

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

139631

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN
DEPREM ANALİZİ

İnş. Müh. Metin KANCAN

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

139631

Tez Danışmanı : Prof. A Zafer ÖZTÜRK

Prof. Dr. Görün Akın

Prof. A. Zafer ÖZTÜRK

Prof. Zekunja Polat

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL, 2003

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET.....	x
ABSTRACT.....	xi
1. GİRİŞ.....	12
1.1 Yüksek Yapılarda Çelik Malzemenin Betonarmeye Göre Fayda Ve Mahzurları.....	12
1.2 Çok Katlı Çelik Taşıyıcı Sistemler.....	15
1.2.1 Rijit Çerçeve Yapılar.....	15
1.2.2 Düşey Kafes Kirişli Yapılar.....	17
1.2.3 Karma Sistemler.....	17
1.2.4 Düşey Yüklerin Zemine Aktarılışı.....	19
1.2.5 Döşemeler.....	21
1.3 Çok Katlı Yüksek Yapılarda Elemanlar.....	27
1.3.1 Kirişler.....	27
1.3.1.1 Kompozit Kirişler.....	29
1.3.2 Kolonlar.....	31
1.3.2.1 Kolon Kesitleri.....	31
1.3.2.2 Kolon Ayakları Ve Ankrajlar.....	31
1.3.3 Birleşimler.....	33
1.3.3.1 Kiriş-Kiriş Birleşimleri.....	33
1.3.3.2 Kolon Ekleri Ve Kolon Kiriş Birleşimleri.....	38
1.4 Yangından Korunma.....	42
1.4.1 Kolonların Korunması.....	42
1.4.2 Kirişlerin Korunması.....	44
1.5 Çok Katlı Yüksek Yapılara Etkiyen Yükler.....	45
1.5.1 Ölü Yükler.....	45
1.5.2 Hareketli Yükler.....	46
1.5.3 Kar Yükü.....	46
1.5.4 Darbe Ve Dinamik Yükler.....	46
1.5.5 Montaj Yükleri.....	46
1.5.6 Deprem Yükü.....	46
1.5.7 Rüzgar Yükü.....	47
2. DEPREM HAREKETİ.....	52

2.1	Deprem Ölçeği Ve Episantr.....	53
2.2	Deprem Spektrumu.....	54
2.3	Zemin Koşullarının Yapının Deprem Cevabına Etkisi	55
2.4	Deprem Etkisi Altında Yapı-Zemin Karşılıklı Etkisi.....	55
2.5	Yüksek Yapıların Deprem Etkisi Altında Dinamik Analizi.....	57
2.6	Deprem Standartları.....	58
3.	SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK ÇERÇEVELERİN TASARIMI.....	64
3.1	Süneklik Ve Enerji Yutma Özelliği.....	64
3.2	Plastik Mafsal	67
3.3	Sünek Kuşaklanmış Çerçeve Sistemleri.....	69
3.4	Merkezi Kuşaklanmış Çerçeve Sistemleri (MKÇ).....	70
3.4.1	Dışmerkez Kuşaklanmış Çerçeve Sistemleri (DKÇ)	73
3.4.2	Kuşatılmamış Rijit Çerçeve Sistemlerinin Deprem Davranışı.....	81
4.	ÖRNEKLER ÜZERİNDE SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	84
4.1	Taşıyıcı Sistemler	84
4.2	Taşıyıcı Eleman Tipleri	84
4.3	Dinamik Bilgiler	84
4.4	Yükler	86
4.5	Kombinasyonlar	86
4.6	Çözüm Yöntemi.....	87
5.	SONUÇLAR.....	105
	KAYNAKLAR.....	106
	ÖZGEÇMİŞ.....	107

SİMGE LİSTESİ

$V(Z)$	Ortalama rüzgar hızı
u	Rüzgar hızının dalgalanan bileşeni
F	Toplam deprem yükü veya temel seviyesindeki kesme kuvveti
f_i	i ile tanımlanan yapı seviyesine etkiyen yanal deprem kuvveti
C	Sismik temel kesme katsayısı
k	Yapının i ile tanımlanan seviyesine ait yanal sismik katsayısı
W	Binanın toplam ağırlığıdır
w_i	Binanın i ile tanımlanan katının ağırlığı
Z	Sismik bölge faktörü
I	Yapı önem katsayısı
S	Zemin katsayısıdır
K	Yapı tipi katsayısı
T_s	Karakteristik bölge periyodu
f_t	Narin yapıların en üst katına etkiyen tekil kuvvet
M	Yapı malzemesi faktörü
H	Yapı toplam yüksekliğidir
$A(T_1)$	Spektral ivme katsayısı
$R_a(T_1)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
T_1	Yapının birinci doğal titreşim periyodu
E_h	Histerik Enerji
E_d	Deprem enerjisi
E_k	Kinetik enerji
E_e	Elastik deformasyon enerjisi
η	Süneklik oranı
E	Elastisite modülü
σ_y	Akma gerilmesi
M_p	Plastik moment
W_p	Plastik kesitin mukavemet momenti
S	Statik moment
d	Kiriş gövde yüksekliği
t_w	Gövde levhası kalınlığı
φ	Güçlendirme diyagonalinin bağlantı kirişine saplanma açısı
A_0	Etkin yer ivme katsayısı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
ξ	Sönüm oranı
T_A, T_B	Spektrum karakteristik periyotları
G	Zati yük
Q	Hareketli yük
EX	X yönü deprem yükü
EY	Y yönü deprem yükü

KISALTMA LİSTESİ

DKÇ	Dışmerkez Kuşaklanmış Çerçeve Sistemi
MKÇ	Merkezi Kuşaklanmış Çerçeve Sistemi
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
SRSS	Karelerinin Toplamının Karekökü Yöntemi
CQC	Tam Karesel Yöntem



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Amerika birleşik devletleri'nde uygulanan çelik yapı sistemlerinin kat sayıları (Ersoy ve Çıtıptıoğlu, 1988)	15
Şekil 1.2	Rijit çerçeve taşıyıcı sistem	16
Şekil 1.3	Rijit çerçevelerin birbirlerine girişlerle mafsallı olarak bağlanması	16
Şekil 1.4	Düşey kafes girişli yapılar	17
Şekil 1.5	Karma taşıyıcı sistem	18
Şekil 1.6	Düşey Yüklere zemine aktarılışı (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	20
Şekil 1.7	Döşeme türleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	21
Şekil 1.8	Büyük açıklıklı bir doğrultuda girişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	22
Şekil 1.9	Küçük açıklıklı bir doğrultuda girişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	22
Şekil 1.10	İki doğrultuda girişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	23
Şekil 1.11	Üç kat girişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	24
Şekil 1.12	Girişli döşemede tesisatın yerleştirilmesi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	25
Şekil 1.13	Bölme duvarların istenilen aksa konulması için dış kolonları sık olması durumu (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	26
Şekil 1.14	Üçgen planlı yapı döşemesi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	26
Şekil 1.15	Yuvarlak yapı döşemesi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	27
Şekil 1.16	Çelik yapılarda geniş kullanım alanına sahip profil giriş tipleri	28
Şekil 1.17	Tek gövdeli kaynaklı yapma girişler	28
Şekil 1.18	Çift gövdeli kaynaklı yapma giriş	29
Şekil 1.19	Kompozit girişlerde kullanılan çelik enkesitlerden bazıları (Arda ve Yardımcı, 2000)	29
Şekil 1.20	Kompozit girişlerde doğrudan dökülen ve hazır betonarme plaklar (Arda ve Yardımcı, 2000)	30
Şekil 1.21	Kolon kesitleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	31
Şekil 1.22	Kolon ayakları (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	32
Şekil 1.23	Kolon ankraj tipleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	33
Şekil 1.24	Tesisat geçirilmesi için berkitmeli giriş (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	34
Şekil 1.25	Kesme kuvveti aktaran girişlerin birleşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	35
Şekil 1.26	Kesme kuvveti ve mesnet momenti aktaran girişlerin birleşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	36
Şekil 1.27	Döşeme girişlerinin kat girişlerine bağlanması (Karaduman, 1999)	37
Şekil 1.28	Döşeme girişlerinin kat girişlerine gövdeden bağlanması (Karaduman, 1999) ..	37
Şekil 1.29	Kolonların kaynak ve bulonlu birleşimleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	39
Şekil 1.30	Kat girişinin sürekli olduğu durumdaki kolon birleşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	39
Şekil 1.31	Birleşimlerde kuvvet aktarma durumu (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	39
Şekil 1.32	Kesme kuvveti aktaran giriş birleşimleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	40
Şekil 1.33	Kesme kuvveti ve moment aktaran kolon birleşimleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	41
Şekil 1.34	Kolonları yangına karşı kaplanması (Tarhan, 2002)	43
Şekil 1.35	Kolonların su dolanımı ile yangından korunması (Tarhan, 2002)	44
Şekil 1.36	Girişteki yalıtım uygulamaları (Tarhan, 2002)	44
Şekil 1.37	Pürüzlü bölgede oluşan türbülans (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	48
Şekil 1.38	Üç değişik yükseklik için rüzgar hızı kaydı (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	49
Şekil 1.39	Çeşitli pürüzlülükteki yüzeylerde ortalama rüzgar hızı profili (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	50
Şekil 1.40	Rüzgara dik cephe (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	51
Şekil 2.1	Deprem kayıtları (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	53

Şekil 2.2	Hız spektrumu, El Centro, California, 18 Mayıs 1940, NS bileşeni (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	54
Şekil 2.3	İvme spektrumu, El Centro, California, 18 Mayıs 1940, NS bileşeni (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	54
Şekil 2.4	Zemin tabakasını analitik modeli (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)	56
Şekil 2.5	Zemin-yapı karşılıklı etkileşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002).....	57
Şekil 3.1	Çelik malzemede yükleme boşalma davranış eğrileri (Uzgider vd., 2002)	66
Şekil 3.2	Plastik mafsal oluşumu (Uzgider vd., 2002).....	69
Şekil 3.3	Merkezi kuşaklanmış çerçeveler (MKÇ) (Uzgider vd., 2002).....	70
Şekil 3.4	MKÇ' in inelastik çevrimsel davranışı (Uzgider vd., 2002).....	71
Şekil 3.5	MKÇ' de narinliğin küçük olduğu inelastik davranışı (Uzgider vd., 2002)	72
Şekil 3.6	MKÇ' de narinliğin büyük olduğu inelastik davranışı (Uzgider vd., 2002)	72
Şekil 3.7	Dışmerkez kuşaklanmış çerçeveler (DKÇ) (Uzgider vd., 2002)	73
Şekil 3.8	DKÇ' de bağlantı kirişleri'nin gövde takviye levhaları(GT) (Uzgider vd., 2002) .	77
Şekil 3.9	DKÇ ve kuşatılmamış çerçevelerin elastik olmayan davranışı (Uzgider vd., 2002)	78
Şekil 3.10	e/L Oranına göre çerçeve rijitlikleri (Uzgider vd., 2002)	78
Şekil 3.11	DKÇ' de kısa bağlantı kirişlerinin plastik mafsal dönmeleri (Uzgider vd., 2002) .	79
Şekil 3.12	DKÇ' de tekrarlı yükler etkisinde berkitmeli ve berkitmesiz bağlantı kirişlerinin yanal rijitlikleri (Uzgider vd., 2002).....	79
Şekil 3.13	DKÇ' de berkitilmiş bağlantı kirişi (Uzgider vd., 2002)	80
Şekil 3.14	DKÇ' berkitilmiş kolonla birleşen bağlantı kirişi (Uzgider vd., 2002)	80
Şekil 3.15	DKÇ' de gövde takviye levhalarının narinliklerine göre deplasmanlar (Uzgider vd., 2002).....	81
Şekil 3.16	Süneklilik düzeyi yüksek güçlendirilmemiş rijit çerçeveler (Uzgider vd., 2002)...	82
Şekil 3.17	Plastik mafsalların kirişlerde ve kolonda oluşması durumu (Uzgider vd., 2002)...	83
Şekil 4.1	Spektrum eğrisi	85
Şekil 4.2	Sistemlerin kalıp planı	89
Şekil 4.3	Sistem 1	90
Şekil 4.4	Sistem 2.....	91
Şekil 4.5	Sistem 3.....	92
Şekil 4.6	Sistem 4.....	93
Şekil 4.7	Sistem 5.....	94
Şekil 4.8	Sistem 6.....	95
Şekil 4.9	Sistem 7.....	96
Şekil 4.10	Sistem 8.....	97
Şekil 4.11	Taşıyıcı sistem üç boyutlu görünüşü 1	98
Şekil 4.12	Taşıyıcı sistemin üç boyutlu görünüşü 2.....	99
Şekil 4.13	Üçüncü mod şekli.....	100
Şekil 4.14	Dördüncü mod şekli	101
Şekil 4.15	Beşinci mod şekli	102
Şekil 4.17	Aynı deprem ve temel zemini koşullarında örnek sistemlerin dinamik tepkileri ..	104

