67,05	76,99	42,34	1,777	2,051	2,155	-4,8
						46,26	84,11	2,051			

Çizelge 4.8 Yeni Süperpozisyonda Örnek 2 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	96,84	98,68	96,84	98,68	126,44	69,54	1,721	1,751	1,751	0,0
						70,25	127,73	1,751			
3	NOK	86,61	87,51	84,63	85,66	112,86	62,07	1,451	1,451	1,359	6,7
						61,07	111,05	1,412			
5	NOK	102,84	97,86	102,84	97,86	132,20	72,71	2,020	2,020	2,024	-0,1
						70,79	128,71	1,938			

Çizelge 4.9 Yeni Süperpozisyonda Örnek 3 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
3	NOK	104,17	103,63	84,72	85,83	135,26	60,76	1,714	1,714	1,603	6,9
						74,18	111,25	1,526			
4	NOK	87,66	88,33	87,66	88,33	114,16	62,79	1,604	1,614	1,507	7,1
						63,05	114,63	1,614			

Çizelge 4.10 Yeni Süperpozisyonda Örnek 4 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
2	NOK	106,84	95,71	107,68	96,89	135,55	75,21	1,925	1,925	1,984	-2,9
						70,27	129,19	1,754			
3	NOK	93,03	98,60	92,95	98,14	122,61	67,31	1,658	1,737	1,670	4,0
						69,58	126,02	1,737			
5	NOK	91,33	98,00	91,29	97,95	120,73	66,37	1,619	1,720	1,658	3,7
						68,97	125,34	1,720			
8	NOK	94,06	110,66	93,60	110,24	127,26	69,67	1,829	2,101	2,219	-5,3
						76,38	138,32	2,101			

Çizelge 4.11 Yeni Süperpozisyonda Örnek 5 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
1	NOK	99,66	68,68	57,54	118,96	120,26	51,28	1,500	1,775	1,660	6,9
						54,22	136,22	1,775			
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	52,47	2,087	2,087	2,112	-1,1
						68,33	136,06	1,959			

Çizelge 4.12 Yeni Süperpozisyonda Örnek 6 için Hata Oranları

Kolon No	Kolon Tipi	M_{ax} (kNm)	M_{ay} (kNm)	M_{bx} (kNm)	M_{by} (kNm)	M_a (kNm)	M_b (kNm)	ρ (%)	ρ_{max} (%)	ρ_p (%)	Hata (%)
2	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	52,47	2,087	2,087	2,112	-1,1
						68,33	136,06	1,959			
3	NOK	132,26	84,55	59,98	118,07	157,62	52,47	2,087	2,087	2,112	-1,1
						68,33	136,06	1,959			

5. SONUÇLAR

Tüm örnek yapılar için çeşitli superpozisyon yöntemleri ile bulunan kolon donatılarının parametrik araştırma sonuçları ile karşılaştırılmasından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te verilen superpozisyon formülünün asal eksenler doğrultusundaki eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerini göz önüne almadan uygulanması (Etkileşimsiz Superpozisyon) sonucunda elde edilen donatı oranlarının tümü güvensiz yönde ve bazı durumlarda % 45'i aşan oranda hatalıdır.

2- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te verilen superpozisyon formülünün asal eksenler doğrultusundaki eğilme momentlerinin karşılıklı etkilerini de göz önüne alarak uygulanması (Etkileşimli Superpozisyon) sonucunda elde edilen donatı oranlarının tümü aşırı güvenli nitelikte olup bazı durumlarda % 55'yi aşan oranda hatalıdır.

3- Karelerin Toplamının Kare Kökü yöntemi ile elde edilen donatı oranlarının tümü güvensiz yönde ve bazı durumlarda % 35'u aşan oranda hatalıdır.

4- Gerek ortogonal olmayan yapılardaki ortogonal kolonlar gerekse ortogonal yapılara ait kolonlar için, donatı hesaplarında ortogonal doğrultulardaki yüklemelerden elde edilen eğilme momentlerinin kullanılması hatalı sonuçlar vermektedir.

5- Yukarıda sıralanan sakıncalar nedeni ile, daha gerçekçi ve güvenli bir superpozisyon formülünün geliştirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla önerilmiş olan (4.1a) ve (4.1b) superpozisyon formüllerinin çoğunlukla güvenli yönde olmak üzere, ortalama % 5.5 oranında hatalı sonuçlar verdiği hesaplanmıştır. Deprem hesaplarındaki çeşitli belirsizlikler göz önünde tutulursa, bu hata oranının pratik uygulamalar bakımından kabul edilebilir mertebede olduğu söylenebilir.

6- Ortogonal olan ve olmayan yapılardaki tüm kolonların donatı hesaplarında, kullanılacak tasarım eğilme momentlerinin önerilen yeni (4.1a) ve (4.1b) superpozisyon formülleriyle belirlenmesi, donatı yüzdelerinin gerçeğe yeterince yakın hesaplanmasını sağlamaktadır.

7- Yalnızca ortogonal olmayan kolonların incelendiği veya bu tip kolonlardan oluşan yapılar için kolon donatı hesaplarında kullanılacak M_a ve M_b eğilme momentlerinin belirlenmesinde (4.2a) ve (4.2b) süperpozisyon formüllerinin kullanılması da uygun sonuçlar vermektedir. Bu durumda ortalama hata oranı yapılan örneklerden +% 4,5 ~ -% 2,3 arasında kalmaktadır.

8- Bu çalışmada elde edilen sonuçların irdelenmesi ve genelleştirilmesi için, daha geniş kapsamlı araştırmalar yapılması yararlı olacaktır.



KAYNAKLAR

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Ağustos 1997.

G. Özmen, Ortogonal Olmayan Yapılarda Maksimum Donatı Oranlarının Tayini, İstanbul, 2001.

U. Ersoy, G. Özcebe, Betonarme: temel ilkeler, TS-500-2000 ve Türk deprem yönetmeliğine (1998) göre hesap, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2001.

G. Özmen, E. Orakdöğen, K. Darılmaz, Örneklerle SAP 2000, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.

İ. H. Çağatay, S. Güzeldağ, Yeni Deprem Yönetmeliği (TDY-98) SAP2000N Uygulamaları, Adana, 2002.

Z. Hasgür, N. Gündüz, Betonarme Çokkatlı Yapılar, İstanbul, 1996.

A. Çakıroğlu ve E. Özer, Eğik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Dikdörtgen Betonarme Kesitlerde Taşıma Gücü Formülleri, İstanbul, 1983

SAP 2000 Nonlinear Version 7.21

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 28.02.1978

Doğum yeri İstanbul

Lise 1992-1995 Özel Sahak Nunyan Lisesi

Lisans 1997-2001 İstanbul Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum

2002-Devam ediyor A Yapı Denetim A.Ş.