

168451

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

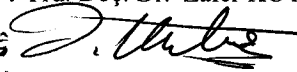
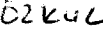
**GELENEKSEL BETONARME YAPILARIN ÇELİK  
ÇAPRAZLARLA GÜÇLENDİRİLMESİ**



İnşaat Müh. Erendiz ATAŞ

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Mekanik Programında  
Hazırlanan

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ (YTÜ)

Y. Doç. Dr. Zafer KÜTÜĞ   
Doç. Dr. Tülay AKSU 

  
Doç. Dr. İrfan Coşkun 

İSTANBUL, 2005

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT .....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Yapılan Çalışmalar .....	1
1.2 Çalışmanın Amacı .....	5
2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI .....	8
2.1 Depreme Karşı Güvenlik .....	8
2.1.1 Geometri .....	9
2.1.2 Süreklilik .....	10
2.1.3 Göçme Şekli .....	10
2.1.4 Rijitlik ve Dayanım .....	11
2.1.5 Süneklik .....	12
2.2 Deprem Yönetmeliği .....	13
2.3 Yapı Elemanları Davranışı .....	16
2.3.1 Betonarme Davranışı .....	16
2.3.2 Kiriş Davranışı .....	16
2.3.3 Kolon Davranışı .....	17
2.3.4 Perde Davranışı .....	18
2.4 Betonarme Taşıyıcı Sistemler .....	19
2.5 Deprem Bölgelerinde Çelik Yapılar .....	21
2.5.1 Çelik Çerçeve Sistemler .....	23
2.5.1.1 Kiriş ve Kolonlar .....	23
2.5.1.2 Birleşimler .....	24
2.5.1.3 Kiriş- Kiriş Birleşimi .....	24
2.5.1.4 Kolon-Kiriş Birleşimleri .....	24
2.5.1.5 Kolon Ekleri .....	25
2.5.2 Çaprazlı Çerçeve Sistemler .....	26
2.5.2.1 Merkezi Çaprazlı Çerçeveler .....	26
2.5.2.2 Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeveler .....	27
2.5.3 Rijit + Çaprazlı Çerçeve Karma Sistemler .....	28
3. ETABS TANITIMI .....	31
3.1 Genel .....	31
3.2 Boyutlama Algoritması .....	32
3.2.1 Boyutlama Yük Kombinasyonları .....	32

3.2.2	Boyutlama ve Kesit Kontrol Noktaları.....	32
3.2.3	Elemanların Mesnetlenmemiş Boyları .....	33
3.2.4	Kiriş ve Kolonların Tanıtılması.....	34
3.2.5	Kirişlerin Boyutlaması.....	35
3.2.6	Kolonların Boyutlaması.....	35
3.3	ETABS Programını TS500 ve Deprem Yönetmeliğine Uyarlama.....	36
3.4	Genel Kullanım İlkeleri.....	38
3.4.1	Sistem modelinin oluşturulması .....	38
3.4.2	Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması .....	38
3.4.3	Kesit Özelliklerinin Tanımlanması.....	39
3.4.4	Yüklerin Tanımlanması .....	39
3.4.5	Çözüm (Analiz) .....	39
3.4.6	Boyutlandırma .....	39
3.5	Koordinat Sistemleri ve Aks Çizgileri .....	39
4.	MODELLEME .....	41
4.1	Bina Tanıtım Raporu .....	41
4.2	Kabuller .....	44
4.2.1	Sabit ve Hareketli Yük .....	44
4.2.2	Tasarım Deprem Karakteristikleri .....	44
4.2.3	Malzeme Karakteristikleri .....	44
4.3	ETABS Programına Data Girişi .....	45
4.3.1	Aks Sistemi.....	45
4.3.2	Kat Bilgileri .....	46
4.3.3	Malzeme Bilgilerinin Tanımlanması.....	46
4.3.4	Kullanılacak Kesitlerin Tarif Edilmesi.....	47
4.3.5	Yük Bilgilerinin Girilmesi.....	51
4.3.6	Yük Kombinasyonlarının Tarif Edilmesi .....	53
4.3.7	Dinamik Hesapta Kullanılacak Kat Ağırlıklarının Belirlenmesi.....	54
4.3.8	Çubuk Elemanların Model Üzerinde Oluşturulması .....	54
4.3.9	Döşeme ve Perde Duvar Elemanlarının Model Üzerinde Oluşturulması.....	56
4.3.10	Mesnet Şartları.....	57
4.3.11	Analiz Genel Özellikleri.....	57
4.4	Deprem Etkisi Altında Çözüm Yöntemleri .....	59
4.4.1	Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemi.....	59
4.4.2	Mod Birleştirme Yöntemi.....	60
4.4.3	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi .....	60
5.	SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER .....	62
5.1	Düzensizlik Durumları .....	62
5.1.1	Düzensiz Binalara İlişkin Koşullar.....	62
5.1.2	Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması .....	63
5.2	Kat Yerdeğıştirmelerinin Karşılaştırılması.....	64
5.3	Modlara Göre Yatay Bileşenlerin Karşılaştırılması .....	65
5.4	Periyot Değerlerinin Karşılaştırılması .....	69
5.5	Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması .....	71
5.6	Kolon Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması .....	72
5.7	Kolon Momentlerinin Karşılaştırılması.....	75
5.8	P5 Perdesi Kesit Tesirleri .....	84
5.9	Değerlendirme ve Öneriler .....	86

KAYNAKLAR.....	88
ÖZGEÇMİŞ.....	89



## SİMGE LİSTESİ

$A_w$	Kolon enkesiti etkin gövde alanı
$c$	Sönüm katsayısı
$d$	Döşeme kalınlığı
$d_i$	Binanın $i$ 'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
$EX$	$x$ yönü deprem yükü
$EY$	$y$ yönü deprem yükü
$f_c'$	Beton karakteristik basınç dayanımı
$f_{cd}$	Betonun tasarım basınç dayanımı
$f_{ctd}$	Betonun tasarım çekme dayanımı
$f_{ck}$	Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı
$f_{yd}$	Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
$f_y$	Eğilme donatısı karakteristik akma dayanımı
$f_{ys}$	Kayma donatısı karakteristik akma dayanımı
$G$	Sabit yük
$h_i$	Binanın $i$ 'inci katının kat yüksekliği
$H_N$	Binanın temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
$l_{33}$	3-3 eksen (ana eksen) doğrultusunda kararsızlık
$l_{22}$	2-2 eksen (tali eksen) doğrultusunda kararsızlık
$k$	Rijitlik
$m$	kütle
$M$	Moment
$M_u$	Kirişin taşıma gücü momenti
$M_u^+$	Maksimum pozitif yük çarpanları
$M_u^-$	Maksimum negatif yük çarpanları
$N_o$	Kolonun aksenal yük kapasitesi
$n$	Hareketli yük katılım katsayısı
$R$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$T$	Periyot
$w$	Frekans
$x$	Deplasman
$\dot{x}$	Hız
$\ddot{x}$	İvme
$Q$	Hareketli yük
$\Delta_i$	$i$ 'inci kattaki görelî kat ötelemesi
$\Delta_{max}$	Maksimum şekil değiştirme
$\Delta_{elastik}$	Elastik şekil değiştirme
$\eta_{bi}$	Burulma düzensizliği katsayısı
$\eta_{ci}$	Dayanım düzensizliği katsayısı
$\eta_{ki}$	Rijitlik düzensizliği katsayısı
$\sum A_e$	Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı
$\sum A_g$	Herhangi bir katta, göz önüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan elemanların enkesit alanları toplamı

## KISALTMA LİSTESİ

ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	A.B.D. Betonarme yönetmeliği
BSI	İngiliz Betonarme yönetmeliği
CEN	Avrupa Betonarme yönetmeliği
COMB4	Yük kombinasyonu (G+Q+EY)
CSA	Kanada Betonarme yönetmeliği
NSZ	Yeni Zelanda Betonarme yönetmeliği
UBC	A.B.D. Betonarme yönetmeliği



## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Orhan Pekin ve Prof.Dr. Kemal Özden'in karşılaştırdığı taşıyıcı sistem modelleri	2
Şekil 1.2	Orhan Pekin tarafından Taksim'de yapılan düşey kafes kirişler	3
Şekil 1.3	Chicago Title binası	3
Şekil 1.4	Boğaziçi Üniversitesi'nin 4 Mart 1977 Bükreş depremi için hazırladığı rapor	4
Şekil 2.1	Elasto – Plastik gerilme-şekil değiştirme bağıntısı	12
Şekil 2.3	Kolon etriye sarılımları	18
Şekil 2.4	Perde kırılma yönleri	19
Şekil 2.5	Taşıyıcı sistem modelleri	20
Şekil 2.6	Taşıyıcı sistemlerdeki mafsallaşma bölgeleri	21
Şekil 2.7	Merkezi çaprazlı sistem	29
Şekil 2.8	Dışmerkezi çaprazlı sistem	29
Şekil 2.9	Karma sistem	30
Şekil 3.1	Eğilme eksenleri ve mesnetlenmemiş boy	34
Şekil 3.2	Malzeme özellikleri menüsü	36
Şekil 3.3	Yük kombinasyonları menüsü	37
Şekil 3.4	Koordinat eksenleri ve lokal eksen görünüşü	40
Şekil 4.1	Kat planı	42
Şekil 4.2	A aksı görünüşü	43
Şekil 4.3	Aks sisteminin girilmesi	45
Şekil 4.4	Kat bilgilerinin oluşturulması	46
Şekil 4.5	Malzeme özellikleri menüsü	47
Şekil 4.6	Çubuk elemanlar kesit özellikleri menüsü	47
Şekil 4.7	Çubuk elemanların kolon veya kiriş olarak belirlenmesi	48
Şekil 4.8	Perde ve döşeme elemanların kesit özellikleri menüsü	49
Şekil 4.9	S2 kolonu kesit özellikleri menüsü	49
Şekil 4.10	L kolon kesit özellikleri menüsü	50
Şekil 4.11	Çelik takviye elemanının kesit özellikleri menüsü	50
Şekil 4.12	Yük tiplerinin tarif edilmesi	51
Şekil 4.13	UBC 1994 Deprem şartnamesi tanımları	52
Şekil 4.14	Yük kombinasyonları menüsü	53
Şekil 4.15	Dinamik hesaba esas kütle çarpanlarının tarifi	54
Şekil 4.16	Çubuk elemanların atanması	55
Şekil 4.17	Perde elemanların atanması	56
Şekil 4.18	Mesnet özellikleri menüsü	57
Şekil 4.19	Analiz özellikleri genel menüsü ve dinamik analiz özellikleri menüsü	57
Şekil 4.20	Etkin yer ivmesi-periyot değerleri menüsü	58
Şekil 4.21	Spektrum değerleri menüsü	59
Şekil 5.1	Katlar arası yerdeğiştirmeler	63
Şekil 5.2	Kat yerdeğiştirmeleri karşılaştırma grafiği	65
Şekil 5.3	Mod1 için yerdeğiştirme grafiği	67
Şekil 5.4	Mod2 için yerdeğiştirme grafiği	67
Şekil 5.5	Mod3 için eksenel dönme grafiği	68
Şekil 5.6	Mod4 için yerdeğiştirme grafiği	69
Şekil 5.7	Modlara göre periyot grafiği	70
Şekil 5.8	Taban kesme kuvvetleri grafiği	71
Şekil 5.9	Çerçeve ve perdeli modellerdeki C3 kolonu kesme kuvveti grafiği	73
Şekil 5.10	Çaprazlı modeldeki C3 kolonu kesme kuvveti grafiği	74
Şekil 5.11	Çerçeve ve perdeli modellerdeki C3 kolonu moment grafiği	76
Şekil 5.12	Çaprazlı modeldeki C3 kolonu moment grafiği	77

Şekil 5.13	Çerçeve ve perdeli modellerdeki C13 kolonu kesme kuvveti grafiği .....	79
Şekil 5.14	Çaprazlı modeldeki C13 kolonu kesme kuvveti grafiği .....	80
Şekil 5.15	Çerçeve ve perdeli modellerdeki C13 kolonu moment grafiği .....	82
Şekil 5.16	Çaprazlı modellerdeki C13 kolonu moment grafiği .....	83
Şekil 5.17	Perdeli modeldeki P5 perdesi moment ve kesme kuvveti diyagramı.....	85





## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Yük kombinasyonları.....	37
Çizelge 4.1	Betonarme betonu.....	44
Çizelge 4.2	Donatı çeliği.....	44
Çizelge 4.3	Eşdeğer deprem yükü yöntemi'nin uygulanabileceği binalar .....	61
Çizelge 5.1	Düzensizlik durumları .....	62
Çizelge 5.2	Kat yerdeğiştirmeleri .....	64
Çizelge 5.3	Mod1 için kat döşemelerinin yatay bileşenleri.....	66
Çizelge 5.4	Mod2 için kat döşemelerin yatay bileşenleri.....	67
Çizelge 5.5	Mod3 için kat döşemelerinin dönme bileşenleri.....	68
Çizelge 5.6	Mod4 için kat döşemelerinin yatay bileşenleri.....	69
Çizelge 5.7	Modlara göre periyotlar .....	70
Çizelge 5.8	Taban kesme kuvvetleri.....	71
Çizelge 5.9	C3 kolonu kesme kuvvetleri .....	72
Çizelge 5.10	C3 kolonu moment değerleri .....	75
Çizelge 5.11	C13 kolonu kesme kuvveti değerleri .....	78
Çizelge 5.12	C13 kolonu moment değerleri .....	81
Çizelge 5.13	P5 perdesi kesit tesirleri.....	84



## ÖNSÖZ

Ülkemiz dünyanın önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde yer almaktadır. Kuzey Anadolu Fayı ise dünyanın en hareketli faylarından birisidir. 1939 Erzincan depremi bu fayın doğu ucunda, 1999 Marmara depremi ise aynı fayın batı ucunda meydana gelmiştir. Binlerce can kaybına ve önemli maddi hasarlara neden olan bu depremler, depreme dayanıklı yapı kavramını günümüzün en konuşulan konusu haline getirmiştir.

Öğrenim insanın doğumuyla başlayıp ölümüne dek yol alan bir süreçtir. Bu süreçte başarı, insanın istemesinin yanında çevresinden göreceği desteğe de bağlıdır. Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca her konuda yardımcı olan, yol gösteren meslektaşlarım Gülizar Bilgin, Melih Bulgur, İlkay Ergüneş, Fatih Yeşilselve'ye ve son olarak çalışmanın mimarı, danışmanım, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Zafer Kütüğ'e sonsuz teşekkürü borç bilirim.



## ÖZET

Geleneksel yapılar; kolon ve kirişten oluşan çerçeve sistem ve bu çerçeve sisteme düşey taşıyıcı olarak eklenen perde elemanlı sistem olarak tasarlanmaktadır. Bu yapılarda deprem gibi dinamik etkilerle ortaya çıkan yatay hareketler esnasında, çerçeve sistemin büyük deplasmanlar yaptığı ve bu esnada düşey taşıyıcı eleman olan kolonların birleşim noktalarında büyük momentlerin ve buna bağlı kesme kuvvetlerinin ortaya çıktığı bilinmektedir. Çerçeve sistemlerin mahsurlarını ortadan kaldırmak yani kolon düğüm noktalarına gelen momentleri azaltmak için büyük atalet momentine sahip düşey taşıyıcı perde elemanlar eklenerek perdeli sistemler tasarlanmıştır. Ancak bu elemanların da büyük kesme kuvvetlerine maruz kaldığı ve buna bağlı olarak temellerinde büyük taban momentlerinin ortaya çıktığı görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı her iki sistemdeki bu tür mahsurları ortadan kaldırmaktır. Bunun için çerçeve yapıların kolon kiriş düğüm noktaları arasına çapraz yapı elemanları konulmuştur. Böylelikle yapının hem çerçeve yapılarından daha az yerdeğiştirme yapması ve düğüm noktalarındaki momentlerin azaltılması, hem de perdeli yapılardaki büyük kesme kuvvetlerinin ve taban momentlerinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırmada; on iki katlı bir betonarme yapı üç farklı şekilde tasarlanmıştır.

Birinci aşamada taşıyıcı sistem kolon ve kirişlerden meydana gelen çerçeve bir sistem olarak ele alınıp çözülmüştür. İkinci aşamada aynı yapı belirli yerlerde perde yapı elemanı olacak şekilde tasarlanmıştır. Son olarak yapıda; perde elemanlar yerine, çelik X biçiminde düzenlenmiş çaprazlar kullanılmıştır.

Üç farklı tasarımın deprem analizlerinden elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bu amaçla ETABS çözümlene programı kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelemeye konu olan eğik elemanların, betonarme perdeler gibi çerçeve sistemlerin rijitliğini arttırdığı, deplasmanları ise azalttığı ve bunlara bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme, rijitlik, çerçeve, perde, çelik takviye

## **ABSTRACT**

Conventional structures are being designed as framed system formed by beams and columns and shear wall system added to this framed system as a vertical bearing. It is known that in these structures during the horizontal movement occurred by dynamic effects such as earthquake, framed structures make great displacements and great moments and shear forces occur at the joint points of columns that are vertical bearing elements at this time. Shear wall systems has been designed to prevent the shortcomings of the framed systems, in other words, to decrease the moments of columns joint points by adding vertical bearing which has great moment. But it was seen that these elements were also exposed to great shear forces and as a result of these forces great base moments occur on these elements' grounds.

This research work is to remove all these shortcomings. For this reason, X diagonal structure elements were added between the beams and columns joint points of framed structures. Thus both the structure's less translocating than the framed structures and decreasing the moments of joint points and also preventing the great shear forces of shear wall structures and base moments are aimed.

In that research, twelve story reinforced concrete structure was designed as three different systems.

In first system, the structure is formed by using beams and columns. In the second system, the same structure is formed by using shear walls in particular places. Lastly, instead of shear walls, steel X shaped diagonal braces were used.

The earthquake analysis of these three systems were compared to each other. ETABS analysis program was used for the system analysis.

The results show that those brace elements are increasing rigidity of framed systems like reinforced concrete shear walls, decreasing displacements and are available as an alternative to these shear walls.

**Keywords:** Reinforced concrete, rigidity, frame, shear wall, steel brace

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Yapılan Çalışmalar

Mathewson ve Davey (1980), Dowrick (1981), Karadoğan vd. (1993), Kumbasar (2002), hasar görmüş çerçeve sistem yapıların güçlendirilmesinde, uygun seçilmiş çerçeve boşluklarının betonarme duvarlarla doldurularak sistemin rijitlik ve dayanımının artırılmasını incelemişler ve uygulamada kabul görmüş bir yöntem ortaya çıkarmışlardır.

Yapılarda en yaygın kullanılan taşıyıcı sistemlerden biri olan çerçeveler kat sayısının az olması halinde yatay ve düşey yükleri, yönetmeliklerin öngördüğü gibi, emniyetli bir şekilde aktarabilmektedir. Ancak, kat sayısı ile artan yatay yükler altında yanal yer değiştirmeleri sınırlandırmak üzere; Smith (1962), Dewolf ve Pellicione (1979), Bazen ve Meli (1980), Pobal (1988), tüm dünyada yaygın olan betonarme perdeler ya da çelik eğik elemanlar kullanılan yöntemleri uygulamışlardır (Amil, 2003).

Sugano ve Fujimura (1980), betonarme çerçevelerde K ve X çelik takviyeleri ve aynı model üzerinde betonarme perde duvar kullanarak her bir sistemin yapısal dayanımını ve düktilitesini karşılaştırmıştır.

Higashi vd. (1981), betonarme çerçevelerde eşmerkezli ve dışmerkezli çelik takviyelerin kullanıldığı bir çalışma yapmıştır.

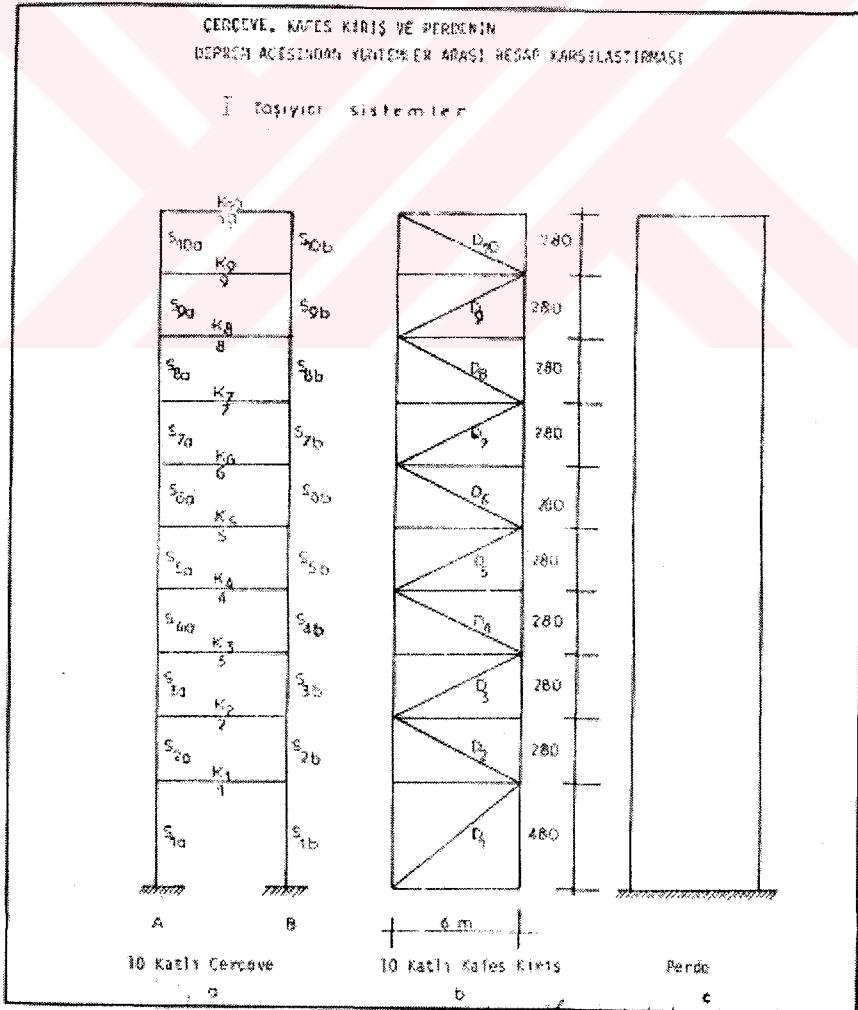
Bush (1987), betonarme çerçevelerde X tipli bir çelik takviye sistemi kullanarak, çerçevenin kesme dayanımında önemli bir artış elde etmiştir.(Maheri ve Sahebi, 1997)

Maheri ve Sahebi (1997), basit bir deney düzeneğinde takviyesiz çerçeveli, basınca çalışan takviyeli, çekmeye çalışan takviyeli ve çapraz çelik takviyeli sistemleri kullanarak modeller arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Elde edilen sonuçlarda, basınç veya çekmeye çalışan diyagonallerle kesme dayanımının 2,5 kat, çapraz çelik takviyelerle ise bu dayanımın 4 kat arttığı gözlenmiştir.

Kara vd. (2003), üç katlı bir betonarme yapıyı bir adet eksik donatılı çerçeve, iki adet ortası takviye edilmiş çerçeve (dolgu duvarlı + çaprazlı ve yalnız çaprazlı), iki adet iki kenar açıklıkları takviye edilmiş çerçeve, bir adet 1997 ABYYHY hükümlerine uygun çerçeve, bir adet ortası dolgu duvarlı çerçeve, bir adet iki yan açıklığı dolgu duvarlı çerçeve olmak üzere sekiz farklı şekilde SAP 2000 programıyla modellemişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre uygulanan yükler altında yapı elemanlarında oluşan moment ve kesme kuvvetleri ile deplasmanlar önemli ölçüde azalmaktadır.

Amil (2003), çok katlı yapıların yanal yer değiştirmelerini sınırlandırmak üzere rijitleştirici eleman olarak kullanılan farklı düzenlenmiş 6 adet eğik elemanlı ve 1 adet betonarme perdeli olan 10 katlı 3 açıklıklı betonarme çerçevenin deprem yükleri altında davranışlarının karşılaştırmasını, SAP2000 yapısal çözümleme programı kullanarak yapmıştır. Elde edilen sonuçlar eğik elemanların, betonarme perdeler gibi çerçeve sistemlerin rijitliğini artırdığını, yer değiştirmelerini ise azalttığını göstermektedir.

Prof. Dr. Kemal Özden yönetiminde Müh. Orhan Pekin tarafından yapılmış olan yüksek lisans tezinde on katlı tek açıklıklı bir çerçeve, aynı çerçeveye eklenmiş betonarme çapraz elemanların olduğu bir sistem ve aynı çerçeve yerine uzun kenarı çerçeve açıklığı kadar olan on katlı perdenin deprem analizleri arasında karşılaştırma yapmıştır. 1975 yılında Orhan Pekin patentini aldığı kafes kiriş sistemin hesaplarını ve moment çerçeve ile deprem perdelerine nazaran depreme daha dayanıklı olduğunu Prof. Dr. Kemal Özden ile hesaplamış ve yayınlamıştır (Şekil 1.1).

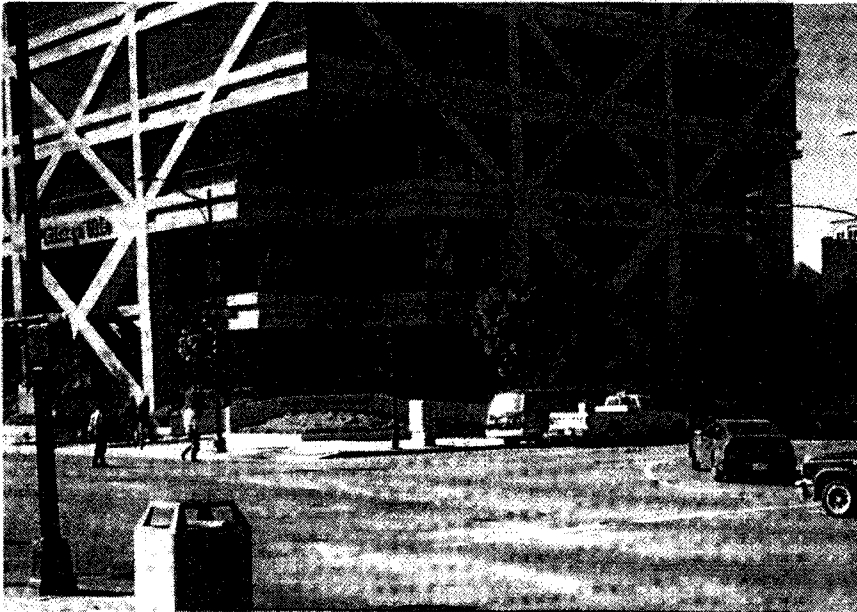


Şekil 1.1 Orhan Pekin ve Prof. Dr. Kemal Özden'in karşılaştırdığı taşıyıcı sistem modelleri

Türkiye’de Orhan Pekin; Kemal Özden ve Faruk Sırmalı ile patentini aldığı ve Türkiye’de inşaatını yaptığı diyagonal kafes kiriş sistemi (Şekil 1.2) daha sonra Romanya’da da tatbik edilmiştir. Romenlerin yaptığı bu bina 4 Mart 1977 Bükreş depreminde yıkılmamıştır. Boğaziçi Üniversitesi’nin 1977 Bükreş depremi için hazırladığı raporda, betonarme çapraz kullanılan yapının deprem sırasında ayakta kaldığı ve çevresindeki benzer binaların yıkıldığı belirtilmiştir (Şekil 1.4). A.B.D.’de betonarme çapraz elemanlar kullanılarak tatbik edilen Chicago Title binası Şekil 1.3’te görülmektedir (Pekin, 2000).



Şekil 1.2 Orhan Pekin tarafından Taksim’de yapılan düşey kafes kirişler



Şekil 1.3 Chicago Title binası

BOĞAZIÇI UNIVERSITY  
Earthquake Engineering Research Institute

**ROMANIAN EARTHQUAKE  
OF  
MARCH 4, 1977**

Internal Report No. 77-122

of stiffness degradations. The engineers of the American Building Research Institute reported that an unheeded expert report of the time classified almost all of these structures as unsafe and dangerous. It is important to observe that these buildings have characteristics quite similar to those of buildings currently in use in many cities around the world. Photographs of typical examples of failures for buildings in this group are shown in Figs. 27 to 31. The site of the collapsed Bar Continental building was cleared off the debris at the time of the investigation. (A similar building survived the earthquake because of the stiffening effect of the diagonal reinforced concrete bracing as seen in Fig. 25.)



Fig. 32  
Foundations of totally collapsed  
Bar Continental complex.

Şekil 1.4 Boğaziçi Üniversitesi'nin 4 Mart 1977 Bükreş depremi için hazırladığı rapor



## 1.2 Çalışmanın Amacı

Türkiye aktif deprem kuşakları üzerinde yer almakta ve çeşitli büyüklüklerde depremlere sahne olmaktadır. Ülke ekonomisinin kalbi sayılan birçok fabrika ve işletmenin deprem kuşağı üzerinde ya da etki alanı içinde bulunması ve bu bölgelerdeki nüfusun yoğunluğu dikkate alındığında, depreme dayanıklı yapıların tasarımı ve inşaatı büyük önem arz etmektedir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımındaki temel varsayımlardan biri, yapının taşıyıcı elemanlarının, ender oluşan şiddetli bir deprem altında elastik sınırlar içerisinde kalamayacağı, çeşitli yerlerde donatının akması ile plastik mafsalların oluşacağıdır. Bu tür depremde önemli olan insan hayatının kurtarılması olduğundan, yapının ayakta kalması önemlidir. Yapısal hasarın oluşması doğaldır. Bu hasarın da onarılabilecek düzeyde kalması elbette tercih edilir. Yapının bu konumda ayakta kalabilmesi deprem esnasında ortaya çıkan enerjinin tüketilebilmesi ile mümkündür. Depreme dayanıklı yapı tasarımı yapılırken bu husus her zaman göz önüne alınmalıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında sağlanması gereken üç koşul vardır.

- Dayanım
- Süneklik
- Sınırlı yanal ötelenme(rijitlik)

Bu koşullar aşağıda kısaca irdelenecektir.

Bilindiği gibi yönetmeliklerden elde edilen yatay yükler yapıya etkimesi beklenen yüklerden çok küçüktür. Yapının sünek davranacağı varsayımı ile gerçek yükler, davranış katsayısı olan  $R$ 'ye bölünerek büyük oranda azaltılmaktadır. Bu nedenle, yönetmelik yüklerini kullanarak yapılan hesap sonucu elemanlarda hesaplanan iç kuvvetlere bakarak elemanın elastik kalıp kalmadığını kestirmek son derece yanıltıcıdır. Gerçekçi yaklaşım, hesaplanan iç kuvvetleri bir yana bırakarak, kritik noktalarda donatının aktığını ve bu noktalarda kesitin moment kapasitesine ulaştığını varsaymaktadır. Bu ilkeye göre kiriş ve kolon uçlarında plastik mafsallı oluştuğu varsayılmıştır. Kolonlar kirişlere göre çok daha gevrek bir davranış gösterdiğinden mafsallaşmanın öncelikle kirişlerde olanı tercih edilmelidir. Yönetmeliklerde bu tercih "kuvvetli kolon – zayıf kiriş" ilkesiyle ifade edilir.

Daha önce çok şiddetli bir deprem altında yapı elemanlarının elastik sınırlar içinde kalmasının mümkün olmadığı belirtilmişti. Bu durumda yapının ayakta kalabilmesinin ancak yeterli enerjinin tüketilebilmesi ile mümkün olacağı da vurgulanmıştı. Enerjinin büyük bir yüzdesi

oluşan plastik mafsallarda tüketilir. Bu durumda plastik mafsalların büyük dönme yeteneğine sahip olmaları önemlidir. Süneklik, taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan enerji tüketebilme yeteneğidir. Yönetmeliğimizde, yapı elemanlarının sünek davranarak yeterli enerjiyi tüketebilecekleri varsayımıyla, kestirilen deprem kuvvetleri R katsayıları ile azaltılmaktadır. Bu nedenle Yönetmelikteki kuvvetler kullanılarak yapılan bir tasarımda süneklik mutlaka sağlanmalıdır. Sünekliğin sağlanabilmesi için aşağıdaki koşullara dikkat edilmelidir.

- Kiriş ve kolon uçları sık ve kapalı etriyelerle sarılmalıdır.
- Yönetmelikteki kenetlenme ve bindirme boylarına uyulmalıdır.
- Kiriş ve kolonlarda kapasite dizaynı yapılarak kesme kırılması önlenmelidir.
- Yönetmelikte öngörülen donatı sınırlarına ve detaylarına uyulmalıdır.

Sınırlı yanal ötelenmenin çok önemli olduğu özellikle son 10 yılda yapılan gözlemler ve deneylerle kanıtlanmıştır. Bu nedenle tasarımda, özellikle düşey taşıyıcıların boyutlarında cömert davranılması gerekmektedir. Başka bir deyişle yapının yanal rijitliğinin yüksek tutulması gerekir.

Deprem dinamik bir olaydır ve depremin yapıya etkisi zemin özellikleri yanında yapının dinamik özelliklerinden olan rijitlik, periyot ve sönüme bağlıdır. Yapının dinamik özelliklerini belirleyen rijitlik, bilindiği gibi malzemenin gerilme-deformasyon ilişkisi yanında, düşey taşıyıcı elemanların eylemsizlik momentlerine bağlıdır.

Yanal ötelenmenin azaltılmasındaki temel ilke, bazı çerçevelerin kuvvetlendirilip, rijitleştirilmesidir. Bu işlem, uygun çerçevelere konacak çelik çaprazlarla veya betonarme perdelerle sağlanır.

Betonarme perde ile onarım/güçlendirme ülkemizde depremler sonrası en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Genelde hasar gören yapılarda hemen tüm kiriş ve kolanlarda malzeme yetersizliği, donatı eksikliği ve kesitlerin yetersiz olması ve yönetmelik koşullarını sağlamaması, bu sebeplerle binaların büyük bir çoğunluğunun yanal rijitliğinin düşük olması bu yöntemi çekici kılmaktadır.

Ancak betonarme perdeler, pencere boşluğu gibi mimari birtakım istekleri engeller, yapıyı ağırlaştırıp depremde gelen yatay kuvvetleri artırır ve çok rijit olduğu için depremde ortaya çıkan kuvvetlerin büyük bir kısmını alır, yapının topyekün dayanımını sağlayamaz ve diğer perde olmayan kısımların tahribine sebep olabilir ve en önemlisi temellerde çok büyük kuvvet çiftleri ortaya çıkararak yapının temellerden tahribine sebep olabilir (Ersoy, 2000).

İşte bu sonuçlar doğrultusunda bu tez çalışmasında, betonarme perdelerle nazaran daha az rijit olan çelik çaprazlarla güçlendirme yöntemi, çerçeve modele uygulanıp betonarme perdeli model ile ve kolon-kiriş elemanlarından meydana gelen çerçeve model ile karşılaştırılmış, birbirlerine olan üstünlükleri irdelenmiştir.



## 2. DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI

### 2.1 Depreme Karşı Güvenlik

Güvenlik, yapının taşıyabileceği yükün taşınması beklenenden büyük olması şeklinde tanımlanabilir. Güvenliğin sağlanmasında çözümlenin verdiği sonuçlara uygun olarak boyutlama yapılır ve yapının zorlanan kısımlarına özen gösterilir. Ayrıca yapının bütünlüğüne veya kararlılığına olumsuz yönde etki edecek göçme biçimlerinin ortaya çıkmaması için önlem alınır. Ancak depreme dayanıklı tasarım ve boyutlamada, düşey yükler altındakinden daha büyük belirsizliklerle karşılaşılır. Bu belirsizlikler, etkimesi beklenen yükler yanında yapı elemanlarının ve birleşim yerlerinin sünekliğini büyük ölçüde etkileyen davranışların belirlenmesinde ve taşıma güçlerinin bulunmasında ortaya çıkar. Bu nedenle bir yapının ömrü boyunca, herhangi bir zaman ve şiddette meydana gelebilecek deprem yüklerine güvenlikle karşı koyabilmesi, kesin olarak belirlenebilecek bir özellik değildir.

Bir binanın sabit yük, faydalı yük, sıcaklık etkisi gibi etkilere maruz kalma sıklığı ile karşılaştırıldığında depremin çok daha seyrek olduğu görülür. Pek çok yapı beklenen şiddette bir depreme maruz kalmadan faydalı ömrünü tamamlar. Bu durumda her yapının beklenen şiddetteki depremi hiç hasarsız ve düşey yükler için olduğu gibi elastik davranış sınırları içinde kalarak karşılamasını amaçlamak çok pahalı ve ülke ekonomisine büyük yük getiren bir çözümdür.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında tüm dünyada uygulanan ilke: Yapının sık ve orta şiddetteki depremleri, elastik sınır içinde kalarak; orta şiddetteki depremleri, elastik sınırların ötesinde fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek ve şiddetli depremleri, büyük hasarlarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden ve can kaybı olmaksızın taşıyabilmesidir. Bu anlayışta boyutlandırılan yapılarda deprem ivmesi, şiddetli bir depremde yapıya etki edebilecek değerin oldukça altında bir değer olarak kullanılır. Depreme karşı güvenlik hakkındaki en değerli bilgiler depremden hasar görmüş yapı elemanlarının incelenmesi bu nedenle çok önemlidir. Deprem, tasarım, çözümleme ve uygulamada yapılan büyük hataları açığa çıkarır.

Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında taşıyıcı sistem tasarımının özenle yapılması önemlidir. İyi bir tasarımda, taşıyıcı sistemin çözümlemeye göz önüne alınan davranış şekliyle, deprem altındaki davranış şekli birbirine yakın olur. Simetriden ayrılma sonucu ortaya çıkan burulma ve her türlü süreksizlik meydana getirilmesi ile taşıyıcı elemanların kesit tesirlerini gereksiz yere artmasından kaçınılmalıdır. Bu tür tasarım mimari isteklere

cevap vermeyebilir. Ancak ‘Mimarisi ve taşıyıcı sistemi deprem açısından kötü tasarlanmış bir yapıyı iyi bir depreme dayanıklı yapıya dönüştürecek güç yoktur’ sözü unutulmamalıdır. Yine unutulmamalıdır ki simetri ve düzgünlük sağlayarak, kütle, geometri, rijitlik ve dayanımda önemli süreksizliklerden kaçınarak yapı maliyetini büyük ölçüde düşürmek mümkündür. Yapı elemanlarının dayanımlarını birbirlerine göre biraz farklı düzenleyerek kuvvetli bir depremde oluşacak göçme mekanizmasını kontrol etmek ve orta büyüklükteki bir depremde, deprem sonrası onarımları sınırlı tutmak da mümkündür. Örneğin sistemin ani göçmesini önlemek için kolonların güçlü ve kirişlerin kolonlara göre daha zayıf düzenlenmesi ve böylece ilk plastik mafsalların kirişlerde oluşmasını sağlamak uygundur (kuvvetli kolon – zayıf kiriş ilkesi).

Yapı elemanlarının kendi dayanımları, taşıyıcı sistemin dayanımı için gerekli olduğu gibi, elemanların birleşim bölgelerinin standart ve yönetmeliklere de uygun düzenlenmesi önemlidir. Buralardaki çözümlene, kopma ve büyük dönmeler göçmeye neden olabilir. Depreme karşı güvenliğin sağlanmasında, taşıyıcı sistem tasarımının iyi yapılması çözümlenmeden daha önemlidir. Bu nedenle şu noktalara dikkat edilmesi uygundur.

### 2.1.1 Geometri

Yapı ne kadar basit düzenlenmişse depreme dayanıklılığı o kadar yüksek olmaktadır. Basit ve düzenli yapıların yapımı kolay olduğu gibi yapımda hata yapma olasılığı da azdır. Ayrıca bu tür yapıların deprem etkisi altındaki davranışını tahmin edip buna uygun bir çözümlene yapmak daha kolaydır. Karmaşık ve düzensiz yapıları modellemek ve çözümlene uzun zaman aldığı gibi hem proje hem de uygulama sırasında hata yapma ihtimali yüksektir.

Benzer nedenlerden dolayı yapının iki doğrultuda simetrik olması istenir. Böylece çözümlenede bulunan davranış şekliyle deprem sırasındaki davranış birbirine yakın olur. Ayrıca simetri de her zaman yeterli olmayabilir. Yukarıda bahsedilen basitlik de önemlidir. Örneğin planda + şeklinde bir yapı simetrik olmasına rağmen, düzensiz olarak kabul edilir. Rijitlik merkezinin simetri merkeziyle çakışmaması durumu ek burulma meydana getireceğinden, bundan da kaçınılmalıdır. Simetri yalnızca yapının planında değil, taşıyıcı sistemdeki ayrıntılarla da sağlanmalıdır. Ayrıca, deprem sırasında kolon veya perdelerde meydana gelen hasar, elemanların dayanım ve rijitliklerini değiştirir ve statik konumda simetrik olan yapı dinamik durumunda burulma etkisine maruz kalabilir. Bu durumda taşıyıcı sistemin herhangi bir elemanının (kolon, perde) depremde hasar alıp taşıyabileceği düşünülerek tasarım yapılmalıdır.

Yüksek yapılar az katlı yapılara göre daha çok zemin özelliklerinin değişimine ve zemin çökmelerine maruzdurlar. Özellikle tekil temellere sahip yüksek yapılar zemin etkilerine daha hassastırlar. Sürekli temellerle sistemin davranışı uygun hale getirilebilir. Düşey kesitte de yapının plandaki boyutlarının ani azalmasından kaçınılmadır. Binanın narinliği arttıkça deprem sonucu meydana gelen devrilme momentleri büyür. Bunun sonucunda kolonlar zorlanır ve özellikle basınç alan kolonların ve bunların temellerinin boyutlandırılmasında zorluklar çıkar.

### 2.1.2 Süreklilik

Taşıyıcı sistem elemanlarının dayanımlarının düzgün ve sürekli olarak düzenlenmesi önemlidir. Kolon ve kirişlerin planda düzgün dağıtılması sistemin belirli bölgelerinin aşırı zorlanmasını önler. Bütün düşey elemanlar (kolon, perde) temelden çatıya kadar sürekli olmalıdır. Kolon ve ona mesnetlenen kirişler arasındaki dış merkezlik mümkün olduğunca önlenmeli ve bunların genişliklerini birbirine yakın olmasına çalışılmalıdır. Böylece kesit etkilerinin geçişini sağlayan iyi bir donatı düzeni sağlanabilir. Bileşim bölgelerine dikkat edilmesiyle meydana gelebilecek lokal hasarlarda önlenmiş olur. Taşıyıcı sistemde süreklilik elemanlarının birbirine yardım etmesini sağlarken, elastik davranışın ötesindeki taşıma kapasitelerini de artırır. Ayrıca bu sırada ortaya çıkacak plastik mafsallarla dinamik enerjinin yutulan kısmı büyütülmüş olur.

### 2.1.3 Göçme Şekli

Deprem etkisine karşı boyutlamada kesitler önceden belirlenen etkilere karşı koyacak şekilde boyutlandırılırken, özellikle düşey taşıyıcıların dayanımlarını kaybederek tüm sistemin göçmesinden uzak kalınmak istenir. Bu nedenle kuvvetli bir deprem durumunda, sistemin elastik ötesi davranışı göz önüne alınarak göçme durumunun incelenmesi gerekir. Genel olarak kolon yerine kirişlerde mafsallaşma oluşarak göçmenin ortaya çıkması tercih edilir.

Ancak kiriş kesitlerinin katlar arasında fazla değişmemesine rağmen, kolon kesitlerinin üst katlara doğru küçültülmesi bu özelliğin her zaman sağlanmasını engeller. Böyle durumlarda deprem yükleri artırılarak boyutlama yapılması bir çözüm olabilir. Deprem yönetmeliklerinin sünekliği az olan yapılarda daha büyük yatay yük katsayısı öngörmesi de bunun sonucudur.

#### 2.1.4 Rijitlik ve Dayanım

Elemanların sürekliliği gibi, rijitliklerinde de ani değişiklere neden olunmamalıdır. Yapılarda rijitliğin ani değiştii bölgelerin, deprem sırasında en tehlikeli bölgeler olduğu unutulmamalıdır.

Deprem etkilerini küçültmek için yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçip titreşim periyodunu belli bir aralığa getirmek yoluna gidilebilir. Bunun için yapılması gereken, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak ‘rezonans’ olayını önlemektir.

Örneğin uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede, kısa periyotlu rijit, az katlı yapıların yapılması uygundur. Bu bölgelerde genellikle derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürür, geriye düşük frekanslı uzun periyotlu kısım kalır. Kayalık zeminlerde ise yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı hakim olur. Buralarda yüksek periyotlu çok katlı yapılar uygundur. Bazı durumlarda yukarıdaki koşullar sağlanamaz. Ancak, temele yerleştirilen yer hareketi yalıtım düzenlerinin kullanılmasıyla yapının dinamik davranışı değiştirilerek deprem kuvveti azaltılabilir. Ancak bu tür uygulamalar şimdilik sadece deneme safhasındadır.

Yapının rijitliğini arttırarak depremde meydana gelecek şekil ve yer değiştirmeleri azaltmak mümkündür. Bu sayede taşıyıcı sistemdeki hasar azaltılabilir. Elastik yapılarda istenmeyen başka bir durum yatay deplasmanların büyümesiyle normal kuvvetin ikinci mertebeye etkilerinin artmasıdır. Orta büyüklükteki bir depremde bile bu tür çerçevelerde büyük yer değiştirmeler meydana gelir ve duvarlarda X çatlakları oluşur. Buna karşılık bölme duvarların bulunması, çerçeveye ek bir rijitlik kazandırarak yapının periyodunu küçültür ve yapısındaki kuvvet dağılımında etkili olur. Bölme duvarlarında meydana gelen hasarla deprem enerjisi bir ölçüde söndürülür.

Çerçeve sistemin rijitliğini arttırmak için günümüzde betonarme perde duvarlar kullanılmaktadır. Bu perdeler sayesinde katlar arası yer değiştirmeler küçülmekte ve normal kuvvetin ikinci mertebeye momenti de azalmaktadır.

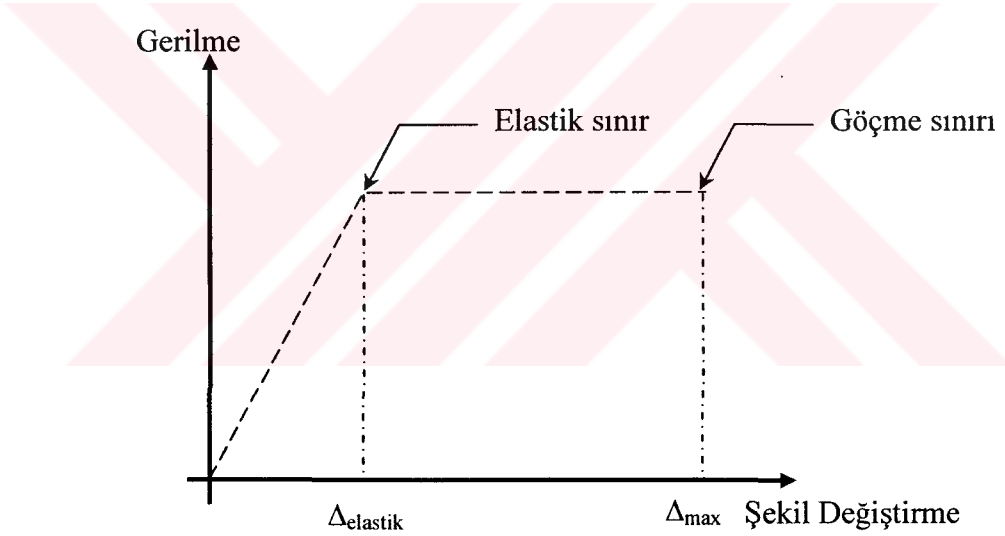
Deprem etkileri genellikle zemin katta en büyüktür. Zemin kat kendi yatay yükü yanında, üst katlardaki yatay yükü de taşır. Aynı şekilde sabit ve hareketli düşey yüklerde artarak bu katta en büyük değerini alır. Bu yüzden zemin kattaki elemanların dayanımlarının daha yüksek olması gerekir. Ancak kullanım şekli ve bazı mimari nedenlerden zemin katta hacimlerin geniş, taşıyıcı elemanların narin ve bölme duvarların az olması istenir. Zemin katlarda taşıyıcı elemanların yeterince bulunup bulunmadığını kontrol amacıyla Düşey Eleman Yoğunluğu

tanımlanabilir. Düşey elemanların kesit alanlarının toplam zemin kat alanına oranı olan bu yoğunluk, perde çerçeveli betonarme yapılarda % 2 civarındadır.

### 2.1.5 Süneklik

Taşıyıcı elemanların veya sistemin sünekliği tersinir ve sistemi elastik sınırın ötesinde zorlayan etkiler altında enerji yutma sonucunu doğurduğundan, düşey yükler altındaki projelendirmelerde değil, sadece dinamik yükler etkisinde önem kazanır. Seyrek meydana gelecek şiddetli deprem etkisini, yapının elastik davranışının üzerinde şekil değiştirerek karşılaması ön görülür. Böyle bir durumda ise elastik olmayan davranış önem kazanır.

Yapının elastik sınırı geçip, sünek kesit zorlarında önemli artmalar olmadan şekil değiştirme yapması arzu edilir. Bu yolla depremin dinamik etkisi ısı enerjisine dönüşerek şekil değiştirmeleri ve onun yanında sönümü artırır. Bu özelliğe sahip yapılar sünek olarak isimlendirilir. Süneklik Şekil 2.1'e bağlı olarak  $\Delta_{\max} / \Delta_{\text{elastik}}$  olarak verilebilir.



Şekil 2.1 Elasto – Plastik gerilme-şekil değiştirme bağıntısı

Sünelik göçme sınırında büyük ve elastik olmayan şekil değiştirmelerin ortaya çıkması olarak görülebilir. Örneğin, basit eğilme taşıyan bir betonarme kesitin boyutlandırılmasında göçme sırasında kesit donatı oranı üzerinde de bir üst sınır getirilebilir.

Bir yapı sünekse, deprem sırasında zeminden yapıya iletilen enerjinin büyük bir kısmı, elastik sınırın ötesindeki büyük genlikli titreşimler yapının dayanımını önemli ölçüde etkilemeden, yutulur.



Süneklik sayesinde, yüklemenin aşırı artmasıyla akmaya ulaşan kesimlerde plastik şekil değiştirmelerle enerji alınırken, iç kuvvetlerin daha az zorlanan kesitlere dağılması sağlanır.

İyi düzenlenmiş sünek bir taşıyıcı sistemde deprem enerjisi, kontrollü hasarlarla, göçmeden uzak kalınarak karşılanmış olur.

Sünekliğin gereği olan plastikleşme bölgesinin meydana gelebilmesi için sistemin yüksek mertebeden hiperstatik olması gerekir. Projelendirmenin de elastik davranışa dayanması gerekir. Bu yerinde dökme betonarme taşıyıcı sistemlerde, elemanların birbirine moment aktaracak şekilde bağlanması ile sağlanır. Taşıyıcı sistemin sünek olması için, birleşim bölgelerindeki donatıda aderansın sağlanmış ve kenetlenmenin yeterli olması gerekir.

## 2.2 Deprem Yönetmeliği

Yapılarda deprem sonucu meydana gelen hasarlar bu konuda bazı kuralların belirlenmesi gereğini hissettirmiştir.

Deprem yönetmeliği olarak isimlendirilen bu kurallar topluluğunun dünyadaki gelişmesinde San Francisco 1906, Messina Reggio 1903 ve Tokyo 1923 depremlerinin önemli etkisi olmuştur. Richter ölçeğinde 8.3 olan San Francisco depreminde, 700 kaydedilmiş ve çoğu daha sonra meydana gelen yangından oluşan büyük mal kaybı olmuştur. Hasarın yaklaşık %5-20'sinin yer hareketinden ve %80-95'inin yangından olduğu tespit edilmiştir. Deprem sonucunda yapılan incelemelerden, özenli projelendirilmiş ve inşa edilmiş binaların depreme dayandığı, özellikle ahşap çerçeveli yapıların çok iyi davranış gösterdiği belirlenmiştir. Bu gözlemler 1925 Santa Barbara depreminden sonra düzenlenerek, 1927'de Uniform Building Code'un ilk yayımında kullanılmıştır.

1908 de Richter ölçeğinde 7.5 olan Messina Reggio depremi İtalya'da küçük bir bölgede 160.000 can kaybına neden olmuştur. Yörede, depremden önce ahşap çerçevelerinin içi harçla birleştirilmiş taşlarla doldurularak bina yapmak yaygındı. Bu tür yapılar iki kattan yüksek olmaması ve mevcut olanların iki kata indirilmesi öngörülmüş, ama bu durum uygulanmamıştır. 1923 de Tokyo'da Richter ölçeğine göre 8.2 olarak meydana gelen depremden 140.000 can kaybı ve %90'ı yangından olan, büyük mal kaybı meydana gelmiştir.

Bu depremden de özenli düzenlenmiş binaların az hasarla depremi atlattıkları belirlenmiştir. Betonarme binalarının %10'u ağır hasar görürken %80'i hasarsız depremi atlattır. Elastik davranan binaların taşıyıcı olmayan kısımlarında büyük hasar meydana gelmiştir. Bu deprem sonucu yapılan çalışmalarla dört ana ilkeye varılmıştır,

- Binaların depremde rijit cisim gibi davranması için bağları arttırılacaktır. Bu suretle periyot küçülürken, deprem hareketinde rezonansa gelmesi önlenecektir.
- Planda dikdörtgen gibi, kapalı şekiller tercih edilerek; U,L,T veya + gibi şekillerden kaçınılacaktır.
- Binada yükseklik boyunca sürekli olan ve planda simetrik rijit duvarlar kullanılacaktır.
- Deprem kat sayısı 1/10 alınarak hesaplanacak, yatay yükün sistem tarafından karşılanması sağlanacaktır.

Bu sebeple başlayan deprem yönetmeliği ihtiyacı zamanla genişlemiş ve çeşitli deprem yönetmelikleri ortaya çıkmıştır.

Deprem etkisinde bulunan diğer ülkelerde olduğu gibi, ülkemizde de, depreme dayanıklı yapı projelendirilmesi ve yapım esasları bu konu ile ilgili yönetmelikler ile düzenlenmiştir. İlk “Zelzele Mıntıkları Muvakkat Yapı Talimatnamesi” adıyla 1940’da yayınlanan yönetmelik 1942, 1947, 1953, 1961, 1968, 1975 ve son olarak 1997 yıllarında değişikliğe uğramıştır. Her ülkenin ekonomisi, yapım teknolojisi, maruz bulunduğu deprem tehlikesi, deprem kayıtlarının yeterlilik düzeyi, bölgeler göre beklenen deprem şiddeti ve zemin durumu gibi etkenler birbirinden çok farklı olduğundan bir ülkenin yönetmeliğinin başka ülkede aynen uygulanması genellikle uygun değildir. Ülkemizde bu konuyu düzenleyen esaslar “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”te verilmiştir. Zaman zaman yeniden düzenlenen ve Deprem Yönetmeliği olarak da anılan bu yönetmelik, diğer ülke yönetmelikleri gibi bazı ana konular içerir. Bunlar,

- Ülkeyi bölgelere ayırarak bu bölgelerin deprem tehlikesini gösteren bir deprem haritası vermek
- Bu bölgelerde göreceli deprem şiddetine karşı gelen deprem ivmesi tanımlamak
- Yapıları önem ve sünekliğine göre sınıflandırmak
- Değişik yapılar için hesap esasları vermek
- Dayanım ve sünekliğin sağlanması için yapım kuralları düzenlemek.

Deprem yönetmeliğinin ana hedefi, depremde göçmeyen yapıların meydana getirilmesidir. Ekonomik yapı ortaya çıkarılması arzu edilirse, insan hayatının güvenliğinin sağlanması daha önce gelir. Bu nedenle bazı durumlarda proje mühendisinin tecrübesini kullanarak, deprem etkisini daha ayrıntılı incelemesi gerekebilir.

Hemen hemen tüm deprem yönetmeliklerinde yapılarda deprem etkisi eşdeğer yatay kuvvetlere dönüştürülerek incelenir. Genellikle depremden meydana gelen düşey yükler göz önüne alınmaz. Bu durum yapının zaten düşey yer çekimi yükleri altında belirli bir güvenliğe

sahip olması şeklinde açıklanabilir. Yatay deprem yükleri ise düşey yüklere göre daha farklı özelliktedir. Normal durumda düşey ivme ile yer çekimi ivmesine eşit olduğu halde, yatay ivme mevcut değildir. Deprem yönetmeliklerinde, belirli bir biçimde bir yatay yük olarak tanımlanan deprem etkisini, statik özellikte olan yüklerle aynı türden hesaba katmak yanıltıcı olabilir. Deprem yükünün statik yüklerden çok farklı olan iki özelliği vardır,

- Depremi temsil etmek üzere alınan yatay kuvvetin karşı geldiği ivme değerleri, elastik davranan bir yapının, söz konusu olabilecek şiddetli bir depremde maruz kalacağı ivmelerin 1/2 - 1/10'u kadardır. Bu küçük ivmeler, yapının plastik şekil değiştirmelerle, yani belirli düzeydeki hasarlarla geçmeden karşı koyacağı ivme düzeyine, elastik davranan bir yapıda ulaşırlar.
- Deprem etkisi, yön değiştiren dönüşümlü bir etkidir. Bu nedenle sadece bu doğrultuda etki eden yüklerden farklı olarak, bazı malzeme özelliklerinin değişmesine neden olabilir. Yapının söz konusu büyük ve iki yöndeki yerdeğiştirmelere dayanabilmesi ancak iyi deteylandırma ve yapım işçiliği ile mümkündür. Her ülkede olduğu gibi yurdumuzdaki yönetmeliğin de zaman zaman değiştirilerek, deprem mühendisliği ve ilgili dallardaki yenilikleri kapsamına çalışılmıştır. Buna uygun olarak en son Eylül 1997'de "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" yayınlanarak 1 Ocak 1998'de yürürlüğü girmiştir. Yapılar düşey yüklerin yanı sıra, deprem etkisiyle oluşan yatay kuvvetleri karşılamalıdır. Deprem etkisi genel olarak dinamik karakterde ve değişik yönlerde etkili olmasına rağmen pek çok durumda eş değer statik yüklere indirgenerek göz önüne alınır. Deprem etkisini önemli olduğu yüksek yapılarda ise, davranış yapı dinamiğinin ilkeleri kullanılarak daha ayrıntılı belirlenmelidir. Formülde, E deprem yükleri ile G sabit ve Q hareketli yükleri

$$U = 0,9G + 1,0E \text{ ve } U = 1,0G + 1,0Q + 1,0E \quad (2.1)$$

şeklinde birleştirilir. Buradaki birinci tür kombinasyon düşey yükün, yatay yükü taşımada faydalı etkisi olduğu zaman söz konusu olur. Amerikan Standardı ACI ise

$$U = 0,9G + 1,43E \text{ ve } U = 0,75(1,4G + 1,7Q + 1,87E) \quad (2.2)$$

formüllerini önermiştir (Yılmaz, 1999).

## 2.3 Yapı Elemanları Davranışı

### 2.3.1 Betonarme Davranışı

Betonarme homojen olmayan ve davranışı doğrusal elastik olmayan bir yapı malzemesidir. Davranışın zamana ve yük geçmişine de bağlı olması sorunu daha da karmaşık bir duruma sokar ve ideal malzeme varsayımı ile geliştirilen hesap yöntemlerini geçersiz kılar.

### 2.3.2 Kiriş Davranışı

Eğilme altındaki kiriş davranışında donatının önemi büyüktür. Yönetmelikte donatı oranı sınırlanarak kirişin sünek davranması sağlanmıştır. ‘Denge altı’ olarak adlandırılan bu kirişin davranışına donatı hakimdir ve moment-birim eğrilik ilişkisi elasto plastiktir. Eğilme çatlaması düşey yükler altında oluşur ve kirişin eğilme rijitliğini yaklaşık % 30 oranında azaltır. Betonarmede çatlaklar asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşur, bu nedenle kesmenin büyük olmadığı yerlerde eğilme çatlakları eksene diktir ve çatlak genişliği çekme bölgesinden basınç bölgesine doğru azalır. Donatı çatlamayı önleyemez. Yeterli ve iyi yerleştirilmiş donatı çatlak genişliğinin kabul edilebilir düzeyde kalmasını sağlar.

Herhangi bir kiriş eğilme altında taşıma gücüne basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile ulaşır. Yönetmeliğin öngördüğü denge altı kirişlerde beton ezilme konumuna ulaşmadan çok önce donatı akmıştır. Donatının daha önce akması, kirişin daha sünek davranmasını sağlar.

Donatı aktıktan sonra birim eğrilik, dolayısıyla sehim sabit varsayılabilecek bir moment altında hızla artar. Bu davranış ‘plastik mafsalsal’ olarak adlandırılır. Plastik mafsalsalın klasik mafsaldan tek farkı, serbest dönmenin sabit bir moment altında olmasıdır (akma momenti ~ taşıma gücü). Plastik mafsallaşma, yani sabit moment altında birim dönmenin hızla artması moment uyumuna yol açar, diğer bir kesitte moment artarken mafsallaşan kesitte sabit kalır. Kiriş göçme konumuna üç mafsalsal oluştuktan sonra ulaşır. Göçme durumuna gelindiğinde oluşacak moment diyagramı doğrusal çözümlenmeden elde edilecek diyagramından çok farklı olabilir. Kirişin herhangi bir kesitindeki taşıma gücü momenti basit olarak aşağıdaki denklemle gösterilebilir.

$$M_u = A_s \cdot f_y \cdot d \quad (2.3)$$

Kirişin herhangi bir kesiti için  $f_y$  ve  $d$  sabit olduğundan, taşıma gücü momentinin  $A_s$  ile orantılı olduğu söylenebilir.

Betonarme bir kirişin eğilme yerine kesmeden kırılması gevrek bir kırılmaya yol açar. Eğilme yanında kesmenin önemli olduğu durumlarda asal çekme gerilmeleri eğik yönde oluşacağından, kesme çatlakları, kiriş eksenine yaklaşık  $45^\circ$  bir açıda oluşur. Kiriş hesabı yapılırken kesme kırılmasının önlenmesi için, kesme kapasitesinin eğilmeden fazla olması gerekir. Bu da yeterli etriye bulundurmakla sağlanır. Kirişlere konacak iyi detaylandırılmış kapalı etriyeler kesme kapasitesini arttırdığı gibi, eğilmede akma sonrası sünekliği de önemli ölçüde artırır.

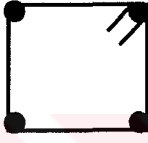
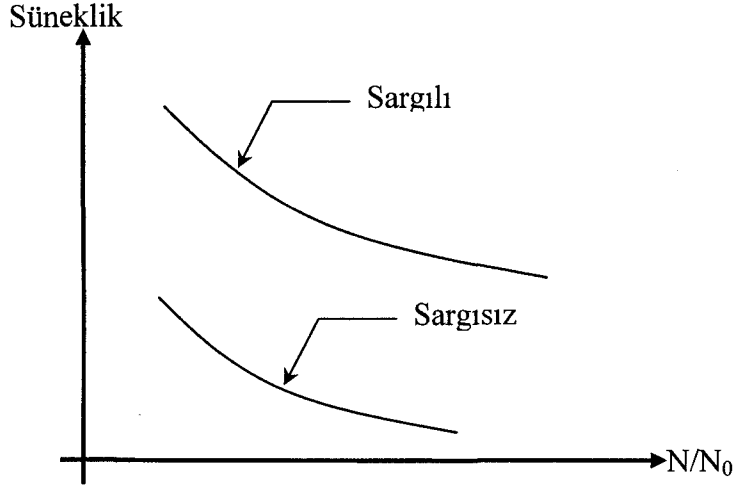
### 2.3.3 Kolon Davranışı

Eğilme ve aksenal basınç altındaki bir eleman kırılma konumuna iki biçimde ulaşabilir. Eğer aksenal yük düzeyi düşükse, kırılma biçimi denge altı kirişe benzer, başka bir deyişle önce çekme donatısı akar, sonra basınç bölgesindeki beton ezilir. Davranış oldukça sünektir ve bu süneklik aksenal yük düzeyi arttıkça azalır. Büyük aksenal yükler altında kırılma, çekme donatısı akmadan basınç bölgesindeki betonun ezilmesiyle oluşur. Bu tür kırılmada süneklik yoktur. Özetlemek gerekirse, kolonlarda süneklik aksenal yük düzeyine bağlıdır. Kolonun aksenal yük kapasitesi  $N_0$  olarak tanımlanırsa, kolonun sünekliğini artırmanın bir yolu  $N/N_0$  oranını düşük tutmaktır. Bu da kesit boyutlarını arttırarak sağlanabilir. Kolon sünekliği etkili sargı donatısı ile de arttırılabilir.

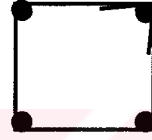
Kolonun taşıma gücüne basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ile ulaşacağı daha önce söylenmişti. Betonun ezilmesi ile tüm basıncı almak zorunda kalan boyuna donatı bu konumda burkulur. Burkulma, sık yerleştirilmiş sargı donatısı ile geciktirilebilir.

Kolonlar özellikle yanal yükler altında (deprem, rüzgar, v.b.) büyük kesme kuvveti alabilirler. Bu tür kolonların kesmeden kırılması mutlaka önlenmelidir. Bu yeterli ve iyi düzenlenmiş kesme donatısı (etriye) ile sağlanır.

Kolon etriyesinin sargı olarak etriye uçlarının Şekil 2.3'de gösterildiği gibi göbeğe bükülerek kenetlenmesi gerekir. Etriye kenetlenmesi Şekil 2.3'deki yanlış uygulama gibi yapıldığı takdirde basınç altında uçlar açılarak etkili bir sargı sağlanmayacaktır.



a) Doğru



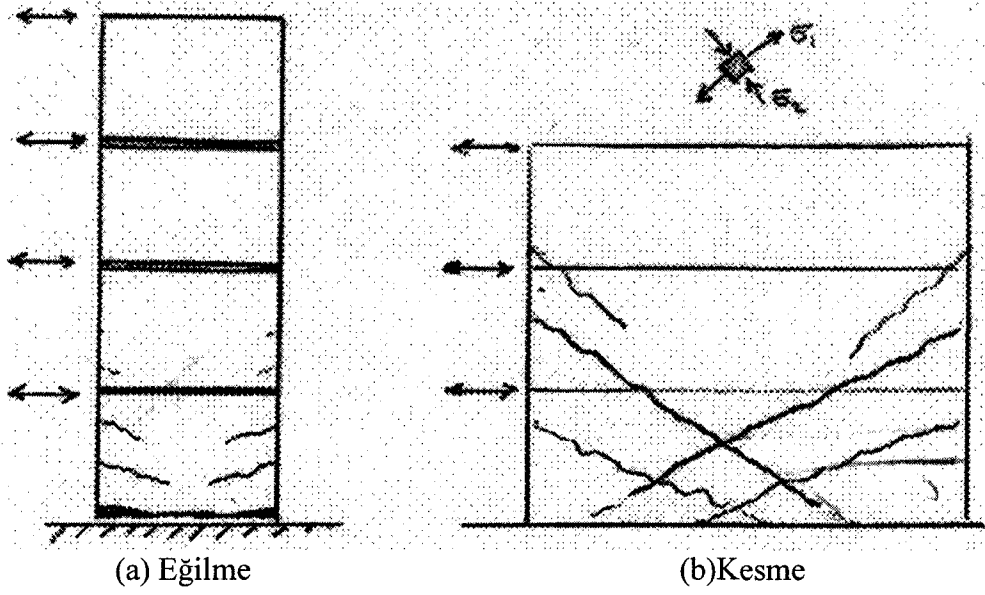
b) Yanlış

Şekil 2.3 Kolon etriye sarılımı

#### 2.3.4 Perde Davranışı

Perde kırılma konumuna kesme veya eğilme nedeni ile ulaşabilir. Eğilme kırılmasına Şekil 2.4a'da gösterildiği gibi, oluşan eğilme çatlağı boyunca donatının akması ile ulaşılır. Kesmenin davranışa hakim olduğu durumlarda, asal çekme gerilmelerine dik yönde oluşan eğik çatlaklar kırılmaya neden olur Şekil (2.4b).

Asal basınç gerilmelerinin yüksek olduğu durumlarda, perde gövdesinde eğik yönde ezilme olur ve donatı burkudur.



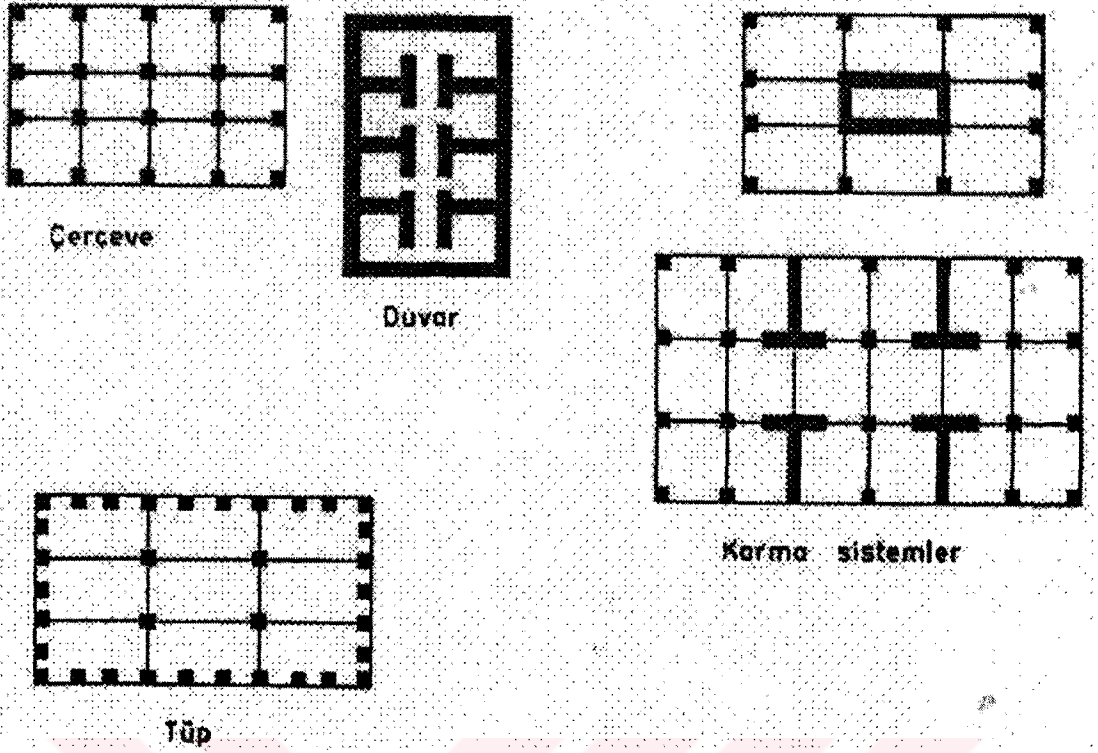
Şekil 2.4 Perde kırılma yönleri

## 2.4 Betonarme Taşıyıcı Sistemler

1997 Yönetmeliğinde, yerinde dökme betonarme yapıların taşıyıcı sistemi aşağıda gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır,

- Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.
- Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.
- Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.
- Deprem yüklerinin, çerçeveler ile boşluksuz ve/veya boşluklu perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar (karma sistemler).

Bunlara ek olarak, yüksek yapılarda yaygın olarak kullanılan 'Tüp Sistemler' de vardır. Yukarıda sözü edilen taşıyıcı sistemler Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Taşıyıcı sistem modelleri

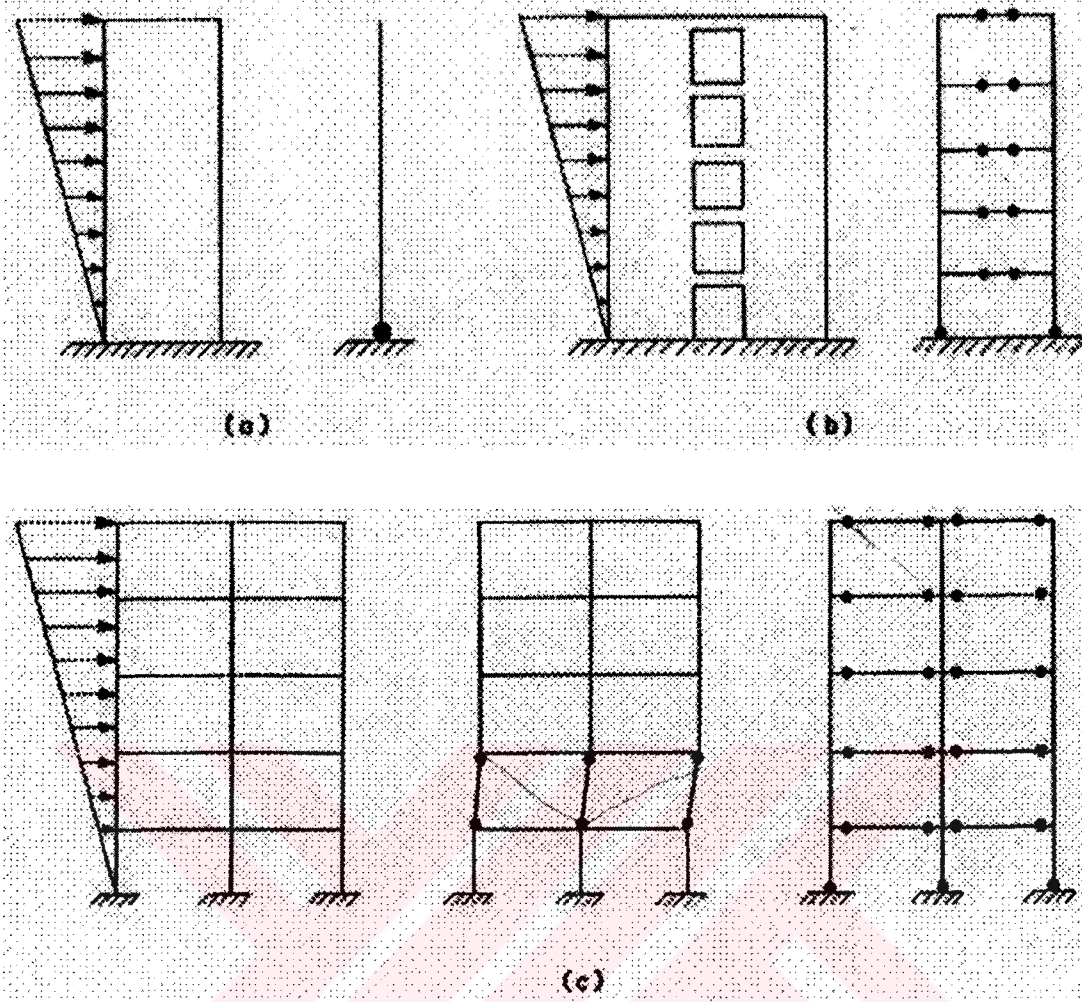
1997 Yönetmeliğinde deprem yüklerini azaltan ‘Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R’ her sistem için ayrı ayrı verilmiştir. Çerçeve için  $R=8$  alınırken, tüm deprem yüklerinin boşluksuz perdelerle taşındığı durumlarda  $R=6$  kullanılması öngörülmektedir. Perde boşluklu olduğunda, davranış katsayısı 6’dan 7’ye yükseltilmektedir.

Bu sistemler için neden değişik davranış katsayıları öngörüldüğü Şekil 2.6’dan anlaşılabilir. Şekilde gösterildiği gibi, perde duvar göçme konumuna tabanda oluşan plastik mafsalla ulaşır. Bu durumda tüm enerjinin tek bir mafsalda tüketilmesi gerekmektedir. 1997 Yönetmeliğinde perde duvarları teşvik amacıyla  $R=6$  seçilmiştir. Gerçekte R’nin daha küçük olması gerekir.

Delikli perdedeki plastik mafsallar, bağ kirişlerinin uçlarında da oluştuğundan enerji tüketimi tek plastik mafsalda olmamaktadır. Bu nedenle  $R=7$ ’dir.

Çerçevesiz taşıyıcı sistemler göçme konumuna, Şekil 2.6’da gösterildiği gibi değişik mekanizmalarla ulaşabilir. Kiriş kolondan sünek olduğundan sağda gösterilen ‘kiriş mekanizması’ tercih edilmelidir. Enerji birçok noktada tüketildiğinden bu tür sistem için  $R=8$  verilmiştir.





Şekil 2.6 Taşıyıcı sistemlerdeki mafsallaşma bölgeleri

## 2.5 Deprem Bölgelerinde Çelik Yapılar

Yapıların taşıyıcı sistemleri, yükleri normal koşullar altında emniyetle zemine aktarmalıdır.

Depremde ise amaç, belirli şiddetteki bir depremin, minimum hasar ve sıfır can kaybıyla atlatılabilmesidir. Depremde hiç hasar görmeyecek yapıyı amaçlamak, deprem şiddetindeki belirsizlikler ve ekonomik nedenlerle olanaksızdır.

Çelik, kırılmadan deformasyon kabiliyeti ve yüksek dayanımı nedeniyle, deprem bölgelerinde kullanılacak en uygun yapı malzemesidir. Uygun tasarım ve birleşimlerle uygulandığında en büyük tasarım yükünün ötesinde yüklere karşı koyabilir.

Burada çok katlı çelik yapının yatay yük taşıyıcı sistemler, çelik çerçeveler, çaprazlamalı çerçeve sistemler ve kiriş, kolon ve birleşimlerin tasarımı konusunda bilgi verilmektedir.

Çelik, yapısında karbon ve birçok değişik maddeler içeren bir demir alaşımıdır. Fiziksel özellikleri açısından izotrop, düktil ve yüksek dayanımlı olduğu için deprem hareketlerine karşı uygun bir yapı malzemesidir. Yapısında bulunan karbon oranındaki değişiklikler çeliğin dayanım, sertlik ve düktilitesini etkiler.

Çelik homojen ve izotrop bir malzemedir. Çekme ve basınç dayanımının eşit olması depremin tekrarlı yükleri için uygundur. Çelik düktildir. Yük taşıma kapasitesinde her hangi bir azalma olmadan şartnamelerde verileden daha büyük yer hareketlerinde elastik olmayan bir deformasyonla enerji yutar ve yıkılma önlenir. Taşıyıcı sistem oluşturmada genellikle kullanılan düşük dayanımlı çelikler, yüksek dayanımlı çeliklerden daha düktildir. Malzeme düktilitesi, taşıyıcı sistem elemanı ve yapısal düktilite buna bağlı olduğu için önemlidir. Çeliğin dayanım / ağırlık oranı yüksektir. Dayanım / hacim oranı da diğer yapı sistemlerinden büyüktür. Bu özellikleri nedeniyle büyük açıklıkların geçilmesine ve yüksek katların yapılmasına olanak sağlarken yapı ölü yükünü ve dolayısıyla deprem kuvvetlerini azaltır.

Yapısal çeliğin bu olumlu özelliklerine, rağmen kiriş ve kolonların birlikte çalışacak şekilde oluşturulduğu çerçeve sistemin tasarımı doğru yapılmadığında, çelik yapı da depremin tekrarlı yükleri altında hasar görür ve yıkılır. Depremlerde çelik yapıda; bulonlarda ve kaynaklarda özellikle küt kaynakta kırılma, birleşim elemanlarındaki bölgesel kırılma, bulon kopması, döşeme gibi diğer yapı elemanları ile çelik elemanlarının birleşim yerlerinin kopması gibi pek çok hasara rastlanır. Birçok hasar, özellikle kütle merkezi ile rijitlik merkezinin planda aynı noktada kesişmesinden yada sistemin burulma dayanımının düşük olduğu durumlarda ortaya çıkan yatay burulma gibi düzensiz tasarımdan ve yapıdaki kusurlardan kaynaklanır. Deprem yüklerini taşıyan bina taşıyıcı sistemi ve taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her biri, deprem yüklerinin temelden zemine kadar sürekli bir şekilde ve güvenli olarak aktarılmasını sağlayacak yeterlikte yapılmalıdır. Tasarımda kirişlerin açıklık doğrultusu düşey elemanların ve yatay yük taşıyıcı sistemlerinin tipi ve düzenlenmesi, tüm taşıyıcı sistem elemanlarının birleşmeleri önemli kriterlerdir.

Çelik yapıların yatay yük taşıyıcı sistemleri, yatay yük dayanımındaki etkinliklerine göre; çerçevesel ve çerçevelerin çaprazlı çevreler ya da betonarme perdelerle birlikte çalıştığı karma sistemli olarak sınıflandırılır.

### 2.5.1 Çelik Çerçevesel Sistemler

Çelik çerçeve sisteminin iki rijit ve doğrusal elemanı olan kiriş ve kolonlar, birlikte çalışacak şekilde mafsalsı ya da ankastre birleştirilir. Döşeme, duvar ve bölme gibi mekan oluşturan elemanlarının taşınmasına olanak sağlar. Çelik çerçevesel yapılar, düktilitesi yüksek yapılardır. Elastik davranışı azdır. Rijit çerçevelerin büyük enerji dağıtma özellikleri vardır, ancak sadece dayanım göz önüne alınarak boyutlandırıldıklarında oldukça esneklerdir. Hafif ve orta şiddetli depremlere taşıyıcı elemanları hasar görmese bile taşıyıcı elemanları çaprazlı sistemlere göre büyük yatay ötelenmeler yaptığı için taşıyıcı olmayan bölümler hasar görür.

#### 2.5.1.1 Kiriş ve Kolonlar

Çelik yapıda kirişler, üzerine etkileyen yüke, geçtikleri açıklıklara, yapı içinde tesisatın geçirilme şekline bağlı olarak dolu, boşluklu ya da kafes gövdeli olarak düzenlenir. Dolu gövdeli çelik kirişler, hadde mamulü profiller, levhalı yapma en kesitler ya da profil ve levhalarla oluşturulmuş bileşik en kesitlerle düzenlenir. Büyük açıklıklarda kiriş gövdesini boşluklu düzenlemek kirişi hafifletir. Castella, Litska ve Vierendel kirişler boşluklu gövdeli kirişlerdir. Eğilmeye çalışan bu kirişlerdeki boşluklar, tesisat borularının geçirilmesine olanak verir. Kafes gövdeli kirişler, alt başlık, üst başlık ve örgü çubuklarının üçgen alanlar oluşturacak şekilde düzenlendiği; R-kiriş, düzlem kafes ve uzay kafes kirişlerdir. Yükler kafes gövdeli kirişlerin düğüm noktalarına etkitildiğinde, sistemi oluşturan çubuklar sadece çekme ve basınca çalışacağından ince en kesitlerle büyük açıklıklar geçilebilir.

Çelik yapı kolonları genellikle aksenal basınca çalıştırılır. Ancak rijit bileşimli çerçeve kolonları yüklemeyen doğacak eğilme gerilmelerini de karşılayacak şekilde tasarlanır. Bir çelik yapıda kolonlar üst üste gelmeli, etkileyen yatay ve düşey yükleri üzerine oturduğu diğer yapı elemanlarına aktarabilmeli ve konstrüksiyon yüksekliği ile açıklığı arasında dengeli bir bağlantı olmalıdır. Çelik yapı kolon en kesitleri tek ya da çok parçalı olarak kolonun çerçeve kirişleri ve bağ kirişleri ile birleşimleri dikkate alınarak düzenlenir. Aksenal basınca çalıştırılan çok katlı çelik yapı kolonları olarak her iki eksen etrafında aynı narinlikli en kesitler tercih edilir. Tek parçalı kolonlar; hadde mamulü profiller, levhalı yapma en kesitler ya da profil ve levhalarla oluşturulmuş bileşik en kesitlerle düzenlenir. Kolona etkileyen basınç kuvveti arttıkça kolonun atalet yarıçapını ekonomik sınırlarda arttırmak için kolon ayırık düzenlenen profillerin bağ levhaları ya da kafes örgü çubukları ile birleştirilmesiyle oluşturulabilir. Kolonun yer yer düzenlenen enine levhalarla oluşturulması çerçevesel kolonlar, sadece çaprazlamalarla ya da enine levhalar ve çaprazlamaların birlikte oluşturulmasına da kafes örgülü kolonlar denir.

Kiriş ve kolonların düktilitesi tümüyle ya da kimsi basınç etkisi altındaki elemanlarının en/kalınlık oranına ve eksenel yük büyüklüğüne bağlıdır. Çelik kirişlerde eksenel yüklerin ihmal edilebilmesi için, kirişlerin tamamen döşeme içine gömülmesiyle yada üst başlığın döşemeye tutturulmasıyla, kompozit çalıştırılması uygun bir tasarım olur. Döşeme sistemleri de deprem kuvvetlerinin taşıyıcı sistem elemanları arasında güvenle aktarılmasını sağlayacak düzeyde rijitlik ve dayanıma sahip olmalıdır.

### **2.5.1.2 Birleşimler**

Çelik elemanların birleşimi, küt kaynak, köşe kaynağı, ya da bulonlu yapılıdır. Tümüyle bulonlu birleşimler için gerekli levhalar büyük ve pahalı olduğu için tümüyle kaynaklı ya da kaynak ve bulonun birlikte kullanıldığı birleşimler daha yaygın olarak kullanılır. Bulonların kaynağa oranla çerçevelere sönümlenme sağlama özelliği vardır. Birleşimde detaylandırmanın, sistemin esnekliği, enerji yutma kapasitesi, dayanımı ve düktilitesi üzerinde önemi büyüktür.

Çelik yapıda birleşimler rijit ya da mafsallı yapılıdır. Rijit birleşim, kesme kuvveti ve moment etkisindeki bir elemanın birleştiği elemana bu iki etkiyi de birleşim açısını bozmadan aktarabildiği birleşimlerdir. Mafsallı birleşimler ise sadece kesme kuvveti aktarır. Kirişin kolonlara sadece mafsallı birleştiği sistemlerin çaprazlanmadığı sürece rijitliği yoktur.

### **2.5.1.3 Kiriş- Kiriş Birleşimi**

Kirişlerin birbirleriyle yada bağ kirişleri ile birleşimi mafsallı yada rijit yapılıdır. Eğilmeye çalışan bir kiriş en kesiti düzenlenirken kiriş gövdesinin kesme kuvvetlerini, kiriş başlıklarının da eğilme eğilme momentini karşıladığı kabul edilir. Bu nedenle kiriş- kiriş birleşimlerinin gövdeden yapılması sadece kesme kuvvetlerinin aktarıldığı mafsallı birleşimi sağlar. Rijit birleşimde kiriş başlıklarında da süreklilik sağlanmalıdır. Kiriş ekleri, kolon- kiriş birleşim yerine en az kiriş yüksekliği kadar uzakta yapılmalıdır.

### **2.5.1.4 Kolon-Kiriş Birleşimleri**

Çelik kirişlerinin kolonlara birleşimleri rijit, yarı rijit ya da mafsallı yapılıdır.

Kirişin kolona rijit birleşimi, kiriş başlık ve gövdesinin kolona birleştirilmesi ile sağlanır. Bir basit rijit çerçevede kolon-kiriş başlıkları sürekli yapılmalıdır. Kiriş ve kolonların başlık hizalarındaki gövde levhaları buruşmaya karşı berkitme levhalarıyla güçlendirilmelidir. Çok katlı çerçevelerin kolon-kiriş birleşimlerinde kolon sürekli yapılmalıdır. Kirişin kolon kesitinin başlığına bağlanması durumunda kolon gövdesi giriş başlığı seviyesinde berkitme levhaları ile güçlendirilmelidir. Kolon kiriş birleşiminin depreme karşı tasarımı henüz

araştırma safhasındadır. Yapılan araştırma sonuçlarına göre esnek olması istenen birleşim yerlerine berkitme levhalarının eklenmesi ile enerji yutulması azalırken yük düzeyi artar.

Çelik kirişlerin başka yapı elemanlarıyla birleştirilmesinde yapı çeliğinin ısıya duyarlı bir malzeme olması mesnetlenme biçiminin düzenlenmesinde önemlidir. Bu nedenle büyük açıklık geçen, herhangi bir şekilde korunmayan çelik kirişlerin mesnetlerinden biri kiriş açıklığı doğrultusunda serbestçe hareket edebileceği şekilde kayıcı mafsallı düzenlenir. Kayıcı mesnet, kirişin geçtiği açıklığa ve taşıdığı yüke bağlı olarak; yüzeysel, çizgisel yada rulolu mesnet şeklinde yapılır.

Kolon kiriş birleşimlerinde tamamen rijit yada tamamen mafsallı birleşimlerin gerçekleştirilmesi idealdir. Ancak tek açıklıklı ve tek katlı çerçevelerde tam olarak uygulanabilir. Çok katlı çerçevelerde kirişlerin sürekli kolonlara birleştirilmesinde birleşim mafsallı da yapılırsa kiriş uçlarında bir miktar dönme engellenir yada birleşim rijit yapılırsa kiriş ile kolon arasındaki dönme tamamen engellenemez. Bu tür birleşime yarı rijit birleşim denir.

Çelik çerçeveleri rijit düzenleme ek önlemler gerektirdiği için işçilik ve malzeme masrafları artar. Bu nedenle çerçevelerin kurulmasında olabildiğince mafsallı birleşimler tercih edilir, sadece gerekli yerlerde rijit birleşimler yapılır. Çelik yapılarda rijit çerçeveler düşey stabilite elemanı olarak kullanılır ve yapı içindeki yeri buna göre düzenlenir.

#### **2.5.1.5 Kolon Ekleri**

Çelik yapılarda kolonlar, profil üretim boyu ve kat yüksekliğine bağlı olarak iki yada üç katta eklenir. Üst katlarda kolon yükünün azalması nedeniyle yapılacak kesit küçültmelerinde de zorunluluk olmadıkça her katta ek yapılmaz. Aksi halde malzemedan elde edilen kazancın büyük bir kısmı ek için harcanır.

Kolon ekleri, birleşecek iki kolonun gövde ve başlıklarından küt kaynakla birleştirilmesi, gövde ve başlıklarda ek levhaların düzenlenmesi taban ve/veya üstünde alın levhaları kullanılması ile üç şekilde düzenlenir. Ekler bulonlu ya da kaynaklı olarak yapılır. Eklerin küt kaynakla yapılması durumunda kaynak ağzı açılmalı ve derin penetrasyonlu kaynak kullanılmalıdır. Kolon ekleri genellikle burkulma gerilmelerinin az olduğu bölgede, ek levhalarının kirişe değmeyeceği ve rahat çalışabilecek yükseklikte yapılır. Ekler, kolon kiriş birleşim yerlerinden en az kat yüksekliğinin 1/4'ü kadar uzakta yapılmalıdır. Kolon enkesit ağırlık merkezi ile levhalarının ağırlık merkezi aynı noktada düzenlendiğinde kolona etkiyen basınç kuvveti herhangi bir dış merkezlik olmaksızın aktarılır.

## 2.5.2 Çaprazlı Çerçeve Sistemler

Çelik yapıda düşey çaprazlı çerçeveler, yatay yüklere karşı etkili bir sistemdir. Çerçeveye çaprazların eklenmesi ile kolon ve kirişlerdeki eğilme önlenerek rijit çerçeve davranışı iyileştirilmiş olur. Böylece yatay kesme kuvveti kolonlar tarafından değil, çapraz örgü elemanları tarafından alınır. Deprem dikkate alınmadan önce de çaprazlı çerçeveler endüstri yapılarında rüzgar yüklerine karşı stabiliteyi sağlamak için yaygın olarak kullanılmışlardır. Çaprazlı çerçeveli yapılar, düktilitesi olmayan; elastik davranışı rijit çerçeveli yapılara göre çok olan yapılardır. Hafif ve orta şiddetli depremlerde yapacakları ötelemeler az olduğu için taşıyıcı olmayan elemanlarda bir hasar oluşmaz. Çaprazların düzenlenmesinde çaprazlanacak gözün açıklık ve yüksekliği ile bu açıklıkta istenen boşluklar önemlidir.

### 2.5.2.1 Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

Düğüm noktalarına merkezi olarak birleştirilen çaprazlı çerçevelerde; kolon, kiriş ve çapraz elemanının ağırlık merkezinden geçen eksenlerinin bir noktada kesiştiği varsayılır. Gerçekte eksenlerinin bu noktada kesişmesi, birleşim yerlerindeki olanaksızlıklar nedeniyle tam olarak yapılmasa da dış merkezlik ihmal edilebilir bir mertebededir. Burada yatay yükler elemanların aksenal çekme ya da basınca çalışmasıyla karşılanır. Bu sistemlerde düktil elemanlar özellikle çekmeye çalışan çaprazlardır. Çünkü basınç çaprazlarındaki enerji dağılımı, burkulma nedeniyle elemanları çabuk bozar. Merkezi çaprazlar; diyagonal, V ya da K şeklinde yapılabilir (Şekil 2.7). Burada tüm çaprazlama elemanlarının uçları mafsallı kabul edilir ve sadece aksenal basınç ya da çekme kuvvetine göre boyutlandırılır. Kolon kiriş birleşimleri ise mafsallı yada rijit yapılabilir. Merkezi çaprazlı sisteminin hesapları, her düğüm noktasında dengenin sağlandığı kafes hesapları gibidir. Diyagonal çaprazlarda, birbiri ardına gelen yatay kuvvetler sadece çekme çaprazlamaları ile karşılanır, basınç çaprazları ihmal edilir. X çaprazlarında da durum aynıdır. V ya da  $\Lambda$  çaprazlarda, hem basınç hem de çekmeye çalışan elemanlar yatay sismik kuvvetleri karşılayacak şekilde tasarlanır. V ya da  $\Lambda$  şeklindeki çaprazlar kiriş ortasında, kiriş sürekliliğini bozmadan birleştirilir. Bu tür çaprazlamada, çapraz elemanı bağlı olduğu kirişe bir düşey destek oluşturur. Burada yatay kirişler, ortalarından mesnetlenen diyagonal elemanın etkisi ihmal edilerek sadece düşey yüklere göre tasarlanır. Ancak çaprazların kirişe bağlandığı noktadaki düşey yükler çapraz tasarımında dikkate alınmalıdır.

Diyagonallerin kolon orta noktasında birleştirildiği K çaprazları düktil bir davranış gösteremez. Çünkü akma mekanizmasında kolonun da katılımını gerektirirler. Bu nedenle

tavsiye edilmez. Sadece eksenel basınçla çalışan K çaprazlı sistem, düktilitesi zayıf, hasarı yıkılmadan sönmüleyemeyen bir sistemdir.

Çapraz elemanlarının davranışı bunların narinlik oranına bağlıdır. Narinlik oranı küçük olan çaprazlar büyük olanlardan daha fazla enerji yutar. Narinliğin artırılması yutulan enerjiyi azaltır. K çaprazı gibi basınca çalıştırılan çapraz elemanlarında, narinliğin sınırlandırılması önemlidir. Genellikle X ve diyagonal çaprazlamalarda elemanlar çekmeye çalıştırıldığı için böyle bir narinlik sınırlandırılmasına gerek olmaz. Çaprazların sadece çekmeye çalışmak üzere hesaplanması durumunda çapraz örgü çubuklarının narinlik oranı 250'yi, basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanan örgü çubuklarının narinlik oranı 100'ü aşmamalıdır.

Çaprazların davranışı ve basınç dayanımı enkesit şekline de bağlıdır. Genellikle hadde mamulü enkesitler, büyük yanal yer değiştirmelerde bölgesel burkulma gösterir. En güçlüden en zayıfa bu enkesitler: kutu ve boru profiller, geniş başlıklı I profiller, T profiller, çift U profiller ve çift korniyerler olarak sıralanabilir. Buradan da anlaşılacağı gibi her iki eksen etrafında simetrik enkesitler burkulma oluşturmaması bakımından daha uygundur.

Merkezi çaprazlı sistemin elastik davranışının düşük olması nedeniyle, deprem bölgelerinde dikkatli olunması gerekir.

### 2.5.2.2 Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

Dışmerkezi çaprazlı sistem, merkezi çaprazlı çerçevenin rijitlik ve dayanımıyla rijit çerçevelerin elastik olmayan davranışı ve enerji dağıtma özelliklerini birleştiren bir sistemdir. Bu sistemde çerçevelerin ve merkezi çaprazlı sistemlerin uygun yönleri birleştirilirken uygun olmayan yönleri önemsizleşir. Sistemin dış merkezi olarak adlandırılması, kirişin kolona, kirişin çapraz elemana birleşimlerinde özellikle dış merkezilik uygulanmalıdır. Bu sistemin etkili olması için çapraz elemanların kolon-kiriş birleşim noktasına ya da iki çapraz elemanın bir kiriş üzerindeki ortak birleşim noktasına göre dış merkezilik, çaprazlı çerçeve kolonları arasındaki açıklığın 1/5'i ile 1/10'u arasında seçilmelidir.

Dış merkezi kiriş, çapraz elemanların büyük kuvvetler almasını sınırlayarak burkulmalarını önler. Bağlantı kirişi denilen dış merkeziliğinin oluşturulduğu kiriş parçası, diğer eğilme ve basınç elemanlarında herhangi bir hasar oluşmadan deforme olur. Ancak bağlantı kiriş parçasının oldukça kısa olması nedeniyle yer değiştirmeler az olur. Bağlantı parçasında büyük yatay kuvvetler altında oluşabilecek küçük hasar yapının göçmesini önler. Çünkü yapı düşey yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini kaybetmez. Dış merkezi çaprazlı çerçevelerin elastik rijitliği her durumda merkezi çaprazlı çerçevelerle aynıdır.

Çelik, kırılmadan deformasyon kabiliyeti ve yüksek dayanımı nedeniyle dış merkezi çaprazlı sistem için en uygun malzemedir. Uygun tasarım ve birleşimlerle uygulandığında en büyük tasarım yükünün ötesinde yüklere karşı koyabilir. Dış merkezi çaprazlı çerçeveler rijit çerçevelerden daha hafif, merkezi çaprazlı çerçevelerden daha düktildir.

Dış merkezi çaprazlı çerçeveler, çaprazlamada en az bir bağlantı kiriş parçası olması kaydıyla çeşitli şekillerde yapılabilir (Şekil 2.8). Amaç, deprem sırasında oluşabilecek büyük yükler altında çapraz elemanların burkulmamasıdır. Bağlantı kiriş parçasında plastik mafsallar ya da kesme akması oluşması uzunluğunun bir fonksiyonudur. Yüksekliğinin iki katından büyük olan bağlantı parçalarında plastik mafsallar oluşurken kısa olan parçalar kesmede akma eğilimindedir. Bunlar kısa ya da uzun bağlantı parçaları olarak tanımlanır. Kısa bağlantı az dönme yaparken uzun bağlantıda, daha büyük dönme oluşur.

Düğüm noktalarına dış merkezli olarak birleştirilen çapraz elemanları uçlarının genellikle mafsallı birleştirildiği kabul edilir. Fakat kolon kiriş birleşimleri tam sürekliliği sağlayacak şekilde kaynaklı birleştirilir. Çapraz elemanların kolonlara bağlandığı çaprazlı çerçevelerde bağlantı, kolon kesitinin başlığına yapılmalıdır. Kolon gövdesine bağlantı yapılamaz. Basınç kuvveti de alacak şekilde hesaplanan çapraz elemanların narinlik oranı 100'den fazla olmamalıdır.

Bağlantı kiriş parçalarının gövdesi çaprazların birleştiği noktalarda çift taraflı berkitilmelidir. Ara berkitmeler, 600 mm.'den küçük kirişler için tek taraflı yapılabilir, fakat yüksek kiriş gövdeleri her iki taraftan da berkitilmelidir. Berkitme levhaları arası kiriş yüksekliğinden fazla yapılmamalıdır. Kirişin düzlemine dik doğrultuda bağlanmasında döşeme plağı yerine bağ kirişleri tercih edilmelidir.

### 2.5.3 Rijit + Çaprazlı Çerçevesel Karma Sistemler

Çelik, yapıda rijit çerçeve ve perde ya da çaprazlı çerçevesel sistemler olarak tüm yatay yükleri birlikte karşılayacak şekilde karma düzenlenebilir.

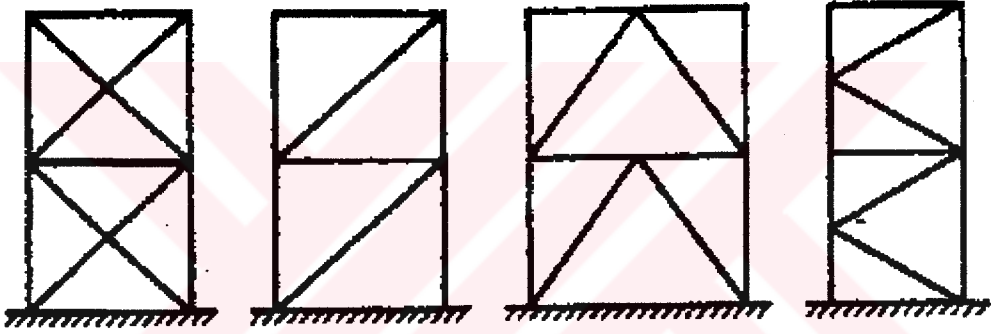
Yanal deprem yükleri karşısında bir çerçeve ve bir çaprazlı çerçeve sistemin kat yanal deplasmanları değişimi çok farklıdır (Şekil 2.9). Bu farklı yer değiştirme özellikleri nedeniyle iki sistem birbirine yardım eder. Çaprazlı çerçevelerin yer değiştirme özelliği konsol kiriş gibidir. Düşey kafes alt katlarda rijittir ve katlar arası yer değiştirmeler üst kısımların yarısından azdır. Üst katlardaki katlar arası yer değiştirmeler başlık ötelenmesinin toplam etkisi nedeniyle hızla artar.



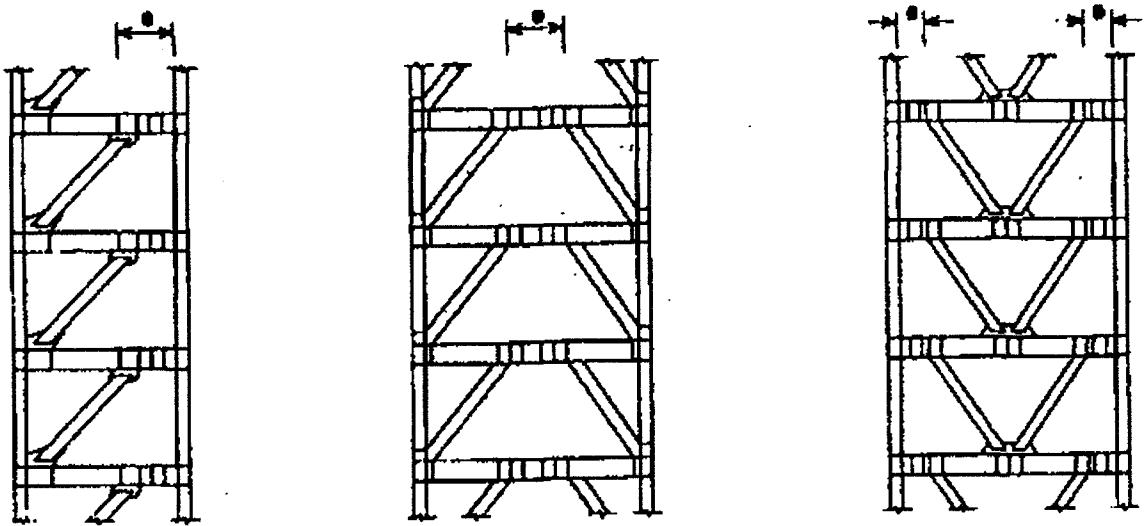
Rijit çerçevelerde katlar arası yer değiştirme her katta etkileyen kesme kuvvetine bağlıdır. Alt kısımda yer değiştirmeler büyük olsa da üst kısımda çaprazlı çerçevelere göre katlar arası yerdeğiştirmeler düzgün sayılabilir.

Bu iki sistemin farklı deformasyon özellikleri nedeniyle çerçeve sistem çaprazlı çerçeve sistemi üst katlarda frenleyerek yatay yer değiştirmesini azaltır, alt katlarda çaprazlı çerçeve sistemi kesme kuvvetinin çoğunu alarak çerçeve sistemi destekler.

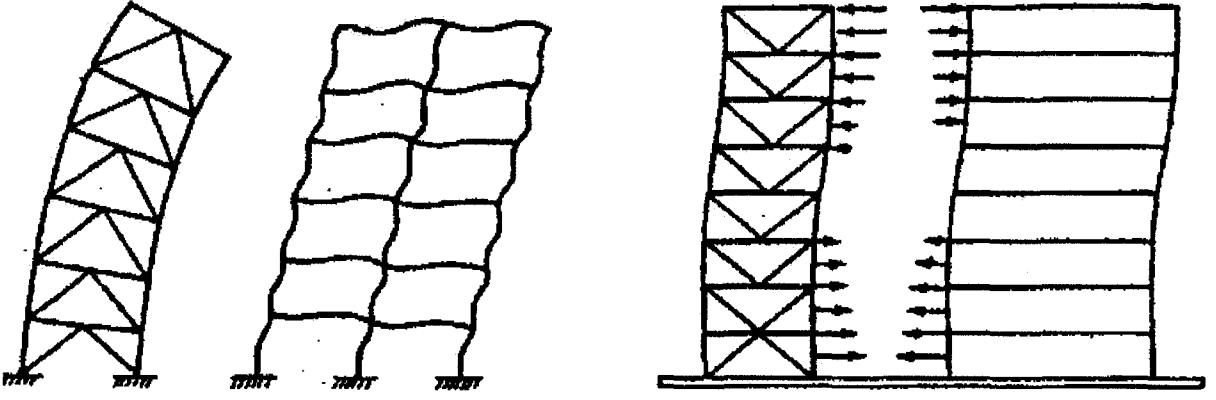
Rijit çerçeve ve perde ya da çaprazlı çerçevesi karma sistemler, rijit döşeme diyaframları ile bağlandığında ikisi arasında üniform olmayan bir kesme kuvveti oluşur. Bu etkileşim ile 40 kata kadar yüksek yapılar yapılabilir (Arun, 2002).



Şekil 2.7 Merkezi çaprazlı sistem



Şekil 2.8 Dışmerkezi çaprazlı sistem



Şekil 2.9 Karma sistem

### 3. ETABS TANITIMI

#### 3.1 Genel

ETABS hem çelik, hem de betonarme yapıların boyutlaması için güçlü ve tümüyle bütünleştirilmiş program modülleri sunmaktadır. Program kullanıcıya, tümü aynı kullanıcı arabirimi içinde olmak üzere, yapısal modeller oluşturma, değiştirme, çözümlenme ve boyutlama seçenekleri sağlar.

Program, kullanıcının gerilme durumlarını inceleyebildiği, kesit büyüklüklerinin yeniden düzenlenmesi gibi uygun değişiklikleri yapabildiği ve yapıyı yeniden çözümleneksizin boyutlamayı iyileştirebildiği etkileşimli bir çevre sağlar. Bir eleman üzerine fare ile tek bir tıklama ayrıntılı boyutlama bilgisini ekrana getirir. Boyutlama amacı ile elemanlar gruplandırılabilir. Sonuçlar hem grafik ve hem de tablo düzeninde görüntülenebilir ve basılabilir.

Sonuçların sunulumu açık ve özür. Çıktı bilgileri mühendise, elemanın gerilme sınırlarını aşması durumunda uygun önlemler alma olanağı verecek formdadır. Programın ürettiği boyutlama bilgileri de, sonuçları kolayca gerçeklemek için hazırlanıp saklanır.

Program betonarme ve çelik çerçeve elemanlarının otomatik hesabı ve boyutlaması için çok sayıda yönetmeliği destekleyebilen bir yapıya sahiptir. Şu anda programın desteklediği betonarme yönetmelikleri şunlardır,

- A.B.D. - ACI (1999)
- A.B.D. UBC (UBC 1997)
- Kanada (CSA 1994)
- İngiliz (BSI 1989)
- Avrupa (CEN 1992)
- Yeni Zelanda (NSZ 3101-95).

Bu programla analizin doğuracağı en büyük sıkıntı programın yerli şartnameleri desteklememesinden kaynaklanır. Elde edilen sonuçların ülkemiz şartnamelerine göre kullanıcı tarafından yorumlanması gerekmektedir. Bununla beraber elde edilen sonuçlar, Excel gibi programlarda ardışık işlemler uygulanarak, şartnameye olabildiğince uygun hale getirilebilmektedir.

## 3.2 Boyutlama Algoritması

### 3.2.1 Boyutlama Yük Kombinasyonları

Boyutlama yük kombinasyonları yapının boyutlama hesabı ya da kesit kontrolünde gerekli yükleme durumlarının çeşitli kombinasyonlarının belirlenmesi için kullanılır. Kullanılacak yük kombinasyonu katsayıları seçilen boyutlama yönetmeliğine göre değişir. Bu yük kombinasyonu katsayıları ilgili yükleme durumlarından elde edilen kuvvet ve momentlere uygulanarak toplanır ve yük kombinasyonu için çarpanlarla artırılmış kuvvet ve momentler bulunur.

Statik sabit yük, hareketli yük, rüzgar yükü, deprem yükü veya dinamik davranış spektrumu deprem yükü ile ilişkili normal yükleme koşullarında, programda her bir yönetmelik için hazır yük kombinasyonları vardır. Bunlar yönetmelik önerilerine dayanmaktadır.

Programda önceden hazır olan yük kombinasyonları, sabit yük olarak tanımlanmış bütün statik yük durumlarının toplanacağını varsayar. Benzer şekilde hareketli yük olarak tanımlanan durumların da toplanacağı varsayılır. Fakat statik yük durumu olarak tanımlanmış, rüzgar, deprem ya da davranış spektrumunun birbiri ile toplanmayacağı ve çoklu yanal yük kombinasyonları oluşturacakları varsayılır. Ayrıca deprem ve rüzgar yük durumları, yönleri ters alınarak (pozitif veya negatif) ayrı yük kombinasyonları oluştururlar. Bu durumlar doğru değilse kullanıcı doğru olan boyutlama kombinasyonunu oluşturulmalıdır.

Bu hazır olan yük kombinasyonları, kullanıcı istediği takdirde ya da betonarme hesabı için kullanıcı tarafından tanımlanmış başka yük kombinasyonu yoksa, boyutlamada devreye girer. Hazır olan bu yük kombinasyonlarından herhangi biri hesaba girmişse, boyutlama yönetmeliği değiştirildiğinde veya statik ya da davranış spektrumu yüklerinde değişiklik yapıldığında program bütün önceden hazır olan yük kombinasyonlarında gerekli değişiklikleri otomatik olarak yapar.

### 3.2.2 Boyutlama ve Kesit Kontrol Noktaları

Program tasarım sürecinde kullanıcının belirlediği kesit grubu içinden boyutlama yapabilmek için her elemanın dayanımı için en hafif kesitleri seçer. Sağlanmış farklı kesit grupları, farklı eleman grupları için belirtilebilir. Aynı zamanda farklı elemanlar aynı kesit olarak dizayn edilmek için gruplanabilirler.

Her elemanda her yük kombinasyonu için kiriş, kolon veya çapraz elemanları boyunca belli sayıdaki yerde çelik kesit hesabı veya kesit kontrolü yapılır. Bu yerler elemanın serbest

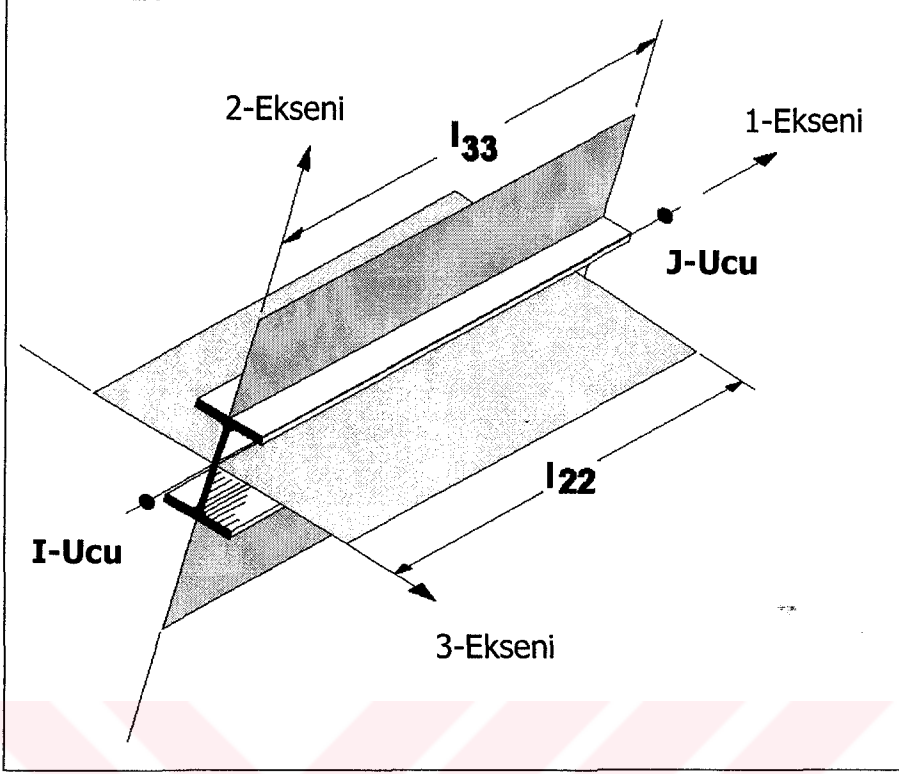
açıklığının eşit aralıklı parçaları ile oluşur. Ön veri olarak kolon ve çapraz elemanlarda en az üç kontrol noktası üretilir. Kirişlerde ise bu noktaların ara mesafesi en fazla 0.5 m olur. Elemandaki parça sayısı çözümlmeden önce kullanıcı tarafından belirtilir. Kullanıcı eleman boyunca boyutlama hesaplarını daha incelikli kılmak üzere daha çok sayıda parça tanımını isteyebilir.

Eksenel eğilme etkileşim oranları da kayma gerilme oranları gibi her bir yükleme kombinasyonu için eleman uzunluğu boyunca her bir noktada hesaplanır. Gerçek eleman gerilme bileşenleri ve bunlara uyumlu müsaade edilebilir gerilmeler hesaplanır. Daha sonra gerilme oranları yönetmeliklere göre belirlenir. Kontroller için, yönetmelik eşitliklerine, yükleme kombinasyonlarına ve noktanın tanımına uygun olarak basınç veya çekme gerilme oranları elde edilir. Gerilme oranının 1'den büyük olması, bir limit durumun aşıldığını veya bir aşırı gerilmeyi gösterir.

### 3.2.3 Elemanların Mesnetlenmemiş Boyları

Kolon narinlik etkilerinin hesaba katılması için mesnetlenmemiş kolon boylarına gerek vardır. İki mesnetlenmemiş boy vardır,  $l_{33}$  ve  $l_{22}$ . Bunlar, karşı gelen doğrultularda elemanın mesnet noktaları arasındaki boyudur.  $l_{33}$  boyu 3-3 eksen (ana eksen) doğrultusunda kararsızlığa ve  $l_{22}$  boyu ise 2-2 eksen (tali eksen) doğrultusunda kararsızlığa karşı gelir.

Normal olarak elemanın mesnetlenmemiş boyu, eleman boyuna yani I-Ucu ve J-Ucu arasındaki uzaklığa eşittir (Şekil 3.1). Bununla beraber program aynı kolonda boyutlama için tek bir elemanmış gibi dikkate alınacak birçok eleman tanımlanmasına izin verir. Bu işlem büyük ve küçük eksen eğilmeleri için farklı olarak uygulanabilir.



Şekil 3.1 Eğilme eksenleri ve mesnetlenmemiş boy

Elemanın  $l_{33}$  ve  $l_{22}$  boylarının belirlenmesinde program, eleman bağlantıları, diyafram kısıtlamaları ve mesnet noktaları gibi yapının bu boyları etkileyen değişik durumlarını gözönüne alır. Program eleman mesnet noktalarını otomatik olarak belirleyerek karşılık gelen mesnetlenmemiş eleman boyunu değerlendirmeye alır.

Böylece bir kolonun mesnetlenmemiş boyu aynı elemanın gerçek boyundan uzun olarak hesaplanabilir. Eğer bir kiriş kolona tek tarafından saplanıyorsa bu kirişin kolona sadece bu yönden yanal mesnet teşkil ettiği varsayılır.

Bununla beraber, kullanıcı elemanların mesnetlenmemiş boylarını eleman-eleman esasına göre belirtme seçeneğine sahiptir.

### 3.2.4 Kiriş ve Kolonların Tanıtılması

ETABS'ta bütün kiriş ve kolonlar çerçeve elemanı olarak temsil edilmişlerdir. Fakat kiriş ve kolonların betonarme hesabı farklı işlemler gerektirir. Bu tanıma, betonarme bir elemanda, eleman için atanan çerçeve kesitinin kiriş ya da kolon tipi olduğu belirtilerek yapılır.

Eğer çerçeve sistemi içinde herhangi bir çapraz elemanı mevcutsa, bu eleman kendisine atanan kesitin cinsine bağlı olarak ya kiriş ya da kolon olarak tanımlanır.

### 3.2.5 Kirişlerin Boyutlaması

Betonarme kirişlerin boyutlamasında ETABS, kiriş eğilme momentleri, kesme kuvvetleri ve yönetmelik ile ilgili bölümde ayrıntılı olarak verilen yük kombinasyonları ve diğer kriterlere dayanarak gerekli eğilme ve kayma donatı alanlarını hesaplar ve verir. Donatı gereksinimleri kiriş serbest açıklığı boyunca kullanıcı tarafından belirlenmiş sayıdaki noktada hesaplanır.

Bütün kirişler sadece ana eğilme doğrultusundaki moment ve kesme kuvveti için boyutlanır. Eksenel kuvvet, tali doğrultuda eğilme ve burulma gibi oluşabilecek diğer etkiler, bağımsız olarak, kullanıcı tarafından araştırılmalıdır.

Belirli bir kirişin belirli bir kesitinde esas moment için eğilme donatısı hesaplanırken gerekli adımlar, çarpanlarla artırılmış maksimum momentin belirlenmesi ve gerekli eğilme donatısının hesabını içerir. Kiriş kesiti tüm yük kombinasyonlarından elde edilen maksimum pozitif  $M_u^+$  ve maksimum negatif  $M_u^-$  yük çarpanları ile artırılmış momentlerinin zarfları için hesaplanır. Negatif kiriş momentleri üst donatıyı oluşturur. Bu durumlarda kiriş daima dikdörtgen kesit olarak hesaplanır. Pozitif kiriş momentleri alt donatıyı oluşturur. Bu durumlarda kiriş dikdörtgen ya da T kesit olarak hesaplanır. Eğilme donatısının hesabında kiriş önce tek donatılı olarak boyutlanır. Kiriş kesiti yetersizse, bu durumda gerekli basınç donatısı hesaplanır.

Belirli bir kirişin belirli bir kesitinde belirli bir yük kombinasyonu için ana doğrultudaki kesme kuvveti için kayma donatısı hesaplanırken gerekli adımlar, çarpanlarla artırılmış kesme kuvvetinin belirlenmesi, beton tarafından karşılanabilen kesme kuvvetinin belirlenmesi ve fark kuvveti karşılamak için gerekli donatının hesabını içerir.

Deprem hesabının ACI, UBC, Kanada ve Yeni Zelanda Yönetmelikleri'ne göre yapılması için ETABS programına özel hususlar yerleştirilmiştir.

### 3.2.6 Kolonların Boyutlaması

Kolonların boyutlamasında program gerekli boyuna donatıyı hesaplar, ya da eğer boyuna donatı verilmişse, kolon taşıma kapasitesine göre kolon gerilme durumunu belirleyen bir işaret olarak kolon gerilme durumunu kolon taşıma kapasitesine oranını verir. Yapının betonarme kolonlarının boyutlama işlemi aşağıdaki adımları içerir,

- Modelin bütün farklı betonarme kesitleri için eksenel yük - iki eksenli eğilme karşılıklı etki yüzeyleri oluşturulur.
- Her kolonun iki ucunda her bir yük kombinasyonundan elde edilen çarpanlarla artırılmış eğilme momentleri ve normal kuvvetler için kapasite kontrolü yapılır. Bu adım aynı

zamanda (eğer bir donatı tanımlanmamışsa) 1.0 kapasite oranı oluşturacak donatının da hesaplanmasında kullanılır.

- Kolon kayma donatısı hesaplanır.

Karşılıklı etki yüzeyinin oluşturulması kabul edilen şekil değiştirme ve gerilme yayılımı ile diğer bazı basitleştirici kabullere dayanır. Bu gerilme ve şekil değiştirme yayılımı kabulleri yönetmelikten yönetmeliğe değişir.

### 3.3 ETABS Programını TS500 ve Deprem Yönetmeliğine Uyarlama

Bu program paketi Türkiye'de konu ile ilgili yönetmeliklerden olan "TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2000" ve "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" kuralları çerçevesinde Prof. Dr. Nahit Kumbasar ve Prof. Dr. Zekai Celep tarafından gözden geçirilmiştir.

Bu çalışmada uygulanan uyarlamalar malzeme özellikleri ve yük kombinasyonları tanıtımında yapılmıştır. Donatı hesaplarıyla ilgili uyarlamalardan bahsedilmemiştir.

Malzeme özellikleriyle ilgili Şekil 3.2'deki menüde görüldüğü gibi Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'deki TS500 değerleri programa uyarlanmıştır.

Material Property Data	
<b>Material Name</b>	CONC
<b>Type of Material</b>	<input checked="" type="radio"/> Isotropic <input type="radio"/> Orthotropic
<b>Type of Design</b>	Concrete
<b>Analysis Property Data</b>	
Mass per unit Volume	0.25
Weight per unit Volume	2.5
Modulus of Elasticity	3200000
Poisson's Ratio	0.2
Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06
Shear Modulus	1333333
<b>Design Property Data</b>	
Specified Conc Comp Strength, $f'_c$	2333
Bending Reinf. Yield Stress, $f_y$	36500
Shear Reinf. Yield Stress, $f_{ys}$	36500
<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduc. Factor	
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Şekil 3.2 Malzeme özellikleri menüsü

- $f'_c$  Beton karakteristik basınç dayanımı,  $\text{Ton/m}^2$

TS500 ile uyum sağlanması için bu değer betonun hesap dayanımı  $f_{cd}$  olarak kullanılması uygundur.



- $f_y$  Eğilme donatısı karakteristik akma dayanımı, Ton/m<sup>2</sup>

TS500 ile uyum sağlanması için bu değer eğilme donatısı hesap dayanımı  $f_{yd}$  olarak kullanılması uygundur.

- $f_{ys}$  Kayma donatısı karakteristik akma dayanımı, Ton/m<sup>2</sup>

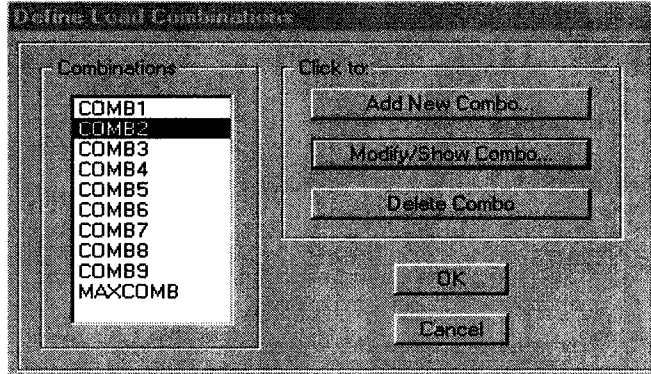
TS500 ile uyum sağlanması için bu değer kayma donatısı hesap dayanımı  $f_{ywd}$  olarak kullanılması uygundur.

Boyutlama yük kombinasyonları, belirtilen yükleme durumlarının, yapının kesit hesaplarında kullanılacak çeşitli birleştirme şekilleridir.

Yük kombinasyonlarıyla ilgili uyarılma ise TS500 Standardı'na göre, yapıda sadece sabit yük (DL) ve hareketli yük (LL) varsa, boyutlama için sadece 1.4DL+1.6LL yük kombinasyonuna ihtiyaç vardır. Eğer bu yükler yanında deprem yükleri de varsa aşağıdaki yük kombinasyonlarının gözönüne alınması gerekir.

Çizelge 3.1 Yük kombinasyonları

1.	1.4 DL	+1.6 LL	
2.	DL	+ LL	+ EX
3.	DL	+ LL	+ EY
4.	DL	+ LL	- EX
5.	DL	+ LL	- EY
6.	0.9 DL		+ EX
7.	0.9 DL		- EX
8.	0.9 DL		+ EY
9.	0.9 DL		- EY



Şekil 3.3 Yük kombinasyonları menüsü

Çizelge 3.1'deki değerler görüldüğü gibi Şekil 3.3'deki menüye girilmiştir.

### 3.4 Genel Kullanım İlkeleri

ETABS yazılımı, yapı sistemi modellerinin geliştirilmesi, analiz ve boyutlandırılması için kullanılan genel amaçlı bir programdır. Program Windows ortamında çalışmakta ve tüm işlemler özel Grafik Kullanıcı Arayüzü yardımı ile ETABS ekranı üzerinde gerçekleştirilmektedir.

Herhangi bir yapı sisteminin ETABS yardımı ile analiz ve boyutlandırılmasında, genel olarak, aşağıdaki yol izlenmektedir:

#### 3.4.1 Sistem modelinin oluşturulması

Bu ilk aşamada, ya doğrudan doğruya veya ETABS içinde bulunan Şablon (Template) sistemler kullanılarak

- Kiriş, kolon vb. çubuk elemanlar,
- Duvar, döşeme, kabuk gibi yapı bölümlerini temsil eden sonlu elemanlar,
- Düğüm noktalarında veya mesnetlerde elastik veya lineer olmayan birleşimler veya yaylar,
- Çeşitli tipte mesnetler

tanımlanarak sistem modeli oluşturulur. Bu sırada, çeşitli yapı elemanlarının birleştiği Düğüm Noktaları (Joints), program tarafından otomatik olarak, türetilmektedir. Oluşturulan öğelerin (çubuk, sonlu eleman, birleşim, yay ve düğüm noktası) tümüne Nesne (Object) adı verilmektedir.

Bazı durumlarda, ele alınan sistemin önce küçük bir bölümü oluşturulur. Daha sonra ETABS'ın Copy, Paste, Replicate, Mesh Shells gibi olanaklarından yararlanarak sistem tamamlanabilir.

Bazı özel durumlarda da, sistemin geometrisi AutoCAD veya EXCEL yazılımları ile geliştirilip ETABS içine aktarılabilir.

#### 3.4.2 Malzeme Özelliklerinin Tanımlanması

ETABS içinde standart olarak, tüm özellikleri ile tanımlanmış olan Beton (CONC) ve Çelik (STEEL) malzemeleri mevcuttur. İstenirse bu malzeme türlerine ait özelliklerin bazıları veya tümü değiştirileceği gibi, yeni malzeme türleri de tanımlanıp kullanılabilir. Seçilen veya tanımlanan malzeme türleri, kesit tanımlaması sırasında kullanılmaktadır.

### 3.4.3 Kesit Özelliklerinin Tanımlanması

Çeşitli kesit tipleri ayrı kütükler içinde verilmiş bulunmaktadır. Özellikle çelik yapılarda bu kesit tipleri, doğrudan doğruya veya bazı özellikleri değiştirilerek kullanılacağı gibi, istenen türde kesit tanımlamak için, pek çok seçenek vardır. Seçilen veya tanımlanan kesitler sistem elemanlarına atanmaktadır.

### 3.4.4 Yüklerin Tanımlanması

Tekil, düzgün yayılı, üçgen veya yamuk yüklerle sıcaklık değişimleri tanımlanıp düğüm noktalarına, çubuklara veya sonlu elemanlara atanabilmektedir. Ayrıca, kütle ve spektrum diyagramları tanımlandıktan sonra, Mod Birleştirme Yöntemi ile dinamik hesap ta yapılabilir. Çok sayıda (sabit, hareketli, rüzgar, deprem vb.) değişik yüklemeler tanımlanacağı gibi, bunlar çeşitli süperpozisyon katsayıları ile çarpılarak yükleme kombinasyonları da oluşturulabilmektedir.

### 3.4.5 Çözüm (Analiz)

Sistem modelinin malzeme, kesit özellikleri ve yüklemeleri ile birlikte tanımlanması bittikten sonra, çözüm yapılır. Çözüm sonuçları da ETABS ekranında görüntülenmektedir. Bu görüntü üzerinde istenen her türlü ayrıntı ayrıca görüntülenip incelenebilir. İstenirse, çözüm sonuçları bir kütüğe yazdırılıp orada incelenir veya bastırılabilir.

### 3.4.6 Boyutlandırma

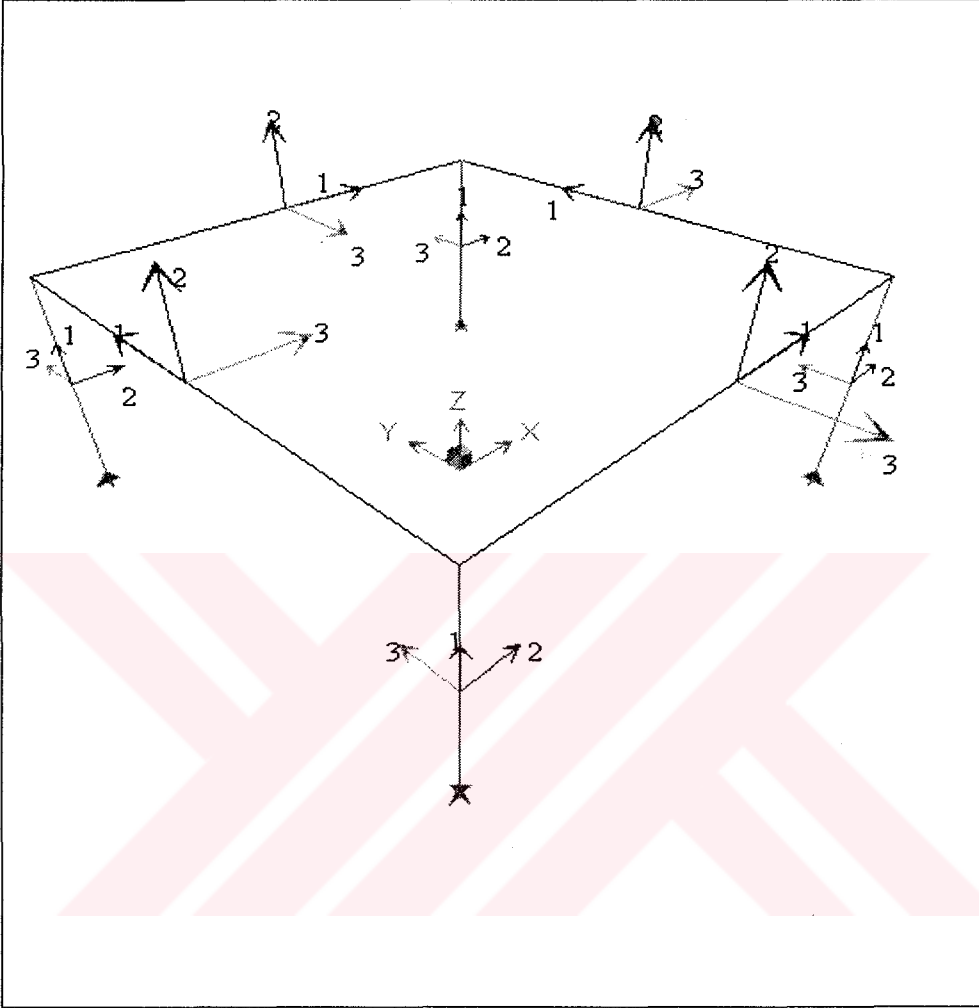
Çözüm işlemi tamamlandıktan sonra, seçilen bir yönetmeliğin kuralları uygulanarak, çelik veya betonarme elemanların boyutlandırmaları da yapılabilmektedir.

## 3.5 Koordinat Sistemleri ve Aks Çizgileri

Sistem modelleri genel (global) bir koordinat sistemine göre oluşturulmaktadır. Koordinat sistemi X, Y, Z eksenlerinden oluşan kartezyen bir sistem olabileceği gibi  $r, \theta, z$  eksenlerinden oluşan silindirik bir sistem olarak ta seçilebilir. X, Y, Z eksenleri sağ el kuralına uygun olarak düzenlenmiştir. İstenirse, bir model içinde farklı koordinat sistemleri kullanılıp, model geliştirilirken bir sistemden ötekine geçerek kolaylık sağlanabilir.

Sistem modelini oluşturan her nesne (düğüm noktası, çubuk, sonlu eleman ...) kendi yerel (Local) eksenine sahiptir. Her nesne için farklı olmak üzere 1, 2 ve 3 olarak tanımlanan bu eksenler kesit özelliklerinin, yüklerin ve iç kuvvetlerin tanımlanmasında kullanılır. Aşağıdaki

şekilde basit bir örnek üzerinde X, Y, Z genel sistem eksenleri ile 1, 2, 3 yerel eksenleri gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Koordinat eksenleri ve yerel eksen görünüşü

Şekilde görüldüğü gibi, tüm çubuk elemanların 1 eksenleri çubuk doğrultusundadır. Bunlar ekranda kırmızı renkli olarak görünürler. Güçlü eksen adı verilen 3 eksenleri ise ekranda mavi renkli olarak görünmektedirler. Kesit, yük atama ve iç kuvvetlerin görüntülenmesi bakımından önemli olan 3 eksenlerinin, bazı durumlarda döndürülmeleri gerekebilir.

Aks çizgileri (Grid Lines), koordinat eksenlerine paralel olan ve ekranda ince ve soluk olarak çizilen çizgilerdir. İstenildiği gibi kaydırılabilir, silinebilir veya çoğaltılabilir. Koordinat çizgileri değiştirildiğinde, eski aks çizgilerinin yerini yeni sisteminkiler alır.

## 4. MODELLEME

### 4.1 Bina Tanıtım Raporu

Çalışmanın amacı, modeller üzerinde programın özelliklerine, kullanım kolaylıklarına bağlı olan aynı kabuller uygulanarak, ana yapıya eklenen betonarme perde veya çelik takviye gibi yeni yapı elemanlarının, modele katkılarının dinamik ve statik analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmasıdır. Bu çalışmada ETABS programı kullanılarak, “Bina Tanıtım Raporu”nda tarif edilen üç boyutlu modellerin statik ve dinamik analizi yapılmıştır.

Yapı toplam on iki kattan ibarettir. Döşeme kalınlığı  $d = 17$  cm. olarak hesaplanıp programa girilmiştir. Yapı x yönünde 4.00 m. aralıklı yedi aks, y yönünde 6.00 m. aralıklı beş aks sisteminden oluşturulmuştur. Programla analiz yaptırılacak üç model için de bu aks planı ve döşeme kalınlığı geçerlidir.

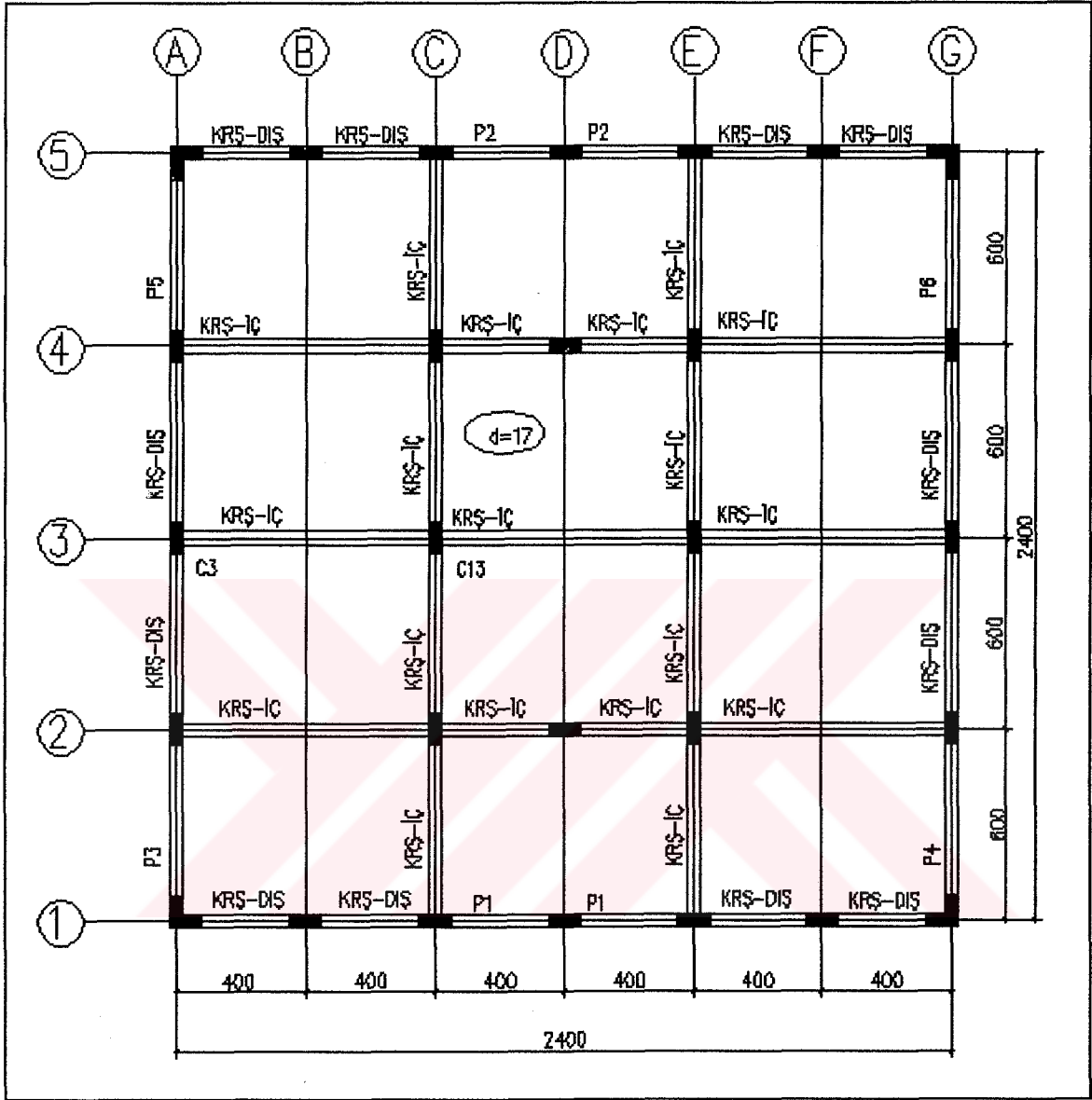
Modelin köşelerinde L şeklinde 40/100 ebatlarında, iç kısımlarda ise 40/100 ebatlarında dikdörtgen kesitli kolonlar kullanılmıştır.

Kirişler, tabla boyları hesaplanarak 40/90 ebatlarında programa girilmiştir. Böylelikle yük aktarımı, döşemeye yazılacak yükün sonlu elemanlar yöntemiyle dağıtılmasıyla çözümlenecektir.

Ana modele eklenecek yapı elemanlarından perde 40 cm. kalınlıklı, çelik takviye ise WT15.5X195.5 kesitli olacaktır.

Ölçüleri verilen yapı elemanlarının kesitleri tüm katlarda aynıdır.

Gerek yapının kat adedinin gerekse açıklıkların fazla olması sebebiyle yapıda kullanılan betonarme betonu BS30 ve betonarme çeliği BÇIII' tür.



Şekil 4.1 Kat planı



## 4.2 Kabuller

### 4.2.1 Sabit ve Hareketli Yük

$$\text{Kaplama} : 0.06 \times 2.200 = 0.132 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Asma tavan} : 0.02 \times 2.500 = 0.044 \text{ t/m}^2$$

$$g = 0.176 \text{ t/m}^2 \text{ (sabit yük)}$$

$$q = 0.350 \text{ t/m}^2 \text{ (hareketli yük)}$$

Döşeme ağırlığı ETABS programı tarafından dahil edileceğinden sabit yük olarak eklenmemiştir.

### 4.2.2 Tasarım Deprem Karakteristikleri

Deprem bölgesi	: 1
Etkin yer ivmesi katsayısı	: 0.40
Bina önem katsayısı	: 1.00
Hareketli yük katılım payı	: 0.30
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı çerçeve	: 8
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı çaprazlı	: 6 , 7
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı perdeli	: 6
Spektrum karakteristik periyotları	: 0.15 , 0.40

### 4.2.3 Malzeme Karakteristikleri

Çizelge 4.1 Betonarme betonu

Beton Sınıfı	Basınç $f_{ck}/\text{m}^2$	Çekme $f_{ctk}/\text{m}^2$	Basınç $f_{cd}/\text{m}^2$	Çekme $f_{ctd}/\text{m}^2$	Küp $t/\text{m}^2$	Elastisite $t/\text{m}^2$	Elastisite H $t/\text{m}^2$	Kayma H $t/\text{m}^2$
BS30	3000	190	2000	125	3500	3180000	3200000	1200000

Çizelge 4.2 Donatı çeliği

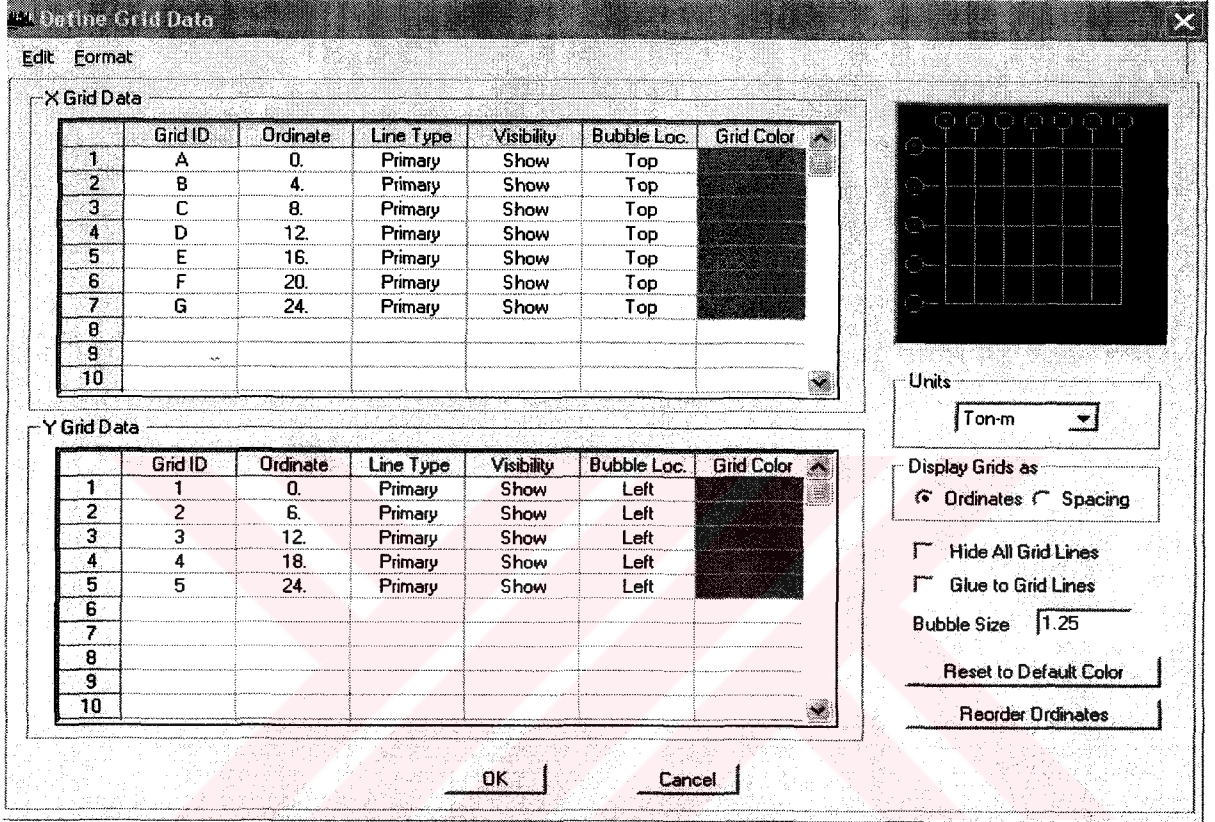
Donatı Sınıfı	Akma $f_{yk}/\text{m}^2$	Akma $f_{yd}/\text{m}^2$
BÇ III	42000	36500



### 4.3 ETABS Programına Data Girişi

#### 4.3.1 Aks Sistemi

Modellemede ilk olarak ana ve tali aks sisteminin tanımlanması gerekmektedir. Şekil 4.3'te görüldüğü üzere aks sistemleri ve aralıkları her iki yön için interaktif olarak girilebilmektedir.



Şekil 4.3 Aks sisteminin girilmesi

Program girilen bu aksların kesişim noktalarını birer düğüm noktası olarak kabul etmektedir. Daha sonradan tanımlanacak her eleman bu düğüm noktaları arasına yerleştirilecektir.

Bu işlem sonrasında oluşturulan her aks isim ve ölçüleri ile birlikte ekranda görülecektir.

Yukarıdaki menüde daha sonradan yapılacak olan her değişiklikte birlikte tanımlanmış olan elemanların boyları da program tarafından otomatik olarak güncellenecektir.

Çalışmada kullanılan modeller Şekil 4.3'te görüldüğü gibi x yönünde 4 m. açıklıklı yedi aks, y yönünde 6 m. açıklıklı beş aks sisteminden oluşmaktadır.

### 4.3.2 Kat Bilgileri

Bu aşamada her katın yüksekliği, adı ve kotu tanımlanmaktadır. Yapının mevcut kat adedi de bu aşamada girilmektedir. Birbirinin aynısı veya sadece belli bazı bölgelerinde farklılıklar gösteren katlar bu bölümde “benzer kat” olarak tarif edilmektedir. Böyle bir katta yapılacak tüm değişiklikler bu özellik sayesinde benzer katlara da yansımaktadır.

Çalışmada kullanılan modeller Şekil 4.4’te görüldüğü gibi üçer metre kat yüksekliğine sahip ve birbirinin benzer on iki kattan oluşmaktadır.

Story Data							
	Label	Height	Elevation	Master Story	Similar To	Splice Point	Splice Height
13	STORY12	3.	36.	Yes		No	0.
12	STORY11	3.	33.	No	STORY12	No	0.
11	STORY10	3.	30.	No	STORY12	No	0.
10	STORY9	3.	27.	No	STORY12	No	0.
9	STORY8	3.	24.	No	STORY12	No	0.
8	STORY7	3.	21.	No	STORY12	No	0.
7	STORY6	3.	18.	No	STORY12	No	0.
6	STORY5	3.	15.	No	STORY12	No	0.
5	STORY4	3.	12.	No	STORY12	No	0.
4	STORY3	3.	9.	No	STORY12	No	0.
3	STORY2	3.	6.	No	STORY12	No	0.
2	STORY1	3.	3.	No	STORY12	No	0.
1	BASE		0.				

Reset Selected Rows		Units	
Height	<input type="text" value="3."/>	Change Units	<input type="text" value="Ton-m"/>
Master Story	<input type="text" value="No"/>		
Similar To	<input type="text" value="NONE"/>		
Splice Point	<input type="text" value="No"/>		
Splice Height	<input type="text" value="0"/>		
	<input type="button" value="Reset"/>	<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Cancel"/>

Şekil 4.4 Kat bilgilerinin oluşturulması

### 4.3.3 Malzeme Bilgilerinin Tanımlanması

Bu aşamada, yapıda kullanılması düşünülen beton ve çelik malzemelere dair bilgiler girilmektedir. Bu özellikler, kullanılacak betonun sınıfı, Elastisite modülü, Poisson oranı, Kayma modülü, çelik akma dayanımı, etriye kayma gerilmesi ve bunun gibi bilgilerdir. Bu özellikler çözüm öncesi her aşamada değiştirilebilir. Eğer betonarme kesit hesapları veya çelik kesit tahkikleri programa yaptırılacaksa kullanılan malzemenin tasarım kriterleri de bu bölümde menüye işlenmelidir.

Şekil 4.5’te görüldüğü gibi modellerde kullanılacak malzeme olarak Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’deki BS30 ve BÇIII’ün değerleri programa girilmiştir.

Material Property Data													
<b>Material Name</b>	CONC												
Type of Material	<input checked="" type="radio"/> Isotropic <input type="radio"/> Orthotropic												
Analysis Property Data	<table border="1"> <tr><td>Mass per unit Volume</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>Weight per unit Volume</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>Modulus of Elasticity</td><td>3200000</td></tr> <tr><td>Poisson's Ratio</td><td>0.2</td></tr> <tr><td>Coeff of Thermal Expansion</td><td>9.900E-06</td></tr> <tr><td>Shear Modulus</td><td>1333333</td></tr> </table>	Mass per unit Volume	0.25	Weight per unit Volume	2.5	Modulus of Elasticity	3200000	Poisson's Ratio	0.2	Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06	Shear Modulus	1333333
Mass per unit Volume	0.25												
Weight per unit Volume	2.5												
Modulus of Elasticity	3200000												
Poisson's Ratio	0.2												
Coeff of Thermal Expansion	9.900E-06												
Shear Modulus	1333333												
Design Property Data	<table border="1"> <tr><td>Specified Conc Comp Strength, <math>f_c</math></td><td>2333</td></tr> <tr><td>Bending Reinf. Yield Stress, <math>f_y</math></td><td>36500</td></tr> <tr><td>Shear Reinf. Yield Stress, <math>f_{ys}</math></td><td>36500</td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Lightweight Concrete</td><td></td></tr> <tr><td>Shear Strength Reduc. Factor</td><td></td></tr> </table>	Specified Conc Comp Strength, $f_c$	2333	Bending Reinf. Yield Stress, $f_y$	36500	Shear Reinf. Yield Stress, $f_{ys}$	36500	<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete		Shear Strength Reduc. Factor			
Specified Conc Comp Strength, $f_c$	2333												
Bending Reinf. Yield Stress, $f_y$	36500												
Shear Reinf. Yield Stress, $f_{ys}$	36500												
<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete													
Shear Strength Reduc. Factor													
Display Color	Color												
Type of Design	Design												
	Concrete												
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>													

Şekil 4.5 Malzeme özellikleri menüsü

#### 4.3.4 Kullanılacak Kesitlerin Tarif Edilmesi

Kullanılması düşünülen malzemelerin girilmesinin ardından modelde kullanılması düşünülen tüm kolon ve kiriş kesitleri de bu aşamada tarif edilmelidir. Kullanılacak kesitlerin tipine göre genişlikleri, derinlikleri, varsa tabla bilgileri ve kesitin tüm hesap çıktılarında hangi isimle amlacağı, aşağıda görülen menüde interaktif olarak girilmektedir. Ayrıca daha önce belirlenen malzemelerden kesitin hangi sınıfa girdiği tarif edilebilir.

Tee Section	
<b>Section Name</b>	KRS-10
Properties	Property Modifiers
Section Properties...	Set Modifiers...
Material	CONC
Dimensions	
Outside stem (t3)	0.9
Outside flange (t2)	1.42
Flange thickness (tf)	0.17
Stem thickness (tw)	0.4
Concrete	Reinforcement...
Display Color	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Tee Section	
<b>Section Name</b>	KRS-103
Properties	Property Modifiers
Section Properties...	Set Modifiers...
Material	CONC
Dimensions	
Outside stem (t3)	0.9
Outside flange (t2)	0.78
Flange thickness (tf)	0.17
Stem thickness (tw)	0.4
Concrete	Reinforcement...
Display Color	<input type="checkbox"/>
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Şekil 4.6 Çubuk elemanlar kesit özellikleri menüsü

Görüldüğü gibi Şekil 4.6’de modellerde kullanılan kiriş kesitleri gösterilmektedir. İki tip kiriş kesiti programa girilmiştir. Bunlar, modelin dış cephesindekiler KRŞ-DIŞ ve içtekiler KRŞ-İÇ olarak isimlendirilmişlerdir. Bu kirişlerin tabla boyları hesaplanarak kesitleri oluşturulmuştur.

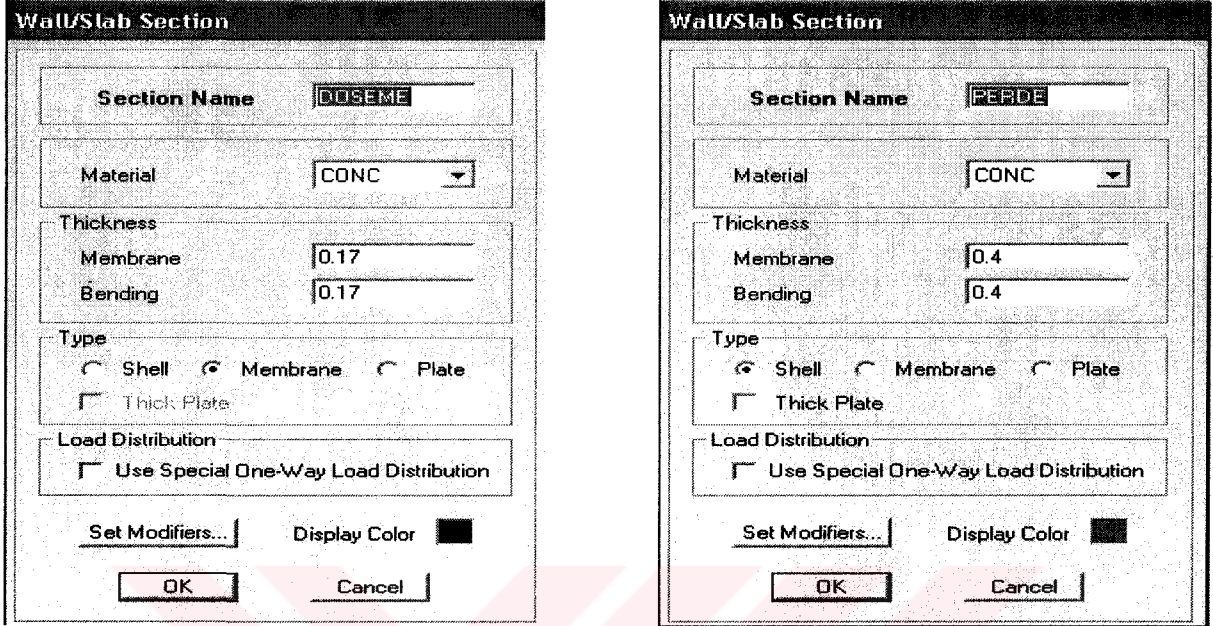
Bu girilen bilgiler ışığında program otomatik olarak kesit özelliklerini yani her iki yöne ait atalet momentlerini, mukavemet momentlerini, kesit alanlarını, kayma alanlarını, atalet yarıçaplarını ve burulma sabitini hesaplar.

Kolon ve kirişlerin kesit tanımlamaları, çubuk kesit tarifleri olarak aynı menüde yer almaktadır. Ancak bu iki elemanın betonarme hesap yöntemleri farklı olacağından malzemenin beton seçilmesiyle yeni bir menü açılır ve buraya da elemanın kolon mu, kiriş mi olduğu, kullanılması düşünülen donatı adedi veya kullanılması düşünülen birim donatı alanı, pas payları girilerek betonarme hesaba dair bilgiler de tanımlanmış olur.

Şekil 4.7 Çubuk elemanların kolon veya kiriş olarak belirlenmesi

Buna benzer olarak modelde kullanılması düşünülen döşeme ve perde elemanların boyut bilgileri Şekil 4.8’de görüldüğü gibi tarif edilmektedir. Şekil 4.8’deki menüye çıktılarda görmek istediğimiz kesit ismi, modelde kullanıldığı yere bağlı olarak tipi yani levha, kabuk veya plak özelliklerinden hangisine sahip olduğu ve elemanın kalınlığı girilmektedir.

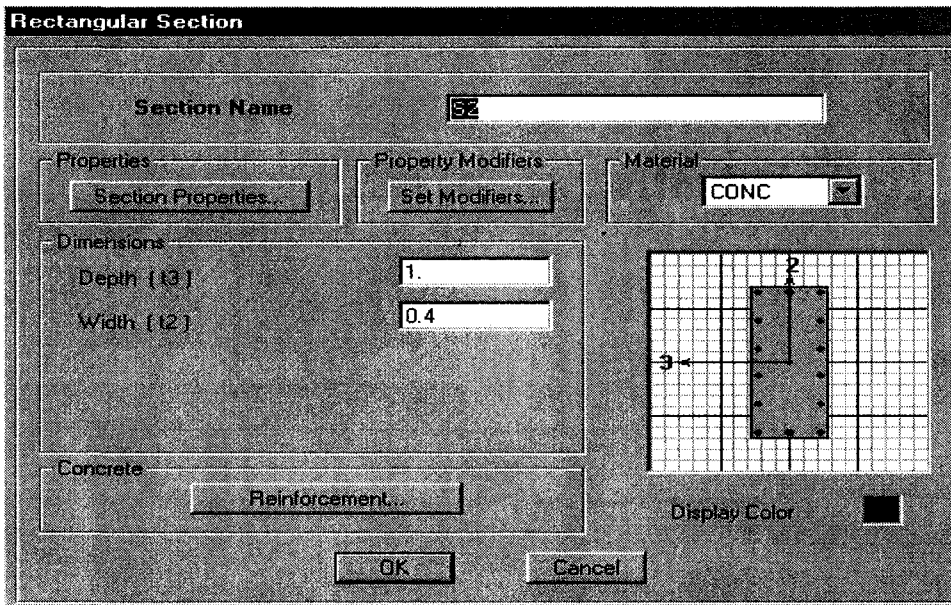
Döşeme ve perde elemanları, programın kendi kabullerine göre belirli sayıda sonlu elemana ayrılmaktadır. Eğer istenirse bu bölme işlemi kullanıcı tarafında da dışarıdan müdahale edilmek suretiyle yapılabilmektedir



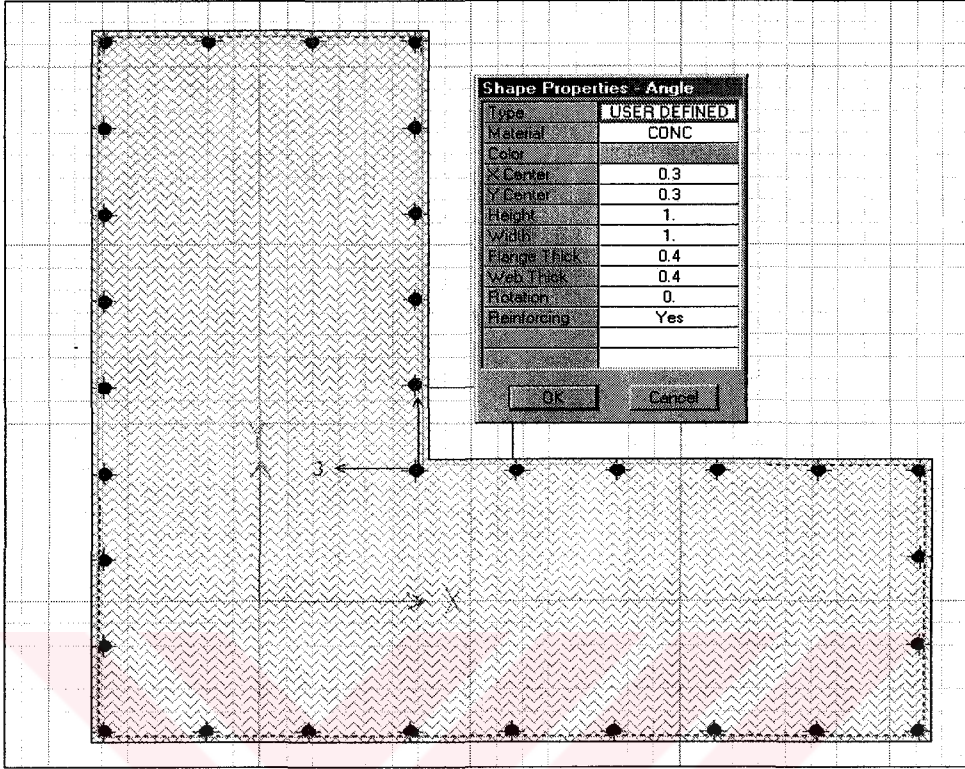
Şekil 4.8 Perde ve döşeme elemanların kesit özellikleri menüsü

Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da köşelerdeki L kolon ve diğer kolon tipinin kesitleri görülmektedir.

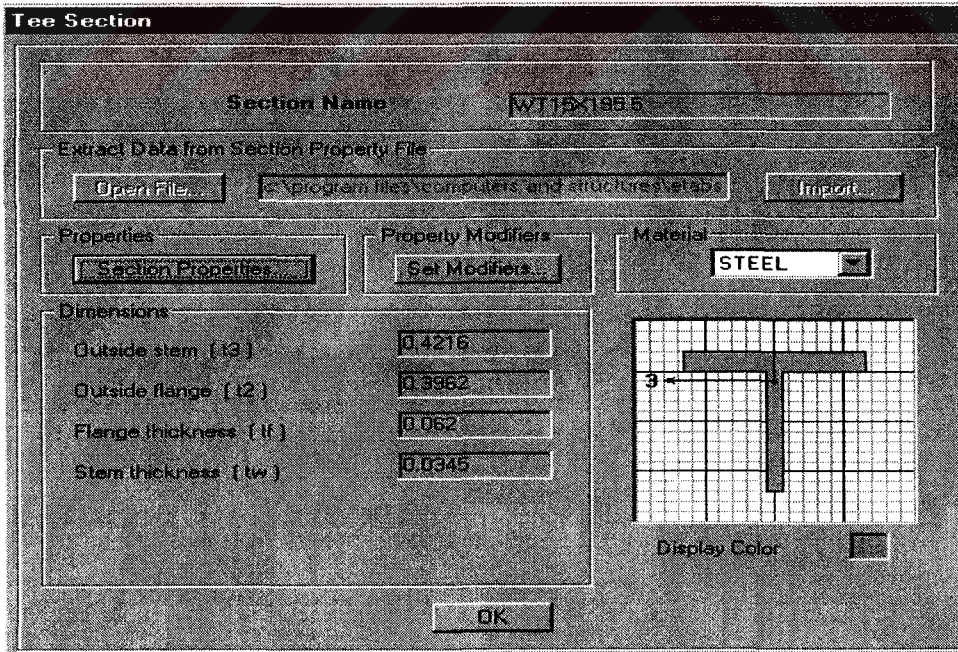
Bu şekilde yapı elemanı kesitleri oluşturulacağı gibi programda bulunan hazır şablonlardan da yapı elemanı kesit atamaları yapılabilir. Şekil 4.11'de görülen çelik takviye elemanı da bu şekilde belirlenmiştir.



Şekil 4.9 S2 kolonu kesit özellikleri menüsü



Şekil 4.10 L kolon kesit özellikleri menüsü

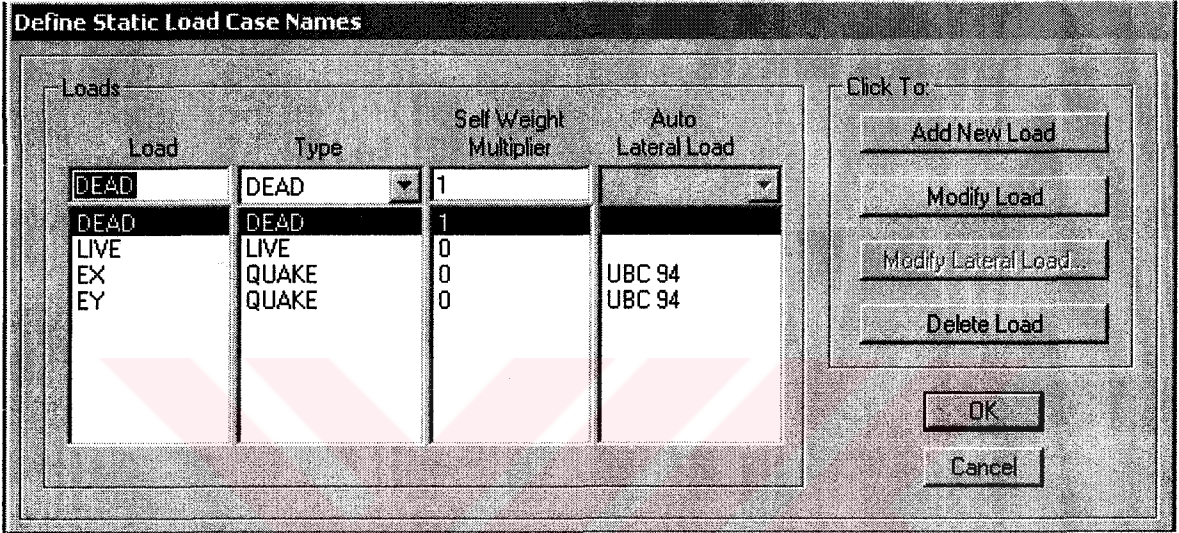


Şekil 4.11 Çelik takviye elemanının kesit özellikleri menüsü

### 4.3.5 Yük Bilgilerinin Girilmesi

Bu bölümde statik ve dinamik analizde kullanılacak olan yük tipleri tanımlanır.

Yüke verilecek isim, cinsi yani sabit, hareketli ve deprem yüklemesinden hangisi olduğu, yük çarpanı ve deprem yüklemesine ait yönetmelik seçimi aşağıda görülen şekilde tarif edilmektedir.



Şekil 4.12 Yük tiplerinin tarif edilmesi

Yük çarpanı elemanın zati ağırlığının haricen girilip girilmediğini göstermektedir. Eğer sabit yük çarpanı 1 olarak girilmişse, her elemanın kendi ağırlığı otomatik olarak sabit yüke eklenmektedir. Bu durumda elemanın kendi ağırlığı modelde ayrıca verilmemelidir.

Deprem yüklemesinde, seçilen yönetmeliğe bağlı olarak o yönetmeliğin içeriğine ait bilgilerin girilebileceği bir menü gelir. Modellerde seçilen deprem yüklemesine ait şartname UBC 94 olduğundan Şekil 4.13'te görülen menüyle karşılaşılır. Buna göre, deprem yüklemesinin yönü, varsa eksantrisite değeri, periyot hesaplama yöntemi, süneklik katsayısı, spektrum ivme katsayısı ve yapı önem katsayısı interaktif olarak girilir.

Periyot değerlerini yerli şartnameye uyarlamak için  $T=1$  yazılarak elde edilen mod1 ve mod2 deki periyot değerleri yerli şartnameye çevrilip, T değerine yazılarak yeniden çözümlenir. Bu işlem x ve y yönleri için yapılır.

**1994 UBC Seismic Loading**

**Direction and Eccentricity**

X Dir       Y Dir  
 X Dir + Eccen Y       Y Dir + Eccen X  
 X Dir - Eccen Y       Y Dir - Eccen X

Eccentricity        
 Override Eccentricities     

**Seismic Coefficients**

Seismic Zone Factor, Z  
 Per Code        
 User Defined     

Site Coefficient, S        
 Importance Factor, I     

**Time Period**

Method A       $C_d(f)$  =   
 Program Calc       $C_d(f)$  =   
 User Defined      T =

**Story Range**

Top Story        
 Bottom Story     

**Factors**

Numerical Coefficient, R<sub>w</sub>     

Şekil 4.13 UBC 1994 Deprem şartnamesi tanımları

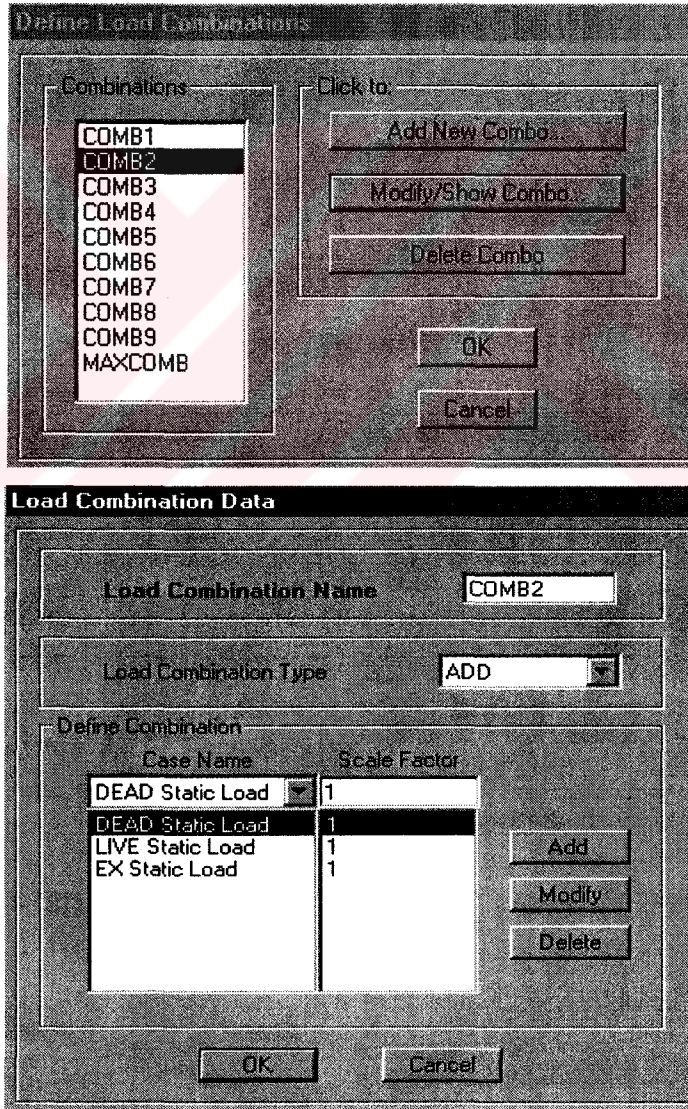
Deprem yüklemesinin UBC 94 olarak seçilmesinin sebebi, ülkemizde kullanılan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” e olan uyumluluğudur.

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ‘R’, ABYYHY’e göre çerçeve model için 8, perdeli model için 6 alınmıştır. Çelik çapraz takviyeli model için ‘R’ katsayısı yönetmelikte kesin olarak belirtilmediği için 6 ve 7 alınarak çözümlenmiştir.



#### 4.3.6 Yük Kombinasyonlarının Tarif Edilmesi

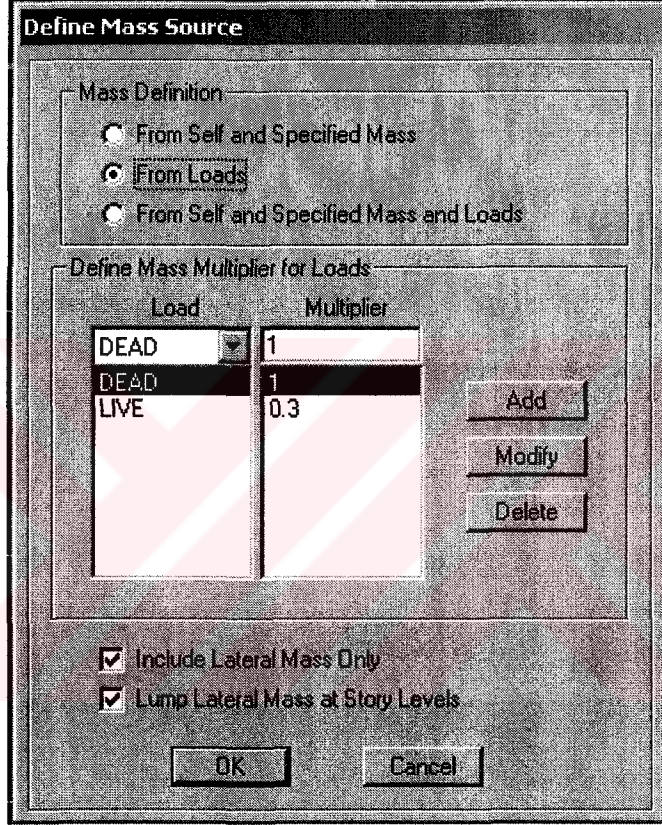
Bu bölümde şartnamelerin bizden istediği yük kombinasyonları belirtilir. Kombinasyonun ismi ve daha önceden belirlenmiş olan yük tipleri ve katsayıları bu bölümde kombinasyon üretilebilir. Çözüm sonrasında bu kombinasyonlara ait kesit tesirleri çıktı dosyalarında yer alacaktır. Aslında program yazarları otomatik olarak alınacak yük kombinasyonlarını da hazırlamışlardır. Ancak yine programın yerli olmaması nedeniyle bu kombinasyonlar ülkemizde kullanılan TS500 Betonarme Şartnamesinde yer alan kombinasyonlardan yük katsayıları düzeyinde farklılık göstermektedir. Bu nedenle istenilen tüm kombinasyonlar özellikleriyle bu bölümde tarif edilmelidir. İstenirse çözüm sonrası da bu menüye müdahale edilebilmektedir.



Şekil 4.14 Yük kombinasyonları menüsü

#### 4.3.7 Dinamik Hesapta Kullanılacak Kat Ağırlıklarının Belirlenmesi

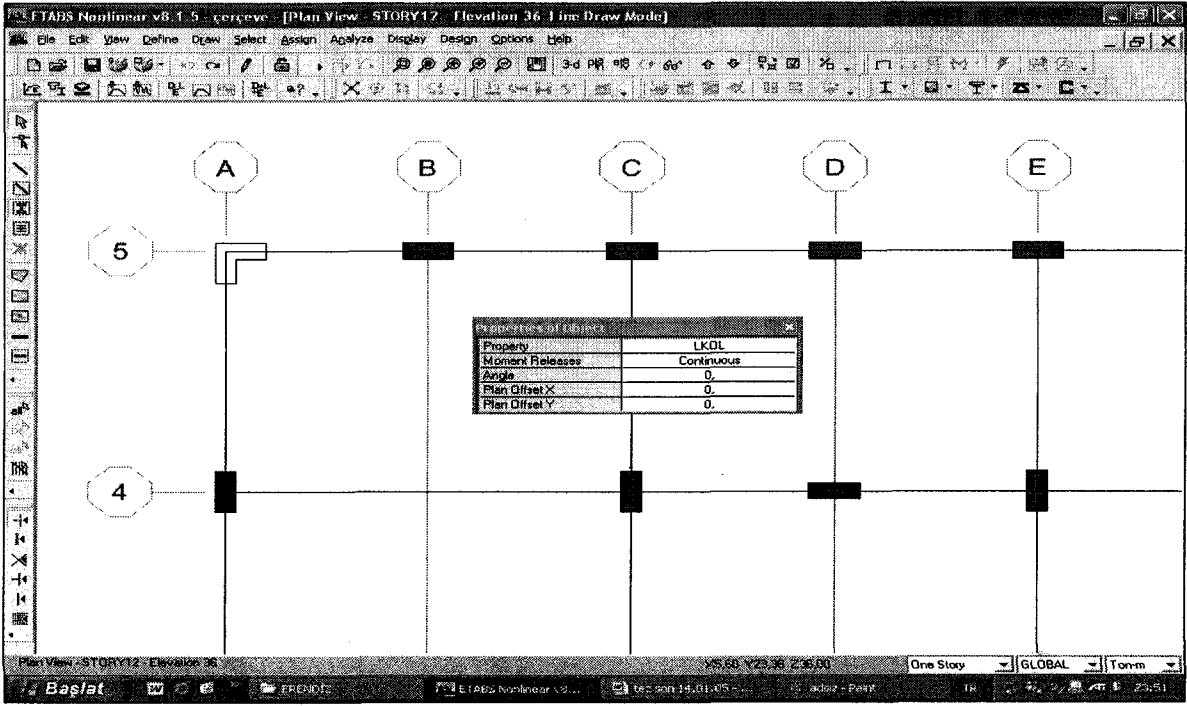
Deprem yüklerinin belirlenmesi için yapılacak dinamik hesapta katın ağırlığının belirlenmesi için sabit ve hareketli yüklerin ne oranda katılacağı bu bölümde tarif edilir. Hareketli yük için seçilecek katsayı, binanın kullanım amacına göre şartnamemizde belirtilmiştir. Bina kullanım amacına göre deprem şartnamemizde yer alan hareketli yük katılım katsayısı “n” bu bölümde tarif edilerek dinamik hesaba esas kat kütleleri programa hesaplatılmaktadır.



Şekil 4.15 Dinamik hesaba esas kütle çarpanlarının tarifi

#### 4.3.8 Çubuk Elemanların Model Üzerinde Oluşturulması

Daha önceden boyut ve kesit özellikleri olan kirişler model üzerinde oluşturmak için öncelikle plan düzlemine geçilir. Çubuk eleman çizim menüsünden kullanılacak olan kesit seçilerek ekran üzerinden kirişin sol ve sağ düğüm noktaları tıklanarak kiriş elemanı çizilir. Benzer şekilde, kolonları çizmek için x-z veya y-z düzlemlerine geçilir ve aynı işlemler düşeyde tekrarlanır.



Şekil 4.16 Çubuk elemanların atanması

Eğer daha önceden birbirine benzetilecek katlar tarif edilmişse bu kat üzerinde yapılacak olan her işlem benzer katlara da otomatik olarak yansıtacaktır. Benzer katlarda herhangi birinde işlem yapmak yeterli olacaktır. Bunun yanı sıra tüm katlarda kolonların veya kirişlerin benzer olması veya bir kısmının benzer olması durumunda ise programın özelliklerinden “all stories” yani tüm katlara uygula bölümüne geçilerek bu işlemler tek katta yapılırsa tüm katlara da otomatik olarak uygulanacaktır. Bu uygulamadan emin olmak amacıyla da üç boyutlu model çizimi açılarak kontrol edilebilir.

Eğer sistemde simetri söz konusu ise veri girişini kolaylaştırmak ve hızlandırmak amacıyla sistemin sadece yarısını tanımlayıp diğer yarısını aynalama özelliği ile oluşturmak mümkündür.

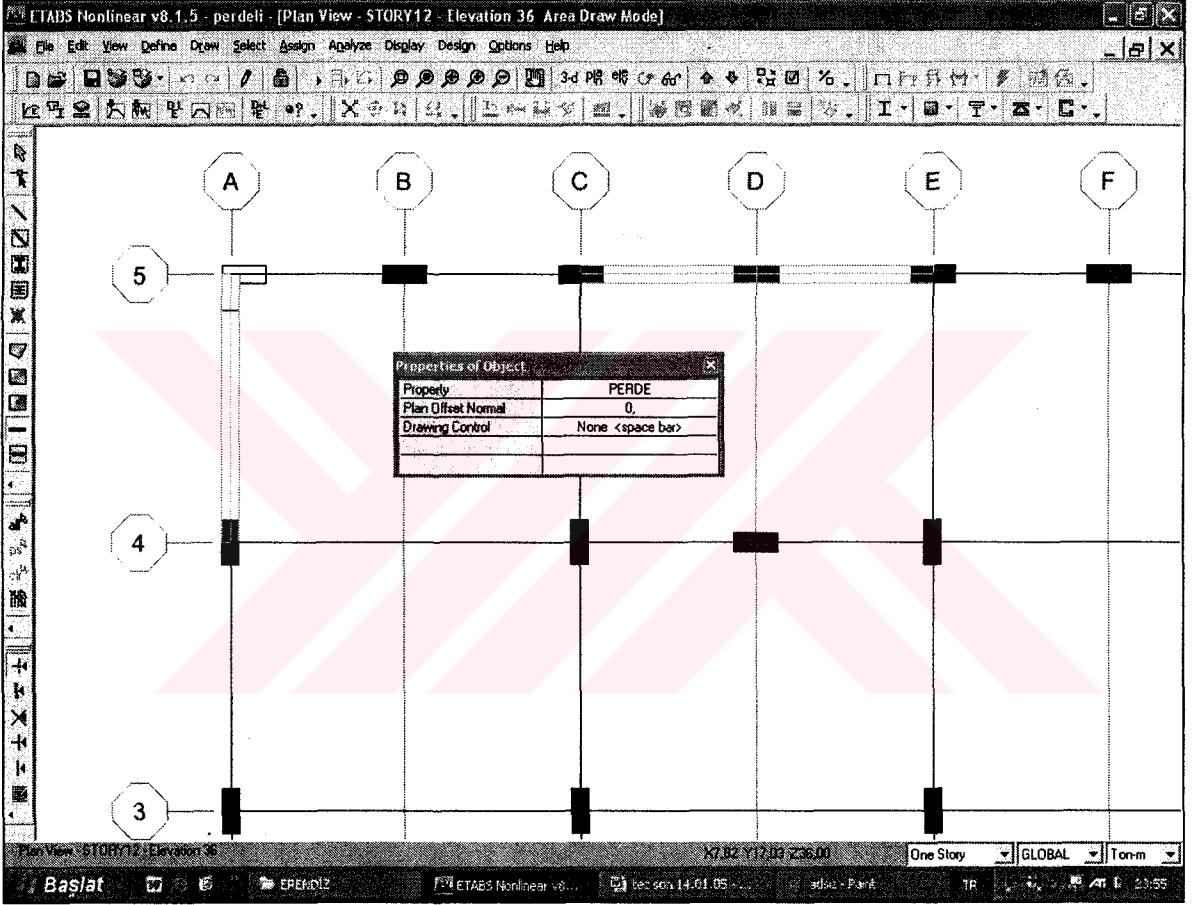
Girilen her kiriş ve kolon elemanına program tarafından çubuk tipine göre otomatik olarak ad verilmektedir. İstenirse bu isimlerin sıralamasına veya ön karakterlerine de müdahale edilebilir.

Herhangi bir çubuk elemana sol ve sağ uç düğüm noktaları dışında saplanan farklı bir eleman varsa bu birleşim noktasına program tarafından otomatik olarak yeni bir düğüm noktası atanır ve yük aktarımında bu düğüm noktası da dikkate alınır.

ETABS programı sonlu elemanlarla işlem yaptığından saplanan kirişleri bölmek gerekmektedir. Ancak bu bölme işlemini program otomatik yapmaktadır.

### 4.3.9 Döşeme ve Perde Duvar Elemanlarının Model Üzerinde Oluşturulması

Perde duvar ve döşeme tarifini yapmak için ilgili düzleme geçilir. Daha önceden tanımlanmış plak, levha ya da kabuk kesitlerinden ilgili olan seçilir ve elemanın köşe düğüm noktaları ekran üzerinden tıklanarak kesit oluşturulmuş olur. Oluşturulan perde elemanlara da çubuk elemanlarda olduğu gibi program tarafından otomatik olarak isim verilir. Yine bu isimlere müdahale etmek mümkündür.

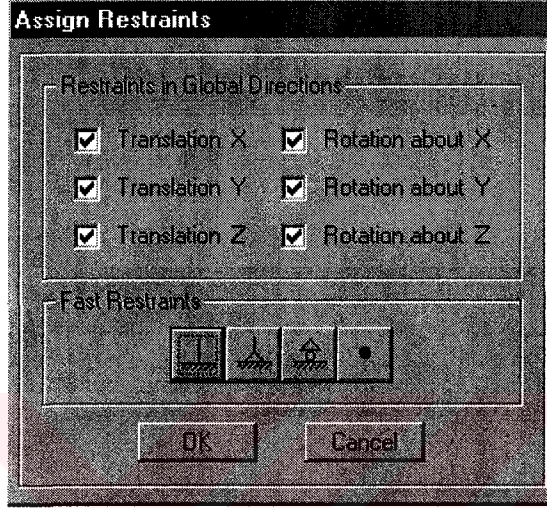


Şekil 4.17 Perde elemanların atanması

Döşemeleri de tariflemek benzer şekildedir ancak plan düzleminde yapılması işi daha kolaylaştırılacaktır. Ayrıca döşeme elemanların tarifinden sonra yük aktarımının doğru yapılması için uygun sonlu elemanlara ayrılmalıdır. Bu uygunluk şartı döşemenin oturduğu çubuk veya perde elemanlara bağlıdır. Dolayısıyla düğümlere bağlıdır. Bu yüzden ilgili düğümler işaretlenip döşeme böldürüldüğünde yük aktarımının da doğru yapılması sağlanacaktır.

#### 4.3.10 Mesnet Şartları

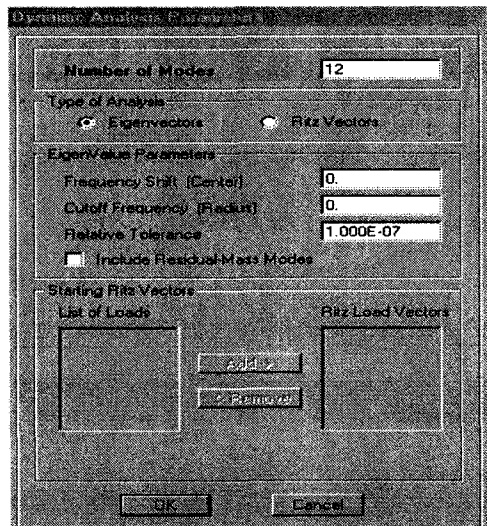
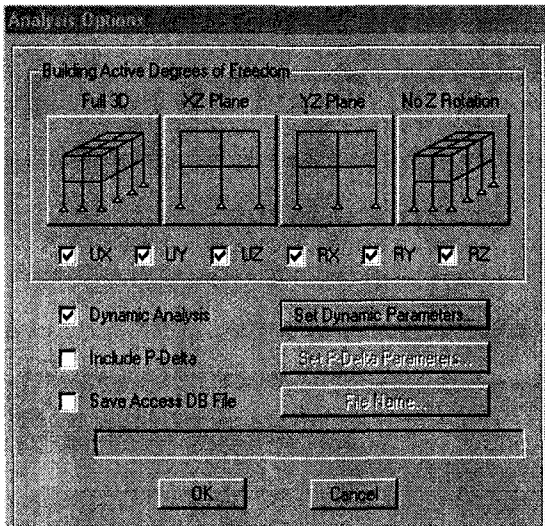
Bu aşamada yapının temele nasıl bağlı olduğu (ankastre ya da mafsallı) belirtilmelidir. Temel seviyesindeki düğüm serbestlikleri tanımlanır. İstenirse temelde üst yapıyla beraber çözülebilir. Bu durumda zeminle ilgili zemin yatak katsayısı, zemin emniyet gerilmesi gibi diğer parametrelerde verilmelidir. Modellerde yapı temele ankastre olarak bağlanmıştır. Ankastre özellikleri Şekil 4.18’de görülen menüdeki atamalarla sağlanmaktadır.



Şekil 4.18 Mesnet özellikleri menüsü

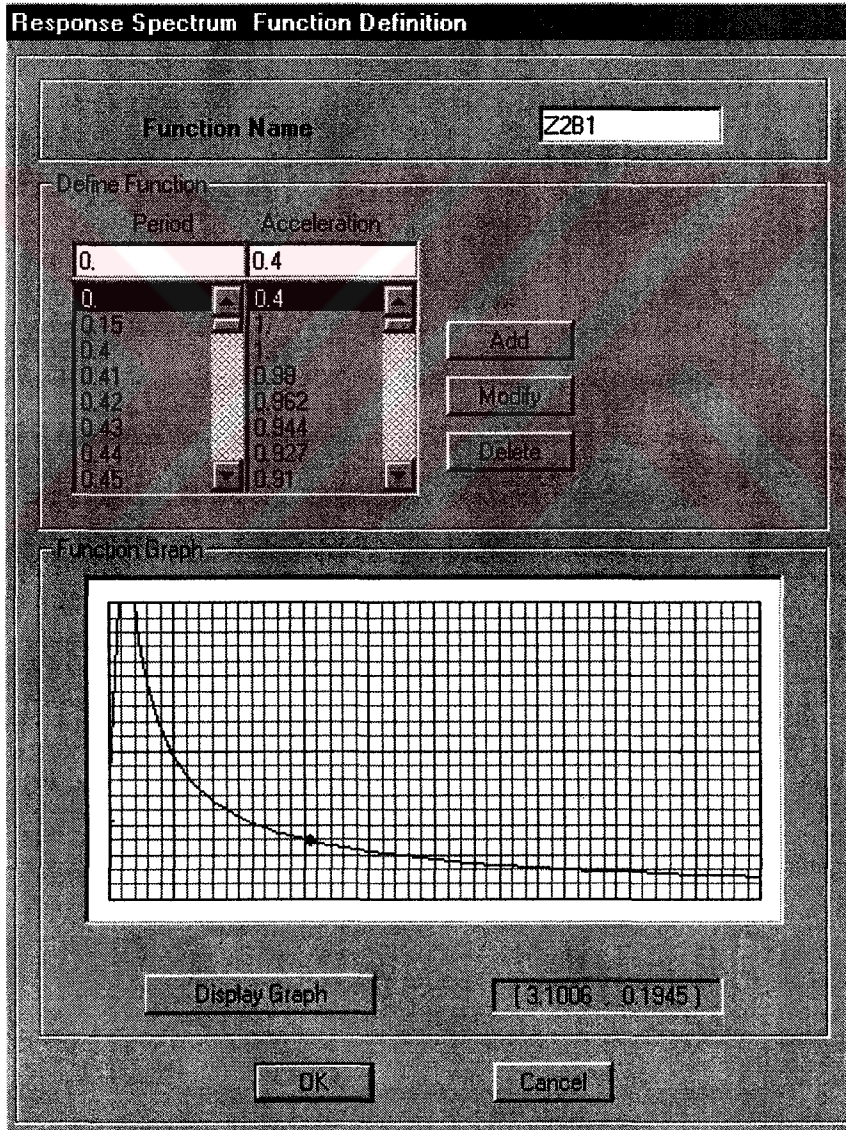
#### 4.3.11 Analiz Genel Özellikleri

Çözümün önceki son aşama budur. Bu aşamaya gelinceye dek tüm veri girişi tamamlanmış olmalıdır. Sistemle ilgili genel tanımlama bu bölümde yapılır. Sistemin herbir düğüm noktasına kaç tane ve hangi serbestliklerin alınacağı, dinamik analiz için hangi yöntemle yapılacağı, kaç adet mod alınacağı bu aşamada tariflenir.

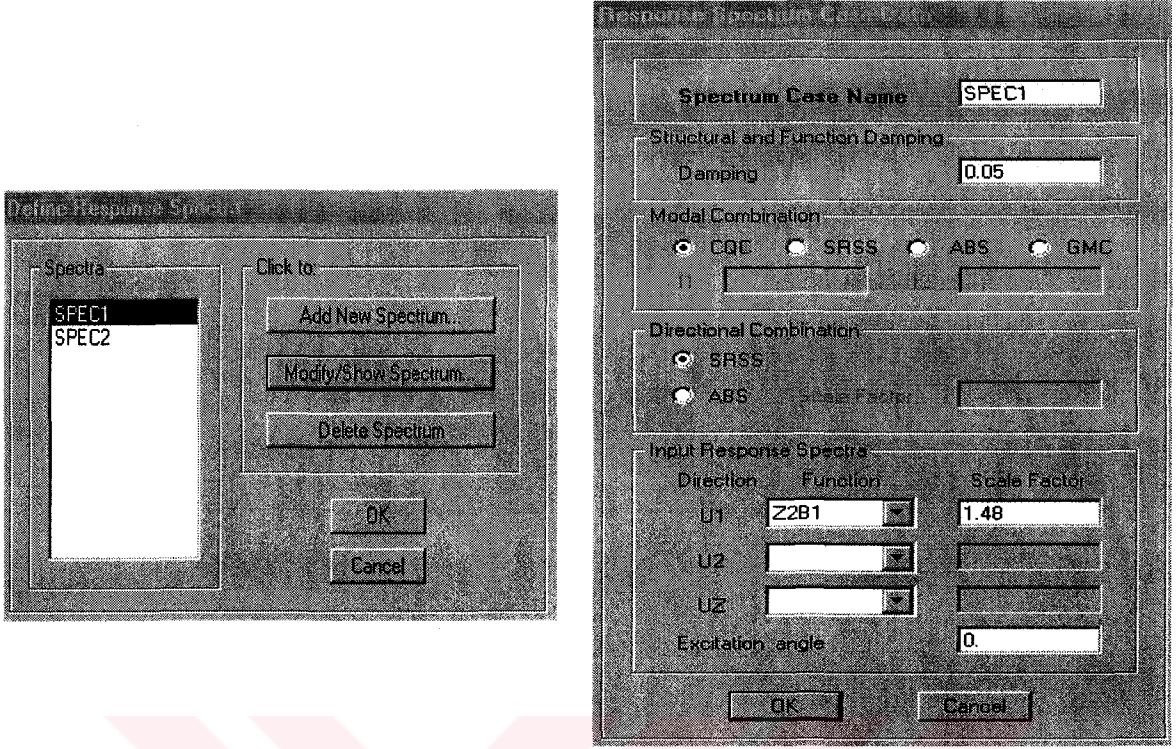


Şekil 4.19 Analiz özellikleri genel menüsü ve dinamik analiz özellikleri menüsü

Analizden önce zemin sınıfı ve deprem bölgesine göre Şekil 4.20'de görüldüğü gibi etkin yer ivmesi - periyot değerlerini içeren spektrum eğrisi tanımlanmalıdır. Zemin sınıfı olarak Z2, deprem bölgesi ise 1. derece deprem bölgesidir. Bölüm 4.4.2'de bahsedilen Mod Birleştirme Yöntemi'nin uygulanıp sistemin davranışını bulmak yani her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan cevabının ayrı ayrı elde edilip sonra birleştirilmesi için Şekil 4.21'deki gibi x ve y yönlü davranış spektrumları tanımlanmıştır. Bu spektrumların skalası 1 alınarak analiz yaptırılır ve bölüm 4.4.3'de bahsedilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile elde edilen her iki yönde zemin kattaki toplam taban kesme kuvvetleri oranlanarak skala artırılır ve bu değerle çözüm tekralanır.



Şekil 4.20 Etkin yer ivmesi-periyot değerleri menüsü



Şekil 4.21 Spektrum değerleri menüsü

#### 4.4 Deprem Etkisi Altında Çözüm Yöntemleri

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler,

Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Eşdeğer Deprem Yüğü olarak üçe ayrılır.

##### 4.4.1 Zaman Tanım Alanında Hesap yöntemi

En çok zaman alıcı olan bu çözümlemede, taşıyıcı sistem, zaman alanında boyutlama için kabul edilen bir benzetilmiş veya gerçek deprem hareketi esas alınarak, adım adım çözülür. Sistemin davranışı boyutlarına bağlı olduğu için, projelendirmenin ilk aşamasında kullanılacak bir yöntem değildir. Taşıyıcı sistemin davranışı elastik kabul edilebileceği gibi, daha gerçekçi sonuçlar elde etmek amacı ile elastik ötesi davranış da hesaba katılabilir. Yalnız bu durumda her yükleme durumu için ayrı rijitlik matrisi oluşturulması gerekir. Hesap yönteminin karmaşıklığı ve ayrıntılı olması sonuçların hakkı olmayan bir güvenle değerlendirilmesine sebep olabilir. Kabul edilen deprem hareketi ve taşıyıcı sistemin davranışı için yapılan mesnet kabulleri, kesit atalet momenti değerlerinin geçerliliği oranında elde edilen sonuçların güvenilir olduğu unutulmamalıdır. Bu çözümleme yöntemi, araştırma

amacıyla kullanılması yanında, daha basit yöntemlerle yapılan çözümlerde bulunan sonuçların yorumlanmasında da kullanılabilir.

#### 4.4.2 Mod Birleştirme Yöntemi

Bu elastik dinamik çözümleme yöntemi, sistemin davranışının, her bir serbest titreşim modunun deprem hareketine olan cevabının ayrı ayrı elde edilmesinde sonra birleştirilmesi ile bulunabileceği esasına dayanır. Binalarda kütlelerin katlarda toplandığı kabul edilerek her kat için iki öteleme ve bir dönme hareketi esas alınır. Dönme hareketi nedeniyle katlarda kütle merkezi ile rijitlik merkezinin üst üste düşmemesinin etkisi de hesaba katılmış olur. Matematiksel olarak sağlam bir temele dayanmasına rağmen, gerçek taşıyıcı sistemi yansıttığındaki eksiklikler nedeniyle kesin güveni zedeleyen bazı hususlara da sahiptir. Yöntemin hesap tekniği tamamen elastik davranışa dayanır. Ekonomik boyutlandırma genel olarak taşıyıcı sistemin sünek davranışının sağlanmasıyla ilgilidir. Sünek davranış esas alındığı oranda modları birleştirme tekniğinin uygulanabilirliği azalır. Betonun düşük gerilmelerde bile doğrusal davranıştan ayrılması, elastik davranış kabulünün geçerliliğini sınırlar. Depreme ait bilgilerin kabulünden sonra, tekniğin matematik çekiçliliğine kapılarak sonuçlara aşırı güvenilmemelidir. Doğrusal elastik davranış kabul edilse bile deprem ile ilgili bilgilerin güvenilirliği mertebesinde sonuçların doğru olduğu unutulmamalıdır. Yönetmeliklerde bu yöntemin önerildiği durumlarda bile, elde edilen sonuçların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ninkilerle karşılaştırılması daima öngörülür.

#### 4.4.3 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Yukarıda açıklanan hususlardan dolayı, bu yöntem taşıyıcı sistemi düzenli ve düzensizliği sınırlı olan binalar için, üç yöntemin en kullanışlı ve faydalısı olarak bilinir. Boyutlamada kapasite kavramının kullanılması, sünekliliğin kontrollü bir şekilde ve istenilen yerlerde oluşmasının sağlanması ve istenmeyen güç tükenmesi şekillerinin önlenmesi koşulu ile bu yöntem daha karmaşık çözümlere ihtiyaç duyulmaksızın yaygın bir şekilde uygulanabilir. Özellikle taşıyıcı sistemi düzenli olan yapılarda yapı davranışını iyi bir şekilde temsil eder. Taşıyıcı sistemde düzensizlik bulunması durumunda Mod Birleştirme Yöntemi öngörülürse de, elde edilen sonuçların Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile bulunanla karşılaştırılması istenir.

Açıklanan Mod Birleştirme Yöntemi ile Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi her türlü taşıyıcı sisteme uygulanabilir.



Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Bu döşemelerin de yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı kabul edilmiştir. Gerek modellerin toplam yükseklik sınırları, gerek düzensizlik şartları, ETABS programında modellerin deprem hesabı için, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin kullanılarak dinamik analiz yapılmasını gerektirmektedir.

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi A1 ve B2 türü düzensizlikler, deprem hesabında kullanılacak yöntemin seçiminde etken olan düzensizliklerdir.

Çizelge 4.3 Eşdeğer deprem yüğü yöntemi'nin uygulanabileceği binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1, 2	A1 türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan binalar	$H_N \leq 25$ m
1, 2	A1 türü burulma düzensizliği olmayan, varsa her bir katta $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağlayan ve ayrıca B2 türü düzensizliği olmayan binalar	$H_N \leq 60$ m
3, 4	Tüm binalar	$H_N \leq 75$ m

## 5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Bu tezin amacı, geleneksel, her zaman görmeye alışık olduğumuz betonarme yapıları, yapım esnasında veya sonrasında çelik çaprazlar kullanılarak depreme dayanıklı hale getirmek ve bu yapılarda deprem esnasında daha az kat deplasmanları ortaya çıkmasını sağlayıp insanların depremden daha az etkilenmelerine yardımcı olmaktır.

Yapılan bu tez çalışmasında öngörülen amaçlara ulaşılmıştır. Aşağıdaki paragraflarda elde edilen sonuçlara dayanılarak bu amacın gerçekleştiği anlatılacaktır.

### 5.1 Düzensizlik Durumları

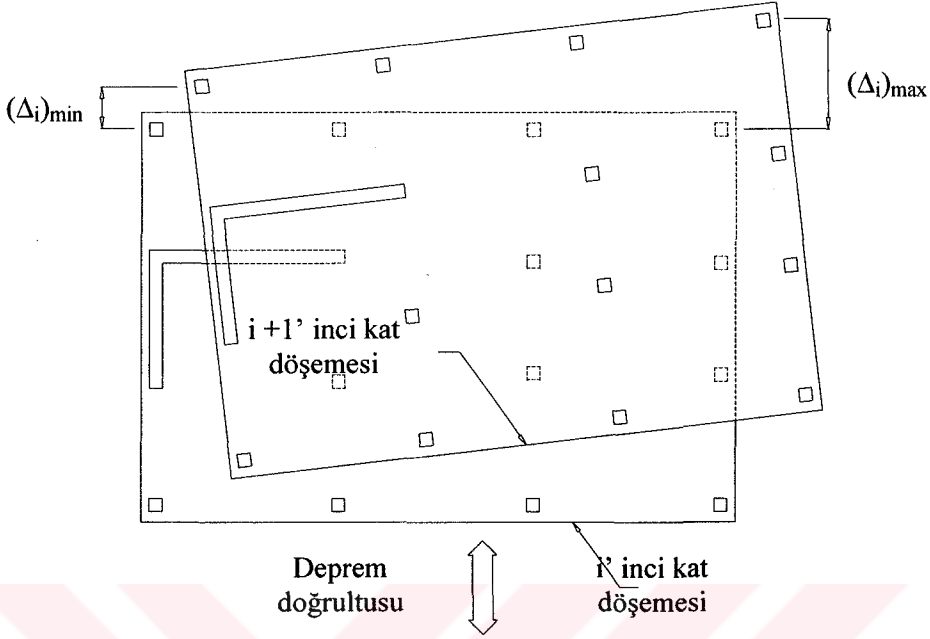
#### 5.1.1 Düzensiz Binalara İlişkin Koşullar

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar nedeni ile tasarımından ve yapımından kaçınılması gereken düzensiz binalar'ın tanımlanması ile ilgili olarak, planda ve düşey doğrultuda düzensizlik meydana getiren durumlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Düzensizlik durumları

<b>A - PLANDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI</b>
<p><b>A1 - Burulma Düzensizliği :</b> Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı <math>\eta_{bi}</math>'nin 1.2'den büyük olması durumu (Şekil 5.1). [<math>\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} &gt; 1.2</math>]</p>
<p><b>A2 - Döşeme Süreksizlikleri :</b> Herhangi bir kattaki döşemede; I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu, II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu, III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu</p>
<p><b>A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması :</b> Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumu</p>
<p><b>A4 - Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması:</b> Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, gözönüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu</p>
<b>B - DÜŞEY DOĞRULTUDA DÜZENSİZLİK DURUMLARI</b>
<p><b>B1 - Komsu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :</b> Betonarme binalarda, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliği Katsayısı <math>\eta_{ci}</math>'nin 0.80'den küçük olması durumu. [<math>\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} &lt; 0.80</math>] Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı : <math>\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k</math></p>
<p><b>B2 - Komsu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :</b> Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı <math>\eta_{ki}</math>'nin 1.5'tan fazla olması durumu : [<math>\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} &gt; 1.5</math>]</p>
<p><b>B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :</b> Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu.</p>

Bu çalışmada A1 ve B2 türü düzensizliklerin oluşmaması için, şartlarının sağlandığı uygun kesitler bulunana kadar denemeler yapıp, çözümlenecek model oluşturulmuştur.



Şekil 5.1 Katlar arası yerdeğiştirmeler

Döşemelerin kendi düzlemleri içinde rijit diyafram olarak çalışmaları durumunda

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}] \quad (5.1)$$

Burulma düzensizliği durumu :

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2 \quad (5.2)$$

### 5.1.2 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden göreli kat ötelemesi,  $\Delta_i$ ,

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.3)$$

ile ifade edilir.

(5.3)'de  $d_i$  ve  $d_{i-1}$ , binanın  $i$ 'inci ve  $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesaptan elde edilen yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir.

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir  $i$ 'inci katındaki kolon veya perdelerde, (5.3) ile hesaplanan göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri  $(\Delta_i)_{max}$ , aşağıda verilen verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacaktır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (5.4a)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \quad (5.4b)$$

(5.4)'de verilen koşulların binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır (ABYYHY, 1997).

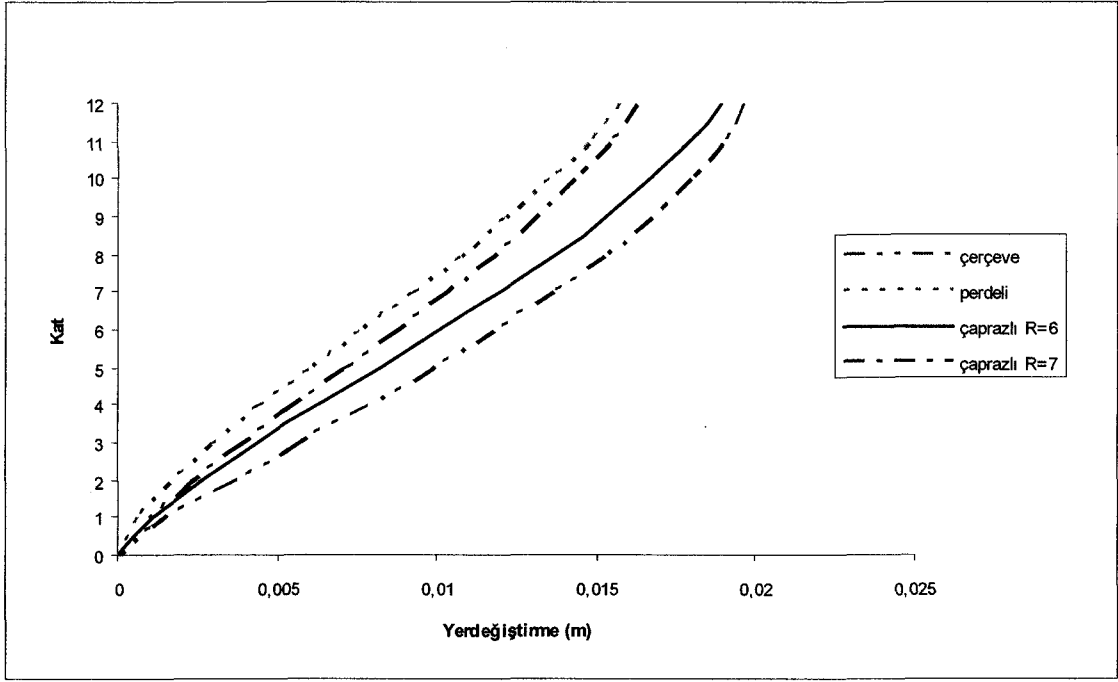
## 5.2 Kat Yerdeğiştirmelerinin Karşılaştırılması

Programın analiz sonuçlarından elde edilen yerdeğiştirmeler, X yönlü deprem yüklemesi ile çerçeve, perdeli ve çaprazlı modellerde her kat için ayrı ayrı Çizelge 5.2'de verilmiştir. Bu değerler burulma ve rijitlik düzensizlikleri kontrollerinde kullanılmıştır. Ayrıca taşıyıcı olmayan elemanlardaki deprem hasarının önlenmesi amacıyla görelî kat yerdeğiştirmelerinin sınırlı tutulması gerekir. Bu amaçla, taşıyıcı sistemin yatay öteleme rijitliğinin (5.4) koşulunu sağlama kontrolleri de yapılmıştır.

Yönetmelikte çelik çapraz takviyeli çerçevelerin taşıyıcı sistem davranış katsayısı için herhangi bir öneri olmadığından hem R=6 hem de R=7 için hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 5.2 Kat yerdeğiştirmeleri

				R=6	R=7	
			çeçeve	çaprazlı	çaprazlı	perde
Kat	Diyafram	Yükleme	dx (m)	dx (m)	dx (m)	dx (m)
12	D12	EX	0,0196	0,0189	0,0162	0,0157
11	D11	EX	0,0189	0,0179	0,0154	0,0147
10	D10	EX	0,0179	0,0167	0,0143	0,0135
9	D9	EX	0,0167	0,0153	0,0131	0,0121
8	D8	EX	0,0152	0,0137	0,0118	0,0107
7	D7	EX	0,0136	0,012	0,0103	0,0092
6	D6	EX	0,0118	0,0101	0,0087	0,0076
5	D5	EX	0,0098	0,0082	0,007	0,006
4	D4	EX	0,0078	0,0063	0,0054	0,0044
3	D3	EX	0,0056	0,0044	0,0038	0,0029
2	D2	EX	0,0035	0,0026	0,0022	0,0016
1	D1	EX	0,0014	0,0011	0,0009	0,0006



Şekil 5.2 Kat yerdeğiştirmeleri karşılaştırma grafiği

Şekil 5.2'deki grafikte de görüldüğü gibi çaprazlı model çerçeve modelden daha rijit, perdeli modelden daha az rijit bir davranış sergileyerek iki modelin arasında bir yerdeğiştirmeye maruz kalmıştır.

### 5.3 Modlara Göre Yatay Bileşenlerin Karşılaştırılması

'Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1997'e göre birinci ve ikinci deprem bölgelerinde bina yüksekliği 25 m.'yi geçen her yapıda mod birleştirme yöntemiyle dinamik analiz yapılması zorunludur (ABYYHY, 1997). Bu nedenle modelimizin deprem hesabı için Mod Birleştirme Yöntemi'yle dinamik analiz üç sistem için de ayrı ayrı yapılmıştır.

Dinamik analiz zamana bağlı olarak değişen yükler altında taşıyıcı sistemdeki gerilme ve yer değiştirmelerin incelenmesinden ibarettir. D'Alambert'e göre zamana bağlı olarak meydana gelecek yer değiştirmelerin ivmeleri atalet kuvvetleri ortaya çıkarır.

$$F = m.\ddot{x} + c.\dot{x} + k.x \quad (5.5)$$

Burada sönümlendirici çarpanı ( $c.\dot{x}$ ) ihmal edildiğinde ve denge halinde, ayrıca

$$x = x_0 \cdot \sin wt \quad (5.6)$$

denklemini kullanıldığında,

$$[k - w^2.m].[x_0] = 0 \quad (5.7)$$

elde edilmektedir. Bu denklem vasıtasıyla,

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.8)$$

olarak bulunabilir. Aynı zamanda

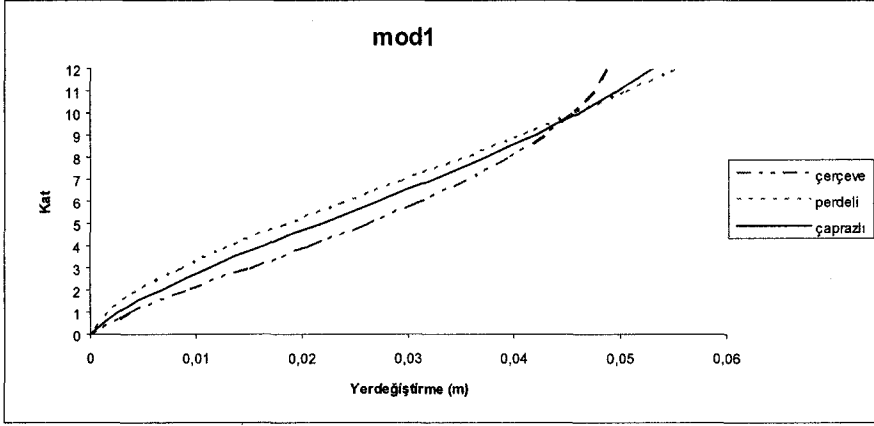
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (5.9)$$

olduğu bilindiğine göre, Rijitlik (k) arttığında periyot (T) azalır. Kütle (m) arttığında periyot (T) artar.

Her katta x, y ve z yönlerinde olmak üzere toplam üç adet serbestlik yani üç titreşim modu alınması gerekmektedir. Modelimizde on iki kat olduğundan toplam otuz altı titreşim modu olduğunda hesaba alınan efektif kütle oranı % 100 olacaktır. Ancak deprem şartnamemizde bu oranın % 90'dan büyük olması yeterli görülmektedir (ABYYHY, 1997). İlk on iki titreşim modu alınıp her sistem için hesap yapılmış ve etkin kütle oranı % 90'ı geçtiği görülmüştür.

Çizelge 5.3 Mod1 için kat döşemelerinin yatay bileşenleri

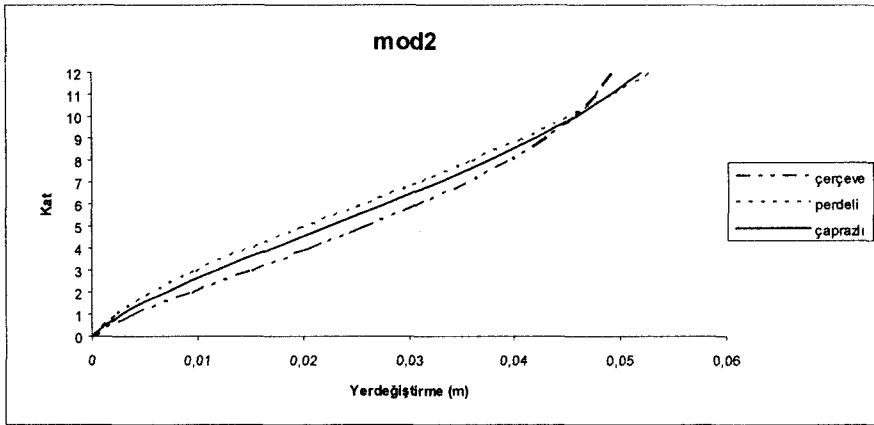
			<b>çerçeve</b>	<b>çaprazlı</b>	<b>perdeli</b>
<b>Kat</b>	<b>Diyafram</b>	<b>Mod</b>	<b>UY (m)</b>	<b>UY (m)</b>	<b>UY (m)</b>
12	D12	1	-0,0487	-0,053	0,055
11	D11	1	-0,0475	-0,0498	0,0504
10	D10	1	-0,0455	-0,0462	0,0455
9	D9	1	-0,0429	-0,042	0,0404
8	D8	1	-0,0395	-0,0374	0,035
7	D7	1	-0,0355	-0,0325	0,0294
6	D6	1	-0,031	-0,0272	0,0238
5	D5	1	-0,026	-0,0219	0,0183
4	D4	1	-0,0206	-0,0165	0,0131
3	D3	1	-0,0149	-0,0114	0,0084
2	D2	1	-0,0091	-0,0067	0,0044
1	D1	1	-0,0036	-0,0026	0,0015



Şekil 5.3 Mod1 için yerdeğiştirme grafiği

Çizelge 5.4 Mod2 için kat döşemelerin yatay bileşenleri

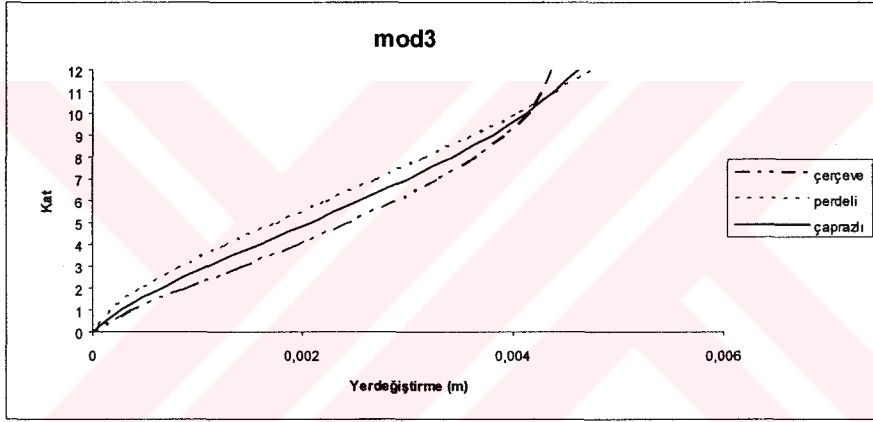
Kat	Diyafram	Mod	çerçeve UX (m)	çaprazlı UX (m)	perdeli UX (m)
12	D12	2	0,0492	-0,052	-0,0528
11	D11	2	0,0477	-0,0492	-0,0492
10	D10	2	0,0456	-0,0459	-0,0451
9	D9	2	0,0428	-0,0421	-0,0406
8	D8	2	0,0393	-0,0377	-0,0358
7	D7	2	0,0353	-0,033	-0,0307
6	D6	2	0,0307	-0,0279	-0,0253
5	D5	2	0,0257	-0,0226	-0,0199
4	D4	2	0,0204	-0,0172	-0,0146
3	D3	2	0,0149	-0,012	-0,0097
2	D2	2	0,0092	-0,0071	-0,0054
1	D1	2	0,0038	-0,0029	-0,002



Şekil 5.4 Mod2 için yerdeğiştirme grafiği

Çizelge 5.5 Mod3 için kat döşemelerinin dönme bileşenleri

Kat	Diyafram	Mod	çerçeve RZ	perdeli RZ	çaprazlı RZ
12	D12	3	-0,00437	-0,00475	0,00463
11	D11	3	-0,00428	-0,0044	0,00441
10	D10	3	-0,00413	-0,00402	0,00413
9	D9	3	-0,00391	-0,00361	0,00381
8	D8	3	-0,00362	-0,00316	0,00343
7	D7	3	-0,00328	-0,00269	0,00301
6	D6	3	-0,00287	-0,00221	0,00255
5	D5	3	-0,00242	-0,00172	0,00208
4	D4	3	-0,00193	-0,00125	0,00159
3	D3	3	-0,00141	-0,00082	0,00111
2	D2	3	-0,00087	-0,00044	0,00066
1	D1	3	-0,00035	-0,00016	0,00027



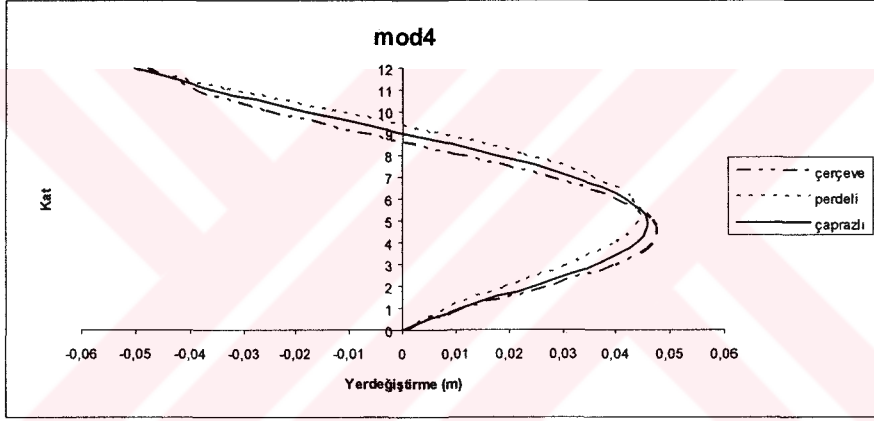
Şekil 5.5 Mod3 için eksenel dönme grafiği

Çizelge 5.3, çizelge 5.4 ve çizelge 5.5'deki negatif değerlerin mutlak değerleri alınarak grafikler hazırlanmıştır. Böylelikle modellerin karşılaştırılma kolaylığı sağlanmıştır.



Çizelge 5.6 Mod4 için kat döşemelerinin yatay bileşenleri

			çerçeve	çaprazlı	perdeli
Kat	Diyafram	Mod	UY (m)	UY (m)	UY (m)
12	D12	4	-0,048	-0,0502	-0,0521
11	D11	4	-0,0395	-0,0361	-0,0333
10	D10	4	-0,0258	-0,0188	-0,0133
9	D9	4	-0,0086	-0,0004	0,006
8	D8	4	0,0098	0,0171	0,0228
7	D7	4	0,0267	0,0317	0,0355
6	D6	4	0,0396	0,0416	0,0427
5	D5	4	0,0465	0,0458	0,044
4	D4	4	0,0465	0,0438	0,0395
3	D3	4	0,0396	0,0364	0,0305
2	D2	4	0,027	0,0248	0,0191
1	D1	4	0,0113	0,0112	0,0077



Şekil 5.6 Mod4 için yerdeğiştirme grafiği

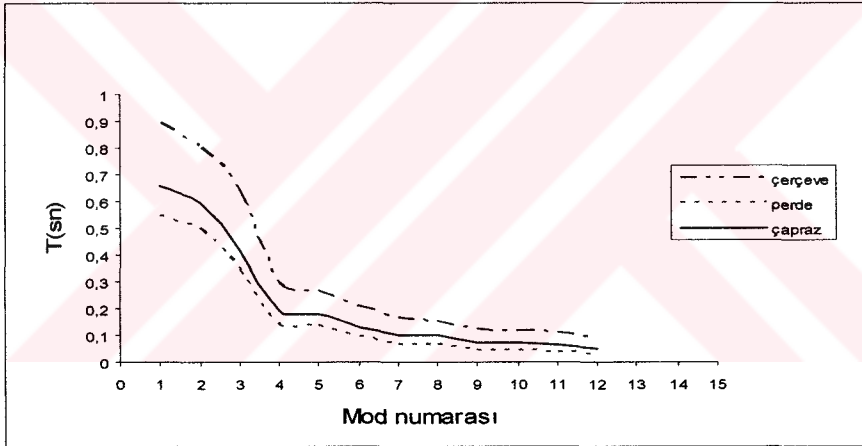
Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6 sırasıyla her üç modelin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü modlarına ait mod şekilleridir. Bunlardan birinci ve dördüncü mod, y doğrultusunda yatay yer değiştirmeye karşı gelirken; ikinci mod x doğrultusunda yatay yer değiştirmeye; üçüncü mod ise z ekseninde dönme yani burulmaya karşı gelmektedir. Tüm modlarda görüldüğü gibi çaprazlı sistemler araya düşmektedir.

#### 5.4 Periyot Değerlerinin Karşılaştırılması

Sözü edilen on iki moda ait, üç sistem için hesaplanan modal periyotlar, Çizelge 5.7'de verilmiştir. Şekil 5.7'deki grafikten de anlaşılacağı üzere çerçeve modelin periyotlarının, en yüksek değerlere, perdeli sistemden oluşan modelin periyotlarının en küçük değerlere sahip olduğu görülmüştür. Çelik çaprazlı modelden elde edilen periyot değerlerinin ise diğer iki model değerlerinin arasında kaldığı ancak perdeli sisteme daha yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.7 Modlara göre periyotlar

	<b>çerçeve</b>	<b>çaprazlı</b>	<b>perdeli</b>
<b>Mod</b>	<b>Periyot (sn)</b>	<b>Periyot (sn)</b>	<b>Periyot (sn)</b>
1	0,8908	0,655159	0,540791
2	0,801755	0,59487	0,48966
3	0,636449	0,411365	0,340125
4	0,291184	0,195358	0,137983
5	0,262111	0,18162	0,137264
6	0,209229	0,126477	0,092307
7	0,167484	0,102078	0,067708
8	0,150315	0,096668	0,063418
9	0,122149	0,068412	0,044222
10	0,115517	0,067949	0,043531
11	0,104762	0,065242	0,039245
12	0,086411	0,05152	0,032021



Şekil 5.7 Modlara göre periyot grafiği

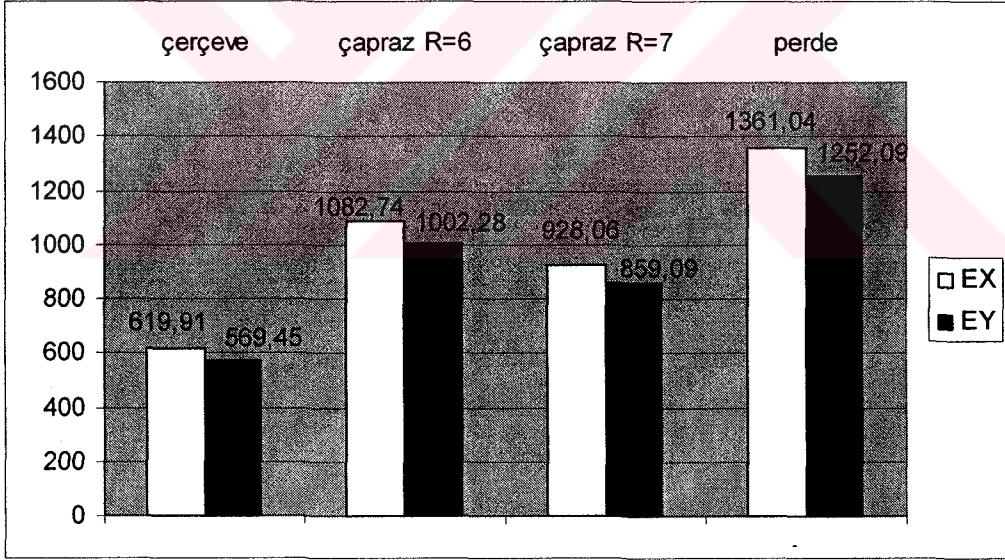
### 5.5 Taban Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle döşemeleri seviyesinde kat kütle merkezlerine ayrı ayrı etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlanmasında kullanılan Toplam Eşdeğer Deprem Yükü de, taban kesme kuvveti olarak bilinmektedir.

Modellerin analiz sonuçlarından elde edilen temel üstü toplam kesme kuvvetleri EX ve EY yükleme durumuna göre aşağıdaki Çizelge 5.8'de sunulmuştur. R=6 alınan çaprazlı sistem taban kesme kuvveti değerleri çerçeve ve perdeli sistemin arasında kalmıştır. R=7 alındığında çaprazlı sistem beklendiği gibi daha az taban kesme kuvvetine maruz kalmaktadır.

Çizelge 5.8 Taban kesme kuvvetleri

		çerçeve	çapraz R=6	çapraz R=7	perde
Kat	Yükleme	V(t)	V(t)	V(t)	V(t)
1	EX	619,91	1082,74	928,06	1361,04
1	EY	569,45	1002,28	859,09	1252,09



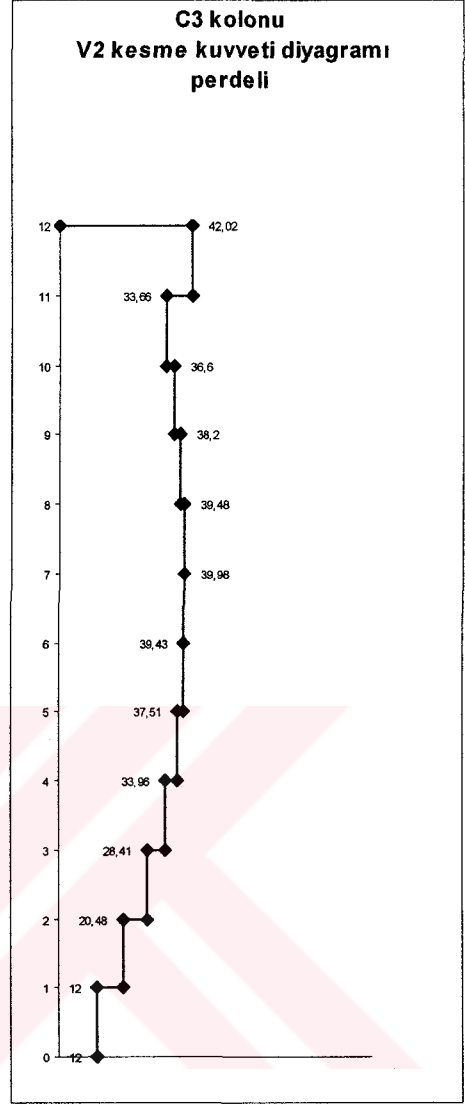
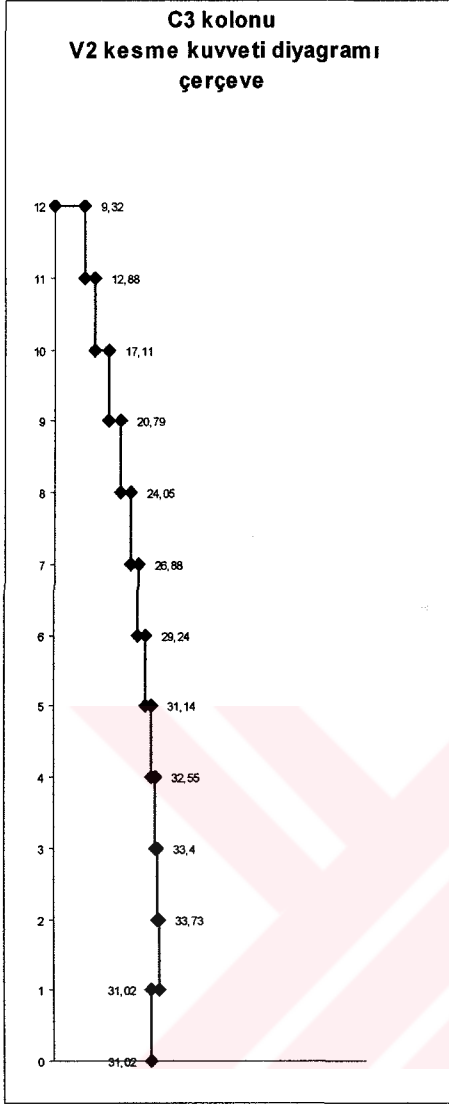
Şekil 5.8 Taban kesme kuvvetleri grafiği

### 5.6 Kolon Kesme Kuvvetlerinin Karşılaştırılması

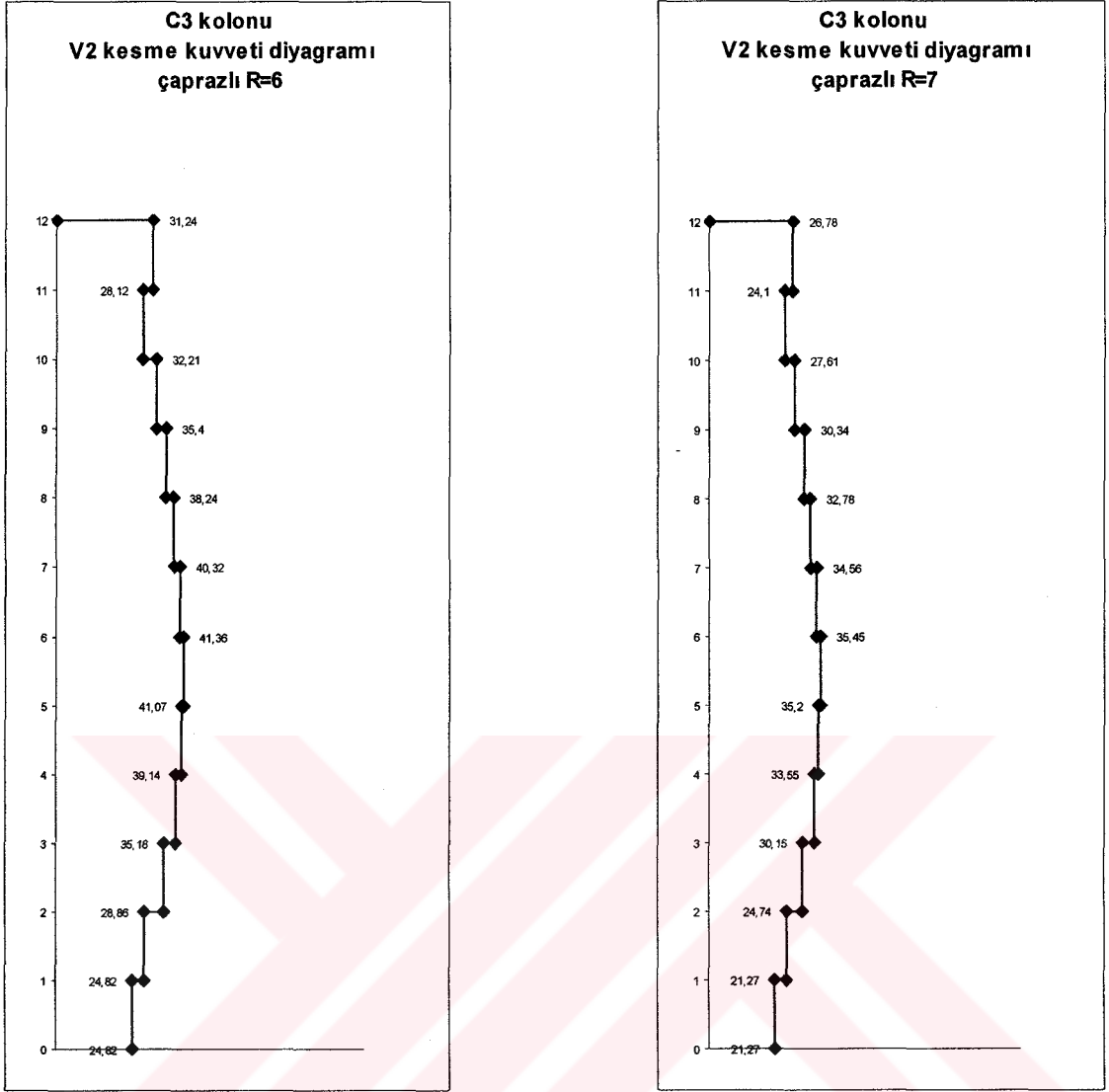
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'de COMB4(G+Q+EY) yüklemesi altında C3 kolonunun sırasıyla çerçeve taşıyıcı sistem, perdeli taşıyıcı sistem ve çaprazlı taşıyıcı sistem modellerinde ortaya çıkan kesme kuvveti diyagramları görülmektedir.

Çizelge 5.9 C3 kolonu kesme kuvvetleri

Kat	Kolon	Yükleme	Konum	V2(t)	R=6	R=7	perdeli
					çerçeve	çaprazlı	
12	C3	COMB4	Alt	9,32	31,24	26,78	42,02
12	C3	COMB4	Üst	9,32	31,24	26,78	42,02
11	C3	COMB4	Alt	12,88	28,12	24,1	33,66
11	C3	COMB4	Üst	12,88	28,12	24,1	33,66
10	C3	COMB4	Alt	17,11	32,21	27,61	36,6
10	C3	COMB4	Üst	17,11	32,21	27,61	36,6
9	C3	COMB4	Alt	20,79	35,4	30,34	38,2
9	C3	COMB4	Üst	20,79	35,4	30,34	38,2
8	C3	COMB4	Alt	24,05	38,24	32,78	39,48
8	C3	COMB4	Üst	24,05	38,24	32,78	39,48
7	C3	COMB4	Alt	26,88	40,32	34,56	39,98
7	C3	COMB4	Üst	26,88	40,32	34,56	39,98
6	C3	COMB4	Alt	29,24	41,36	35,45	39,43
6	C3	COMB4	Üst	29,24	41,36	35,45	39,43
5	C3	COMB4	Alt	31,14	41,07	35,2	37,51
5	C3	COMB4	Üst	31,14	41,07	35,2	37,51
4	C3	COMB4	Alt	32,55	39,14	33,55	33,96
4	C3	COMB4	Üst	32,55	39,14	33,55	33,96
3	C3	COMB4	Alt	33,4	35,18	30,15	28,41
3	C3	COMB4	Üst	33,4	35,18	30,15	28,41
2	C3	COMB4	Alt	33,73	28,86	24,74	20,48
2	C3	COMB4	Üst	33,73	28,86	24,74	20,48
1	C3	COMB4	Alt	31,02	24,82	21,27	12
1	C3	COMB4	Üst	31,02	24,82	21,27	12



Şekil 5.9 Çerçeve ve perdeli modellerdeki C3 kolonu kesme kuvveti grafiği



Şekil 5.10 Çaprazlı modeldeki C3 kolonu kesme kuvveti grafiği

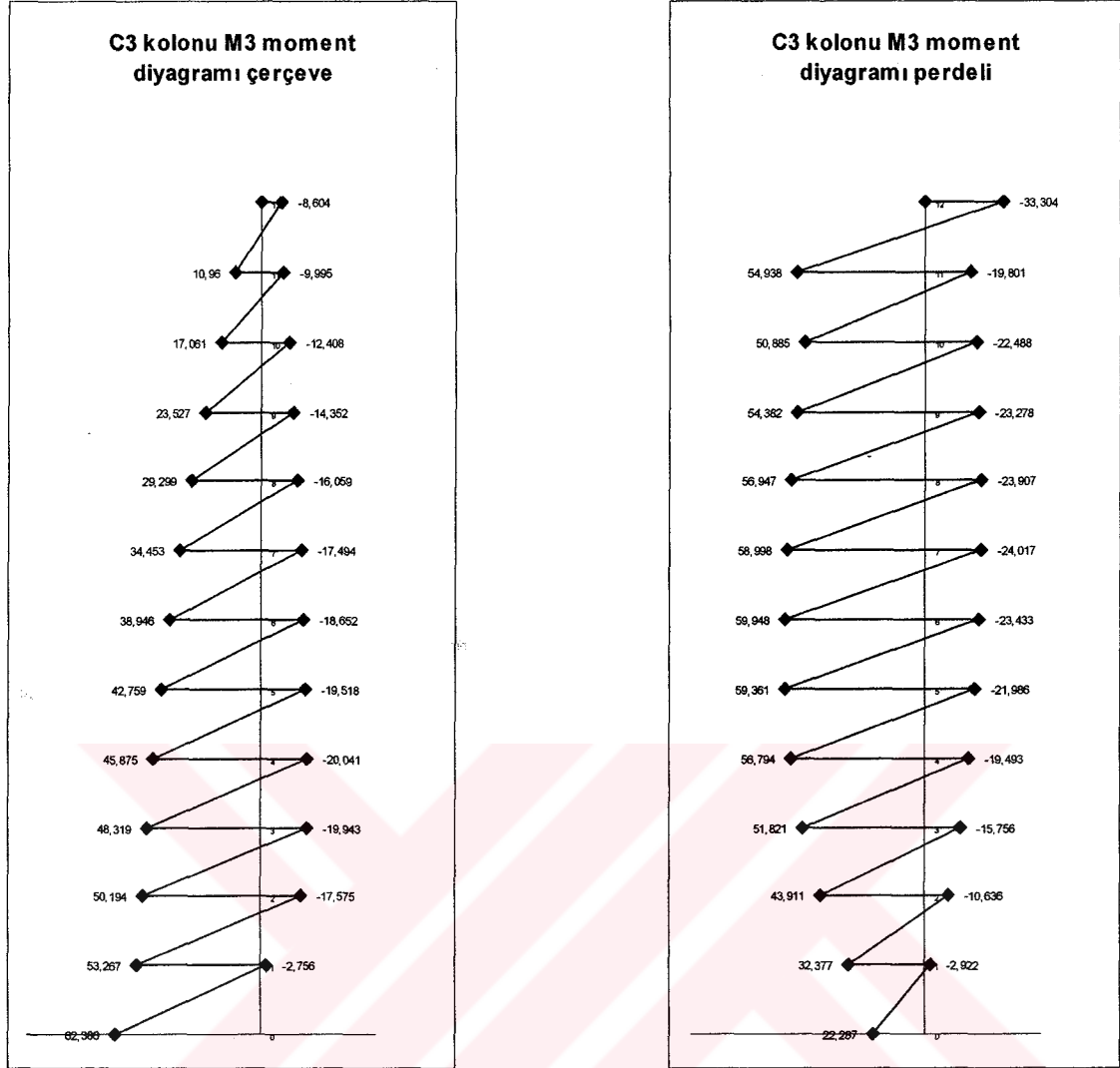
Diyagramların incelenmesinden R=6 alınan çaprazlı taşıyıcı sistemin kesme kuvveti değerlerinin genel olarak diğer iki modelin arasında kaldığı, üçüncü ve yedinci katlar arasında azda olsa perdeli sisteminkinden daha yüksek değer aldığı görülmektedir. R=7 alınan çaprazlı taşıyıcı sistemde ise tüm katlardaki kesme kuvveti değerlerinin çerçeve sistem ve perdeli sistemin arasında kaldığı görülmektedir.

### 5.7 Kolon Momentlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de C3 kolonuna ait COMB4(G+Q+EY) yüklemesi altında C3 kolonunun sırasıyla çerçeve taşıyıcı sistem-perdeli taşıyıcı sistem ve çaprazlı taşıyıcı sistem modellerinde ortaya çıkan eğilme momenti diyagramları görülmektedir.

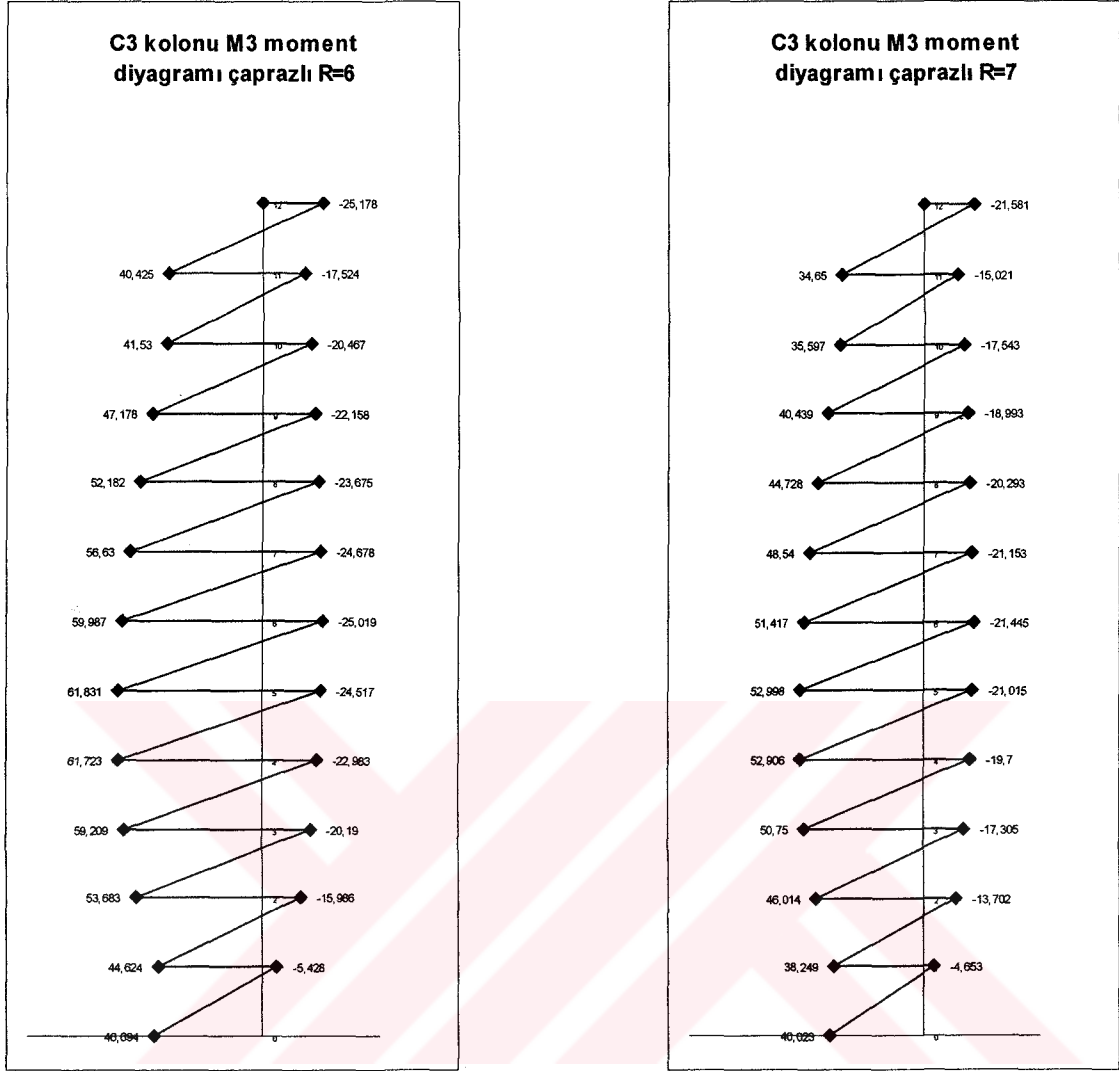
Çizelge 5.10 C3 kolonu moment değerleri

					R=6	R=7	
				çerçeve	çaprazlı	çaprazlı	perdeli
Kat	Kolon	Yükleme	Konum	M3(tm)	M3(tm)	M3(tm)	M3(tm)
12	C3	COMB4	Alt	10,96	40,425	34,65	54,938
12	C3	COMB4	Üst	-8,604	-25,18	-21,581	-33,3
11	C3	COMB4	Alt	17,061	41,53	35,597	50,885
11	C3	COMB4	Üst	-9,995	-17,52	-15,021	-19,8
10	C3	COMB4	Alt	23,527	47,178	40,439	54,382
10	C3	COMB4	Üst	-12,41	-20,47	-17,543	-22,49
9	C3	COMB4	Alt	29,299	52,182	44,728	56,947
9	C3	COMB4	Üst	-14,35	-22,16	-18,993	-23,28
8	C3	COMB4	Alt	34,453	56,63	48,54	58,998
8	C3	COMB4	Üst	-16,06	-23,68	-20,293	-23,91
7	C3	COMB4	Alt	38,946	59,987	51,417	59,948
7	C3	COMB4	Üst	-17,49	-24,68	-21,153	-24,02
6	C3	COMB4	Alt	42,759	61,831	52,998	59,361
6	C3	COMB4	Üst	-18,65	-25,02	-21,445	-23,43
5	C3	COMB4	Alt	45,875	61,723	52,906	56,794
5	C3	COMB4	Üst	-19,52	-24,52	-21,015	-21,99
4	C3	COMB4	Alt	48,319	59,209	50,75	51,821
4	C3	COMB4	Üst	-20,04	-22,98	-19,7	-19,49
3	C3	COMB4	Alt	50,194	53,683	46,014	43,911
3	C3	COMB4	Üst	-19,94	-20,19	-17,305	-15,76
2	C3	COMB4	Alt	53,267	44,624	38,249	32,377
2	C3	COMB4	Üst	-17,58	-15,99	-13,702	-10,64
1	C3	COMB4	Alt	62,386	46,694	40,023	22,287
1	C3	COMB4	Üst	-2,756	-5,428	-4,653	-2,922



Şekil 5.11 Çerçeve ve perdeli modellerdeki C3 kolonu moment grafiği





Şekil 5.12 Çaprazlı modeldeki C3 kolonu moment grafiği

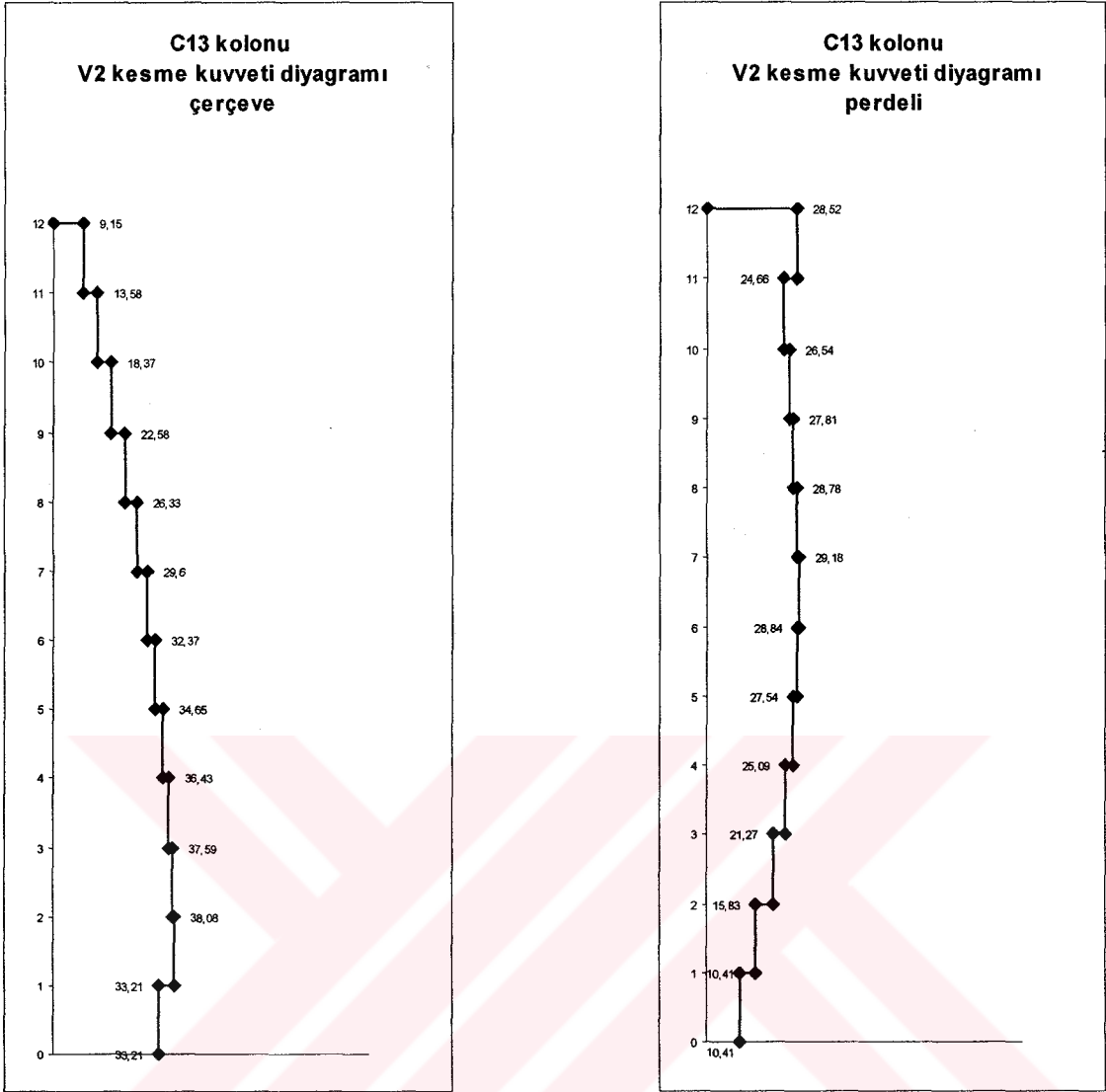
Diyagramların incelenmesinden R=6 alınan çaprazlı taşıyıcı sistemin eğilme momenti değerlerinin genel olarak diğer iki modelin arasında kaldığı, ikinci ve altıncı katlar arasında perdeli sisteminkinden azda olsa daha yüksek değer aldığı görülmektedir. R=7 alınan çaprazlı taşıyıcı sistemde ise tüm katlardaki eğilme momenti değerlerinin çerçeve sistem ve perdeli sistemin arasında kaldığı görülmektedir.

Kenar kolon olan C3 kolonuna ait kat kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinde dikkat çeken bir husus R=6 alınan çaprazlı modelde, bahsedilen ancak öngörülme; orta katlardaki değerlerin az da olsa büyük çıkmasından başka bu orta katların altındaki katlarda, çerçeve taşıyıcı sistem değerlerine daha yakın olan çaprazlı taşıyıcı sistemin kat kesme ve eğilme momenti değerleri; orta katların üstündeki katlarda perdeli taşıyıcı sisteminkine daha yakın değerler almaktadır.

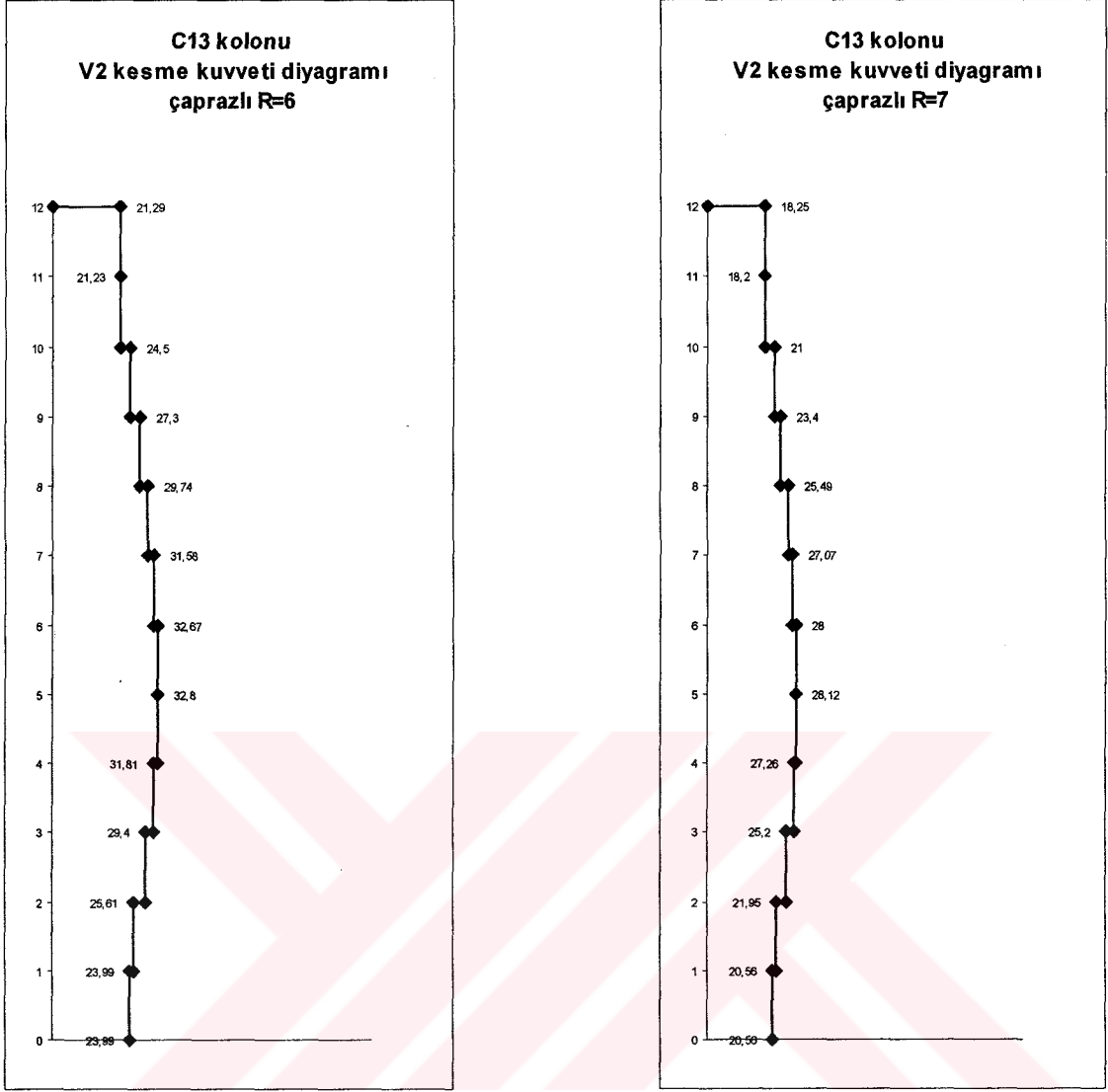
Kenar C3 kolonundan elde edilen çıkarımların orta kolon olan C13 kolonunda da görüldüğü, Şekil 5.13, Şekil 5.14, Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'daki grafiklerinin incelenmesinden anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.11 C13 kolonu kesme kuvveti değerleri

Kat	Kolon	Yükleme	Konum	çerçeve V2(t)	R=6	R=7	perdeli V2(t)
					çaprazlı V2(t)	çaprazlı V2(t)	
12	C13	COMB4	Alt	9,15	21,29	18,25	28,52
12	C13	COMB4	Üst	9,15	21,29	18,25	28,52
11	C13	COMB4	Alt	13,58	21,23	18,2	24,66
11	C13	COMB4	Üst	13,58	21,23	18,2	24,66
10	C13	COMB4	Alt	18,37	24,5	21	26,54
10	C13	COMB4	Üst	18,37	24,5	21	26,54
9	C13	COMB4	Alt	22,58	27,3	23,4	27,81
9	C13	COMB4	Üst	22,58	27,3	23,4	27,81
8	C13	COMB4	Alt	26,33	29,74	25,49	28,78
8	C13	COMB4	Üst	26,33	29,74	25,49	28,78
7	C13	COMB4	Alt	29,6	31,58	27,07	29,18
7	C13	COMB4	Üst	29,6	31,58	27,07	29,18
6	C13	COMB4	Alt	32,37	32,67	28	28,84
6	C13	COMB4	Üst	32,37	32,67	28	28,84
5	C13	COMB4	Alt	34,65	32,8	28,12	27,54
5	C13	COMB4	Üst	34,65	32,8	28,12	27,54
4	C13	COMB4	Alt	36,43	31,81	27,26	25,09
4	C13	COMB4	Üst	36,43	31,81	27,26	25,09
3	C13	COMB4	Alt	37,59	29,4	25,2	21,27
3	C13	COMB4	Üst	37,59	29,4	25,2	21,27
2	C13	COMB4	Alt	38,08	25,61	21,95	15,83
2	C13	COMB4	Üst	38,08	25,61	21,95	15,83
1	C13	COMB4	Alt	33,21	23,99	20,56	10,41
1	C13	COMB4	Üst	33,21	23,99	20,56	10,41



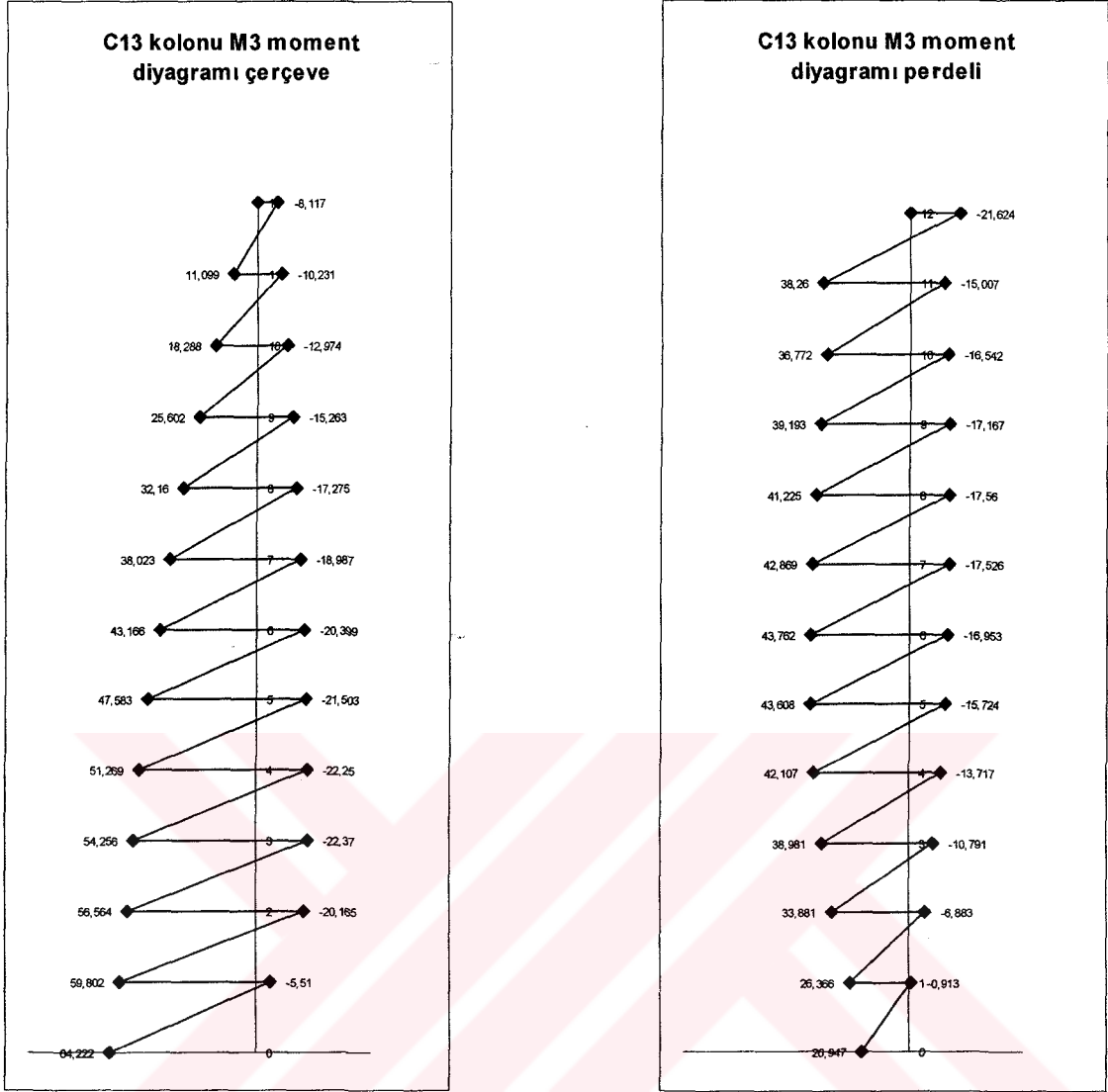
Şekil 5.13 Çerçeve ve perdeli modellerdeki C13 kolonu kesme kuvveti grafiği



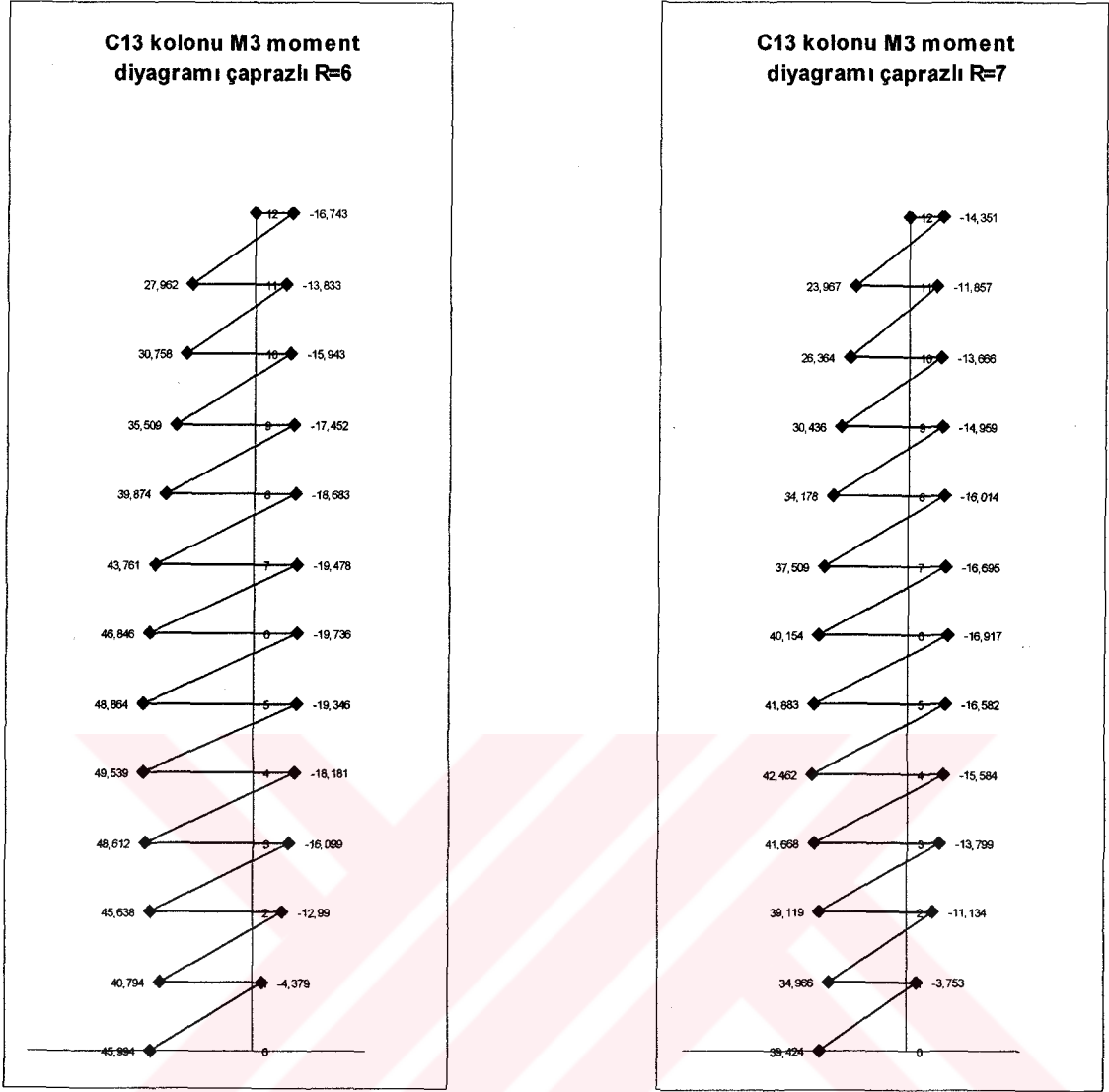
Şekil 5.14 Çaprazlı modeldeki C13 kolonu kesme kuvveti grafiği

Çizelge 5.12 C13 kolonu moment değerleri

Kat	Kolon	Yükleme	Konum	çerçeve M3(tm)	R=6		R=7
					çaprazlı M3(tm)	çaprazlı M3(tm)	perdeli M3(tm)
12	C13	COMB4	Alt	11,099	27,962	23,967	38,26
12	C13	COMB4	Üst	-8,117	-16,74	-14,351	-21,62
11	C13	COMB4	Alt	18,288	30,758	26,364	36,772
11	C13	COMB4	Üst	-10,23	-13,83	-11,857	-15,01
10	C13	COMB4	Alt	25,602	35,509	30,436	39,193
10	C13	COMB4	Üst	-12,97	-15,94	-13,666	-16,54
9	C13	COMB4	Alt	32,16	39,874	34,178	41,225
9	C13	COMB4	Üst	-15,26	-17,45	-14,959	-17,17
8	C13	COMB4	Alt	38,023	43,761	37,509	42,869
8	C13	COMB4	Üst	-17,28	-18,68	-16,014	-17,56
7	C13	COMB4	Alt	43,166	46,846	40,154	43,762
7	C13	COMB4	Üst	-18,99	-19,48	-16,695	-17,53
6	C13	COMB4	Alt	47,583	48,864	41,883	43,608
6	C13	COMB4	Üst	-20,4	-19,74	-16,917	-16,95
5	C13	COMB4	Alt	51,269	49,539	42,462	42,107
5	C13	COMB4	Üst	-21,5	-19,35	-16,582	-15,72
4	C13	COMB4	Alt	54,256	48,612	41,668	38,981
4	C13	COMB4	Üst	-22,25	-18,18	-15,584	-13,72
3	C13	COMB4	Alt	56,564	45,638	39,119	33,881
3	C13	COMB4	Üst	-22,37	-16,1	-13,799	-10,79
2	C13	COMB4	Alt	59,802	40,794	34,966	26,366
2	C13	COMB4	Üst	-20,17	-12,99	-11,134	-6,883
1	C13	COMB4	Alt	64,222	45,994	39,424	20,947
1	C13	COMB4	Üst	-5,51	-4,379	-3,753	-0,913



Şekil 5.15 Çerçeve ve perdeli modellerdeki C13 kolonu moment grafiği



Şekil 5.16 Çaprazlı modellerdeki C13 kolonu moment grafiği

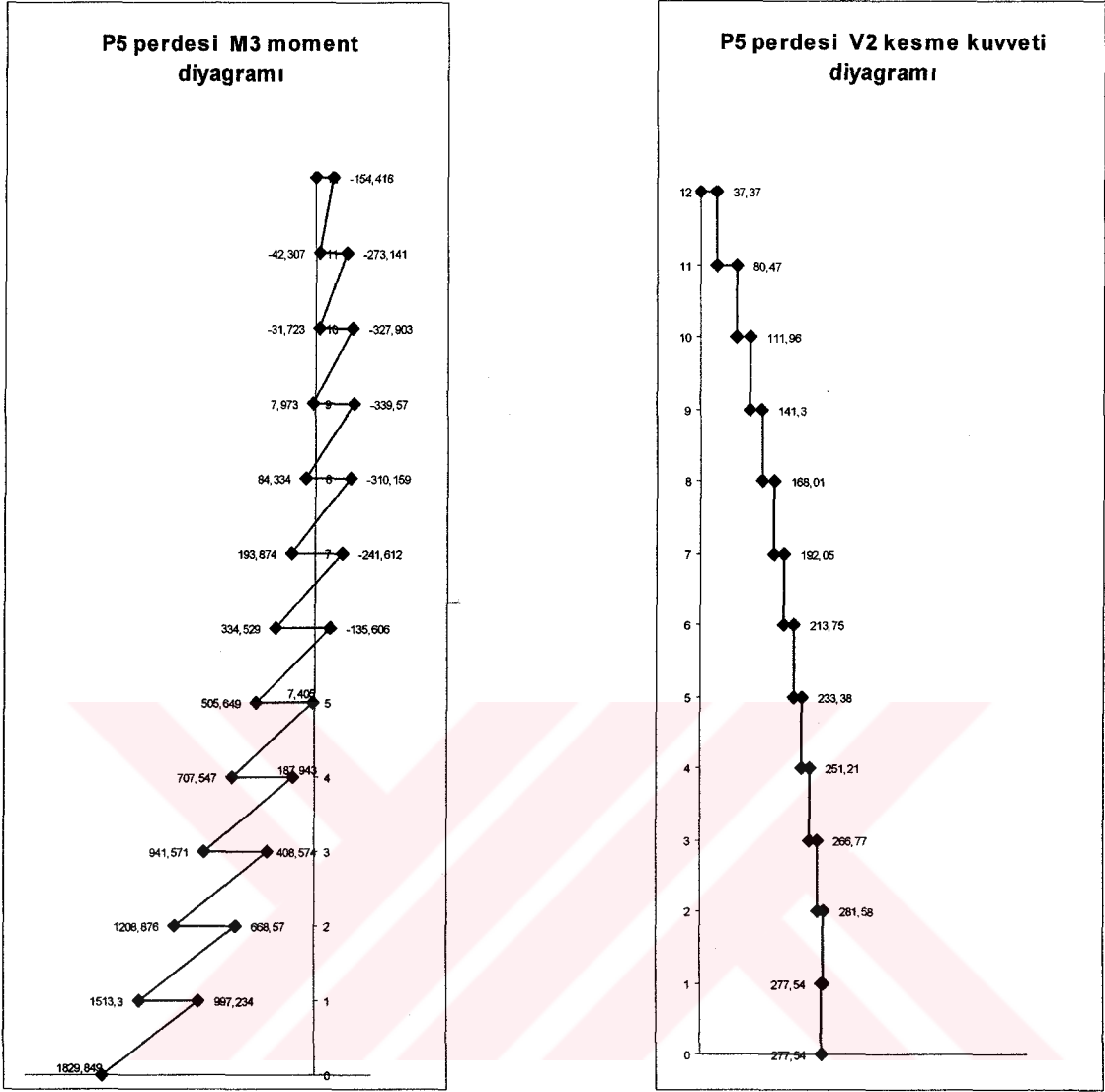
### 5.8 P5 Perdesi Kesit Tesirleri

Çizelge 5.13’de P5 perdesinin kesit tesirleri, Şekil 5.17’de ise perdeli taşıyıcı sisteme ait P5 perdesinin deprem yüklemesinden dolayı eğilme momenti ve kesme kuvveti diyagramı görülmektedir. Bilindiği ve beklendiği üzere yatay yüklemelerden dolayı perdelerin tabanında kesme kuvveti ve eğilme momenti yüksek çıkmakta, deprem etkisinin büyük bir kısmını da bu doğrultudaki perdeler almaktadır.

Çizelge 5.13 P5 perdesi kesit tesirleri

Kat	Perde	Yükleme	Konum	P	V2	V3	T	M2	M3
12	P5	COMB4	Üst	-56.71	37.37	31.24	-40.136	-52.784	-154.42
12	P5	COMB4	Alt	-74.71	37.37	31.24	-40.136	40.942	-42.307
11	P5	COMB4	Üst	-134.17	80.47	21.42	-28.89	-31.117	-273.14
11	P5	COMB4	Alt	-152.17	80.47	21.42	-28.89	33.134	-31.723
10	P5	COMB4	Üst	-206.84	111.96	22.83	-30.787	-34.55	-327.9
10	P5	COMB4	Alt	-224.84	111.96	22.83	-30.787	33.95	7.973
9	P5	COMB4	Üst	-276.66	141.3	22.03	-30.382	-33.143	-339.57
9	P5	COMB4	Alt	-294.66	141.3	22.03	-30.382	32.936	84.334
8	P5	COMB4	Üst	-343.22	168.01	21.44	-30.092	-32.352	-310.16
8	P5	COMB4	Alt	-361.22	168.01	21.44	-30.092	31.974	193.874
7	P5	COMB4	Üst	-406.4	192.05	20.61	-29.411	-31.137	-241.61
7	P5	COMB4	Alt	-424.4	192.05	20.61	-29.411	30.678	334.529
6	P5	COMB4	Üst	-465.84	213.75	19.58	-28.32	-29.651	-135.61
6	P5	COMB4	Alt	-483.84	213.75	19.58	-28.32	29.082	505.649
5	P5	COMB4	Üst	-521.06	233.38	18.31	-26.708	-27.813	7.405
5	P5	COMB4	Alt	-539.06	233.38	18.31	-26.708	27.113	707.547
4	P5	COMB4	Üst	-571.43	251.21	16.81	-24.503	-25.613	187.943
4	P5	COMB4	Alt	-589.43	251.21	16.81	-24.503	24.812	941.571
3	P5	COMB4	Üst	-616.22	266.77	14.83	-21.392	-22.83	408.574
3	P5	COMB4	Alt	-634.22	266.77	14.83	-21.392	21.648	1208.88
2	P5	COMB4	Üst	-654.41	281.58	13.45	-18.376	-20.27	668.57
2	P5	COMB4	Alt	-672.41	281.58	13.45	-18.376	20.074	1513.3
1	P5	COMB4	Üst	-686.21	277.54	6.63	-8.609	-13.252	997.234
1	P5	COMB4	Alt	-704.21	277.54	6.63	-8.609	6.626	1829.85





Şekil 5.17 Perdeli modeldeki P5 perdesi moment ve kesme kuvveti diyagramı

## 5.9 Değerlendirme ve Öneriler

Bu tez kapsamında, taşıyıcı sistemi betonarme olan geleneksel yapıların deprem etkisi altında ne çerçeve yapılar gibi yüksek deplasman yapması, ne de perdeli taşıyıcı sistemler gibi büyük kesme kuvveti ve eğilme momentine maruz kalması amaçlanmıştır.

Önerilen çaprazlı yapı tipinin hem yaşam kalitesini artırıcı ve böylelikle yapı içindeki insanları daha az korkutan hem de mühendislik olarak, taşıyıcı elemanlarının daha az zorlanacağı bir yapı olması düşünülmüştür. Bu düşünce yeni olmayıp daha önceleri Orhan PEKİN'in literatürde bahsedilen çalışmalarında, çok basit modeller üzerinde teorik çalışmalar yapılmış ve bir patent alınmıştır. Son zamanlarda SAP2000 ve ETABS gibi yapı analiz programlarının yaygın olarak kullanılması ile bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmış olup, bunlar literatürde verilmiştir. Bu tez çalışmasında ise gerçek bir yapı modeli ETABS yapı analiz programında üç boyutlu olarak ele alınmış, çerçeve, çaprazlı ve perdeli olacak şekilde hazırlanan üç model için çözümlenmeler yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi maddeler halinde gösterilebilir.

- Çaprazlı taşıyıcı sistemlerin yapı analiz hesabında herhangi bir R süneklik katsayısı önerilmediği için hem  $R=6$ , hem de  $R=7$  için iki ayrı çözüm yapılmıştır.  $R=6$  için yapılan çözümün,  $R=8$  alınarak yapılan çerçeve sisteme yakın deplasmanlar verdiği, buna karşın  $R=7$  için yapılan analizin,  $R=6$  alınarak analizi yapılan perdeli sisteme yakın deplasmanlar verdiği görülmüştür. Buna göre bu tür yapıların hesabında  $R=7$  alınması gerektiği anlaşılmaktadır.
- Her üç model için de bağımsız olan yani perde ve çapraz yapı elemanlarının eklendiği aks aralarında olmayan bir kenar(C3) ve orta kolon(C13) için yapılan kesme kuvveti ve moment kesit tesirlerinin karşılaştırılmasından, çaprazlı taşıyıcı sistemin genel olarak çerçeve ve perdeli sistem arasında kesit tesirlerine maruz kaldığı görülmüştür. Bu analiz de, hem  $R=6$ , hem  $R=7$  için yapılmış olup,  $R=6$  olması durumunda kesit tesirlerinin düzensiz olduğu, buna karşın  $R=7$  alınması durumunda çok daha düzenli değerler aldığı görülmüştür. Buradan da bu tür çaprazlı taşıyıcı sistemlerin analiz hesabında  $R=7$  alınması önerilmektedir.
- Taşıyıcı sistemlerin periyotları karşılaştırıldığında, çaprazlı taşıyıcı sistemin periyodunun çerçeve ve perdeli taşıyıcı sistemlerin arasında ve perdeli sisteme daha yakın olduğu görülmüştür. Önceki iki değerlendirmede de tavsiye edilen  $R=7$  alınması önerisi açıkça kendisini göstermektedir.

- Her üç model için de taban kesme kuvvetlerinin incelenmesinden R=6 ve R=7 için yapılan çaprazlı taşıyıcı sistem analizinden R=7 alınması durumunda çerçeve ve perdeli sistemlerin arasında kalması ve R=6'ya göre daha uygun sonuç vermesi bakımından, yine araştırma konusu çaprazlı yapılar için R=7 alınması daha uygun olacaktır.

Tüm bu sonuçlar aynı aks sistemine sahip yapının çerçeve, çaprazlı ve perdeli taşıyıcı sistemler olması durumu için yapılmış ve öngörülen sonuçlara ulaşılmıştır. Bu modellerde farklılığı göstermek bakımından betonarme perdenin teşkil edildiği aks aralıklarına çapraz yapı elemanları yerleştirilmiştir. Sonraki çalışmalarda çapraz yapı elemanlarının yapı içinde nasıl düzenlenmesi ve düzenlenmemesi gerektiği araştırılmalıdır.



**KAYNAKLAR**

- ABYYHY., (1997), “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, İMO.
- Amıl, A. P., (2003), “Betonarme Eğik Elemanların Çerçeve Rijitliğine Etkileri ve Perdelerle Karşılaştırılması”, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Arun, G., (2002), “Deprem Bölgelerinde Çelik Yapı”, Deprem Bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu, 15-16 Şubat 2002, YTÜ, İstanbul.
- Bazen, E., ve Meli, R., (1980), ‘Seismic Analysis of Structures with Masonry Walls’, 7 th WCEE, Vol. 4, İstanbul, 633-640.
- Bush, T.D., (1987), “Seismic strengthening of a reinforced concrete frame”, Ph.D. thesis, The University of Austin, 1987, Texas.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., (2000), ‘Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı’, Beta Dağıtım, İstanbul.
- Dewolf, J., ve Pellicione, J. F., (1979), ‘Cross Bracing Design’, Journal of Structures Division, Vol. 105, No St. 7, July, 1379-1391.
- Dowrick, D. J., (1987), ‘Earthquake Resistant Design’, John Wiley and Sons., Inc., New York.
- Ersoy, U., (2000), “Betonarme Binaların Onarım ve Güçlendirilmesi”, Betonarme ve Yığma Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi Semineri, 20-24 Mart 2000, ODTÜ, Ankara
- Higashi, Y., Endo, T., Kavamata, S. ve Ohnuma, M., (1981), “Experimental studies on retrofitting of reinforced concrete structural members”, Proc. 2nd Seminar on Repair and Retrofit of Structures, National Science Foundation, 1981, Ann Arbor, Michigan.
- Kara, N., Kaltakçı, Y., Akın, K., (2003), “Betonarme Çerçevelerin Deprem Güvenliğinin Çapraz Çubuklar Yardımıyla Artırılması”, Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısı II, Konya.
- Karadoğan, F., vd. (1993), ‘Deprem Perdeleri İle Güçlendirilmiş Yapılar ve Temelleri’, 2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı Bildiriler Kitabı, İstanbul, 1-9.
- Maheri, M.R. ve Sahebi A., (1997), “Use of Steel Bracing in Reinforced Concrete Frames”, Elsevier Science Ltd., 12(19):1018-1024.
- Matthevson, C. D., ve Davey, R. A., (1980), ‘Precast Concrete Braced Frames Incorporation Load- Limiting Energy Dissipation Devices in an Earthquake Resistant Building, Proc. WCEE, İstanbul.
- Pekin, O., (2000), ‘Depreme Dirençli Betonarme İnşaat Sistemleri’, Form Matbaacılık, İstanbul.
- Pubal, Z., (1988), ‘Theory and Calculation of Frames Structures With Stiffning Walls’, Publishing House of Chechoslovak Academy of Science, Prague.
- Smith, B. S., (1962), ‘Lateral Stiffness of Infilled Frames’, Journal of Structural Division, ASCE, December, 183-189.
- Sugano, S. ve Fujimura, M., (1980), “Seismic Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings”, Proc. 7th World Conf. on Earthquake Engineering, 1980, Turkey.
- Yılmaz, Ü., (1999), Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Lisans Tezi, İ.Ü.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 18.10.1979

Doğum yeri Trabzon

Lise 1993-1997 Ordu Fatih Lisesi

Lisans 1997-2001 Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak.

Yüksek Lisans 2002-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Mekanik Programı

**Çalıştığı kurum**

2003-Devam ediyor RENA İnşaat San. Tic. Ltd. Şti. Saha Mühendisi