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 Cb sabiti	76
Çizelge 4.1 Spektral spektrum değerleri	85
Çizelge 4.2 Modal kütle katılım oranları.....	103



ÖNSÖZ

Ülkemizin büyük bir bölümü etkin deprem kuşağında yer almaktadır. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999'da Marmara bölgesini etkileyen depremler ülkemizdeki deprem gerçeğini yeniden gündeme getirmiştir. Depremi yol açtığı ağır hasar ve yıkımlar çelik binaların gündeme gelmesini sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında çok katlı çelik yapı sistemlerinin deprem etkisi altında davranışları incelenmiştir.

Bu çalışmada bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen hocam ve tez danışmanım sayın Prof. A.Zafer Öztürk'e, SAP2000 yapı analizi programında yardımcı olan sayın Öğr.Gör.Dr. Bilge Doran'a, tezin yayına hazırlanmasında yardımcı olan sayın İnş. Müh. Tuna Çiçek'e ve yüksek lisans eğitimim süresince bana sabır gösteren aileme katkı ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

İnş. Müh. Metin KANCAN

İstanbul, Aralık 2003



ÖZET

Bu çalışmada çok katlı çelik yapıların deprem durumunda dinamik tepkileri incelenmektedir. Aynı kat planlarına sahip üç boyutlu sekiz sistem ele alınmıştır. Bu sistemlerin her birinde farklı düşey kuşaklama elemanları kullanılmıştır. Sistemlerde üç boyutlu dinamik analiz yapılmıştır.

Sekiz sistem kendi aralarında Dışmerkez Kuşaklanmış Çerçeve (DKÇ) ve Merkezi Kuşaklanmış Çerçeve (MKÇ) sistemler olarak iki grup altında incelenmişlerdir. Deprem kuvveti etkisinde taşıyıcı sistemlerin seçimine etki eden faktörler ele alınmış ve çok katlı çelik yapılardaki döşeme sistemleri, kirişler, kolonlar, birleşimler, yangından korunma, rüzgar yükü, deprem hareketi konuları incelenmiştir.

Sistemlerin çözümünde SAP2000 yapı analizi programı; dinamik yöntem olarak spektral analiz (mod birleştirme yöntemi) kullanılmıştır. Dinamik analizde beş modun dikkate alınması yeterli katılımı sağlamıştır. Örneklerin lineer-elastik koşullarda ve aynı azalım ilişkileri varsayımı altında dinamik tepkileri (taban kesme kuvvetleri) karşılaştırılmış; dışmerkez kuşaklamanın daha düşük tepki verdiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler:Çok katlı çelik yapılar, dinamik analiz, kuşaklı çerçevesel çelik sistemler, deprem etkileri, merkezi kuşaklı sistemler, dışmerkez kuşaklı sistemler.

ABSTRACT

In present study, the dynamic behavior of some chosen multi-story buildings have been studied. Eight systems of similar deck plan have been considered. Different vertical bracing members have been used in each of these systems. Three dimensional dynamic analysis has been performed.

Eccentric and concentric bracing cases have been comparatively investigated. Affecting parameters in designing the structural systems and systems components like deck type, beams, columns, joints and fire strength, have also been studied under lateral loads due to the wind pressures and earthquake effects.

The SAP2000 structural analysis program and spectral analysis procedure have been used. Considering the first five modes has provided enough participation. According to the provided dynamic magnitudes of base shear forces some comments are made on advantages of eccentrically braced systems.

Keywords: Multi storey steel structures, dynamic analysis, strengthened systems, earthquake effects, concentrically braced frame systems, eccentrically braced frame systems.



1. GİRİŞ

1.1 Yüksek Yapılarda Çelik Malzemenin Betonarmeye Göre Fayda Ve Mahzurları

Yüksek yapılarda ekonomik çözüm,yapı malzemesi olarak bazı hallerde çeliğin, bazı hallerde ise betonarmenin seçimiyle mümkün olabilir. Bu nedenle, önce yapı betonarme ve çelik olarak ön projelendirilip, bütün proje ve finans koşulları ile yapı fonksiyonu da göz önünde tutularak her iki hal için kapsamlı bir maliyet analizi yapılmalı ve alınan sonuca göre karar verilmelidir. Öte yandan çok sayıda yüksek yapının gerçekleştirildiği ABD'de, özellikle New York eyaletinde çok sayıda betonarme yüksek yapı projelendirilmiş olan Irwin Condor firması ile yine çok sayıda çelik yüksek yapı gerçekleştirmiş olan James R.Ruderman gibi firmaların sorumlularının elde ettikleri tecrübe birikimlerine dayanarak "ASCE Civil Engineering" isimli derginin Ocak 1983 sayısında yayınlanan bir yazıda, yüksek yapıda yapı malzemesi olarak çeliğin veya betonarmenin birbirlerine göre avantajlı veya dezavantajlı yanları özetle şöyle sıralanmıştır:

- 1) Otopark, otel ve konut fonksiyonundaki çok katlı yapılarda daha ziyade betonarme tercih edilmektedir. Bunun nedeni; bu tür yapılarda betonarme döşemenin alt yüzü alt katın tavanı olarak kullanılabilmekte, böylece bir asma tavan sistemi gerekmemektedir. Çünkü bu tür yapılarda, işyeri fonksiyonundaki çok katlı yapılarda olduğu gibi döşeme altına yerleştirilmesi gereken tesisat kanallarına, havalandırma veya ısıtma kanallarına ihtiyaç yoktur. Halbuki, eğer otel veya konut fonksiyonundaki çok katlı yapılar çelik konstrüksiyon olarak imâl edilirse, projeci sadece çelik kirişleri saklamak amacıyla asma tavan kullanma mecburiyetinde kalacaktır. Öte yandan, çelik yüksek yapının yangına karşı korunması için alınması gereken tedbirler, betonarmeye göre daha pahalıdır. Örneğin; ABD koşullarında, çelik elemanları asbest esaslı maddelerle spreylilikle korumanın maliyeti kat alanının metrekaresi için 18 ABD dolardır.
- 2) Yüksek çok katlı yapıların gerçekleştirilmesi hava ve şantiye koşullarından etkilenmediği için montajları betonarme olanlara nazaran çok daha çabuk olur. İmalât daha ziyade atölye koşullarında gerçekleştiği için kötü hava koşullarından hem zamanlama ve hem de kalite açısından etkilenmez. Yapının süratle tamamlanıp kullanılabilir hale gelmesi de özellikle faiz oranlarının yüksek olduğu hallerde toplam proje maliyetini etkileyen bir faktördür.
- 3) Bazen, çok katlı yüksek yapıların projelendirilmesinde, yapı ağırlığını minimize etmek için betonarme yerine çelik tercih edilir. Bu durum, zemin koşullarının zayıf olduğu ve bu nedenle de pahalı ve özel temel sistemlerinin gerektiği hallerde ortaya çıkar. Böyle hallerde üst yapı ağırlığını mümkün olduğu kadar düşük tutmak, temel sisteminin maliyetinde önemli oranda azalma meydana getirir. Ayrıca yapı ağırlığı arttıkça, depremden etkilenmenin de artacağı unutulmamalıdır.
- 4) Bazı hallerde çok katlı yüksek yapılarda betonarmenin tercih edilmesinin bir nedeni de, yapı yüksekliğinin, aynı kat sayısındaki çelik yapıya göre daha az olabilmesi; bu nedenle de yapı malzemesinden tasarruf edilebilmesidir.
- 5) Birçok açıdan iş merkezi fonksiyonundaki çok katlı yapılar çelik malzemeyle imâl

edilmelidir. Bunun nedeni aşağıdaki maddelerde sıralanmıştır :

- Çelik yapı elemanları kullanıldığında betonarmeye göre kolon kesitleri önemli oranda küçülmekte ve bir kattaki kullanılabilir alan miktarını arttırmaktadır.
 - Çelik çerçeve sistemi ile birlikte kullanılan döşeme sistemlerinin asma tavan sistemi ile arasında kalan boşluktan, tüm yapı için gerekli tesisatın, havalandırma ve ısıtma kanallarının geçirilmesi mümkündür. Betonarme kullanılması halinde, bütün bu tesisat kanallarının betonarme döşeme üzerine yerleştirilmesi ve üzerlerine uygun kalınlıkta bir beton tabakası dökülmesi gerekmektedir. Bu ise pahalı ve esnek olmayan bir çözümdür. Halbuki çelik kullanılması halinde yukarıda açıklanan çözümde mevcut tesisatta değişen ihtiyaçlar karşısında gerekli tadilatı, yapmak oldukça kolaydır.
 - Çelik çok katlı yapılarda değişen ihtiyaçları karşılamak amacı ile değişiklik yapmak, ana taşıyıcı sistemin veya döşeme sisteminin yük taşıma kapasitesini arttırmak veya bir merdiven ilavesi için mevcut döşemelerde delik açmak gibi tadilatlar hem ucuz ve hem de kolay olarak gerçekleştirilebilir.
 - Çelik çok katlı yapıların projelendirilmesinde, betonarme kullanılması halinde gerçekleştirilmesi mümkün olmayan kolon aralıkları kullanmak mümkündür.
 - Çelik malzemenin yüksek duktilite özelliği, deprem etkisi halinde yapıya giren enerjinin oluşan plastik mafsallardaki plastik deformasyonlarla yutulması nedeniyle yapının depremden betonarme yapıya oranla daha az etkilenmesine neden olur.
 - Çelik yapı elemanlarının imal yöntemlerinin daha hassas olması, örneğin mm mertebesinde ölçülendirilmesi, imal koşullarının, şantiye koşullarına oranla çok daha müsait olması nedeni ile ortaya çıkan yapı kalitesinin kontrolü betonarme yapıya oranla oldukça kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle de, projelendirme sırasında Öngörülen, yapı kalitesinin yapı üzerinde gerçekleştirilebilme şansı oldukça yüksektir. Bu ise, ortaya çıkan yapının Ömrü, projenin toplam maliyeti ve yapının hizmet verebilme kabiliyeti açısından oldukça önemli bir husustur.
 - Projelendirilmiş çelik çok katlı yüksek yapının imalatı ve montajı, yani gerçekleştirilmesi, betonarme olana oranla, hava ve şantiye koşullarından çok az etkilenmektedir. Bu ise yapının planlandığı süre içinde montaj edilebilme şansını arttırmakta ve böylece toplam proje maliyetini pozitif yönde etkilemektedir.
- 6) Yaklaşık 15 yıl önce, ABD de projelendirilen çok katlı iş merkezi niteliğindeki yüksek yapıların hemen hepsinde çelik malzeme tercih edilmiştir. Çünkü, betonarme tercih edilmesi halinde ortaya çıkan büyük, kolon kesitleri kullanılabilir hacmi azaltmakta, hacim planlamasını çok güç hale getirmektedir. Ayrıca, yapı ağırlığının artması temel sisteminin

maliyetini olumsuz etkilediği gibi,yapının deprem riskini arttırmaktaydı. Halbuki birkaç yıl öncesinden beri ABD de kullanılmaya başlayan yüksek mukavemetli beton ve süper plastikleştiriciler sayesinde bu mahzur kısmen de olsa ortadan kalkmış ve bu tür yapılarda betonarme yapı malzemesi belirli oranda artmıştır. Örneğin artık ABD 'de projelendirilen çok katlı iş merkezlerinin %25 inde yapı malzemesi olarak betonarme tercih edilmeye başlanmıştır. Yaklaşık 550 kg/cm^2 mukavemetindeki bu betonun İmalinde su/çimento oranı minimum tutulmakta ve bu şekilde mukavemet arttırılmaktadır. Fakat bu sefer betonun akışkanlığı çok azaldığından işçilik zorlaşmaktadır, işte bu nedenle beton karışımında süper plastikleştiriciler kullanılmaktadır. Süper plastikleştiriciler aslında, su/çimento oranı düşük betona akışkanlık kazandıran bir kimyasal birleşimdir. Süper plastikleştiriciler sayesinde yüksek mukavemetli beton imâli; betonarmenin yüksek yapıda kullanılabilme sınırlarını genişletmiş görünmektedir. Örneğin,ilk yapıldığında dünyanın en yüksek betonarme yapısı olarak nitelendirilen New York'taki 58 katlı 196 m yükseklikli Trump Tower'da süper plastikleştiriciler kullanılmıştır. Kolonların imalinde 28 günlük mukavemeti 550 kg/cm^2 olan, perde elemanlarda ise 28 günlük mukavemeti 410 kg/cm^2 olan yüksek mukavemetli beton kullanılmıştır. Bir başka örnek ise,gerçekleştirildiğinde, dünyanın en yüksek betonarme çok katlı yapısı unvanını alacak olan ve 1990 yılının ocak ayında bitirilmesi planlanan 70 katlı ve toplam 295 m yüksekliğindeki betonarme yapıdır. Bu yapıda da süper plastikleştiriciler kullanılmıştır. Öte yandan, son iki Örnekte olduğu gibi, 50 katı geçen yüksek yapı uygulamasında betonarmenin tercihi ABD'nin deprem yönünden aktif olmayan bölgelerinde olmuştur.

- 7) Çok katlı yüksek yapı konusunda betonarme malzemenin çelik malzemeye karşı en önemli dezavantajlarından biri olan düşük süneklik özelliği ve yapıya kazandırdığı büyük kütle nedeniyle, sismik yönden aktif bölgelerde bu malzemenin yüksek yapı imalatında tercih edilmemesine neden olmaktadır. Ancak "ASCE Çivil Engineering" isimli derginin Temmuz 1983 sayısında Craig G.Huntington ve Y.C. Yang tarafından yayınlanmış bir yazıda son yıllarda, düktil betonarme çerçeveler konusunda yapılmakta olan araştırmalar,kolon ve kiriş donatısının yeteri kadar arttırılarak düktillik özelliğinin arttırılabileceğini göstermiştir. Fakat, bu durumda da, kolon ve kirişlerin birleşim yerlerinde aşırı donatının varlığı önemli imalat problemleri yaratmakta, betonarme malzeme maliyetini, çeliğinkine yaklaşımaktadır. Ayrıca, yüksek mukavemetli beton elde etmek için kullanılan süper plastikleştiriciler, beton maliyetini %6 ila %8 oranında arttırmaktadır.
- 8) "ASCE Civil Engineering" isimli derginin Ocak 1986 sayısında Virginia Fairweather tarafından yayınlanmış bir yazıda 1985'de oluşan Mexico City depreminde 107 betonarme yapıda göçme, 36 betonarme yapıda ise önemli hasar meydana gelmiş olmasına mukabil, sadece 9 çelik yapıda göçme olurken, birinde önemli tahribat olduğu belirtilmiştir. Prof.Dr.Emilio Rosenblueth tarafından yayınlanmış diğer bir yazıda Mexico City depreminin bir değerlendirilmesi yapılarak, sonucun, çelik taşıyıcı sistemlerin sismik olarak aktif bölgelerde betonarme olanlara nazaran üstünlüğünün tartışılmaz olduğu belirtilmiştir.

Bütün bunlardan şu sonuca ulaşmak mümkündür. Çok katlı yüksek yapılarda; yapının inşa edileceği bölgenin deprem açısından aktif olup olmadığına, yapı fonksiyonuna (konut, otel veya iş merkezi), inşa edileceği ülkenin yapı teknolojisinin seviyesine, işçilik ücretlerine bağlı olarak, bazen çelik malzeme betonarmeye, bazen de betonarme çelik malzemeye üstünlük sağlamaktadır. Deprem açısından aktif bölgelerde çeliğin betonarmeye karşı üstünlüğü

tartışılmaz seviyede iken; 50 katın üstündeki yapılarda çok önemli olan rüzgarın dinamik etkisi, betonarme yapıya oranla daha hafif ve deformasyon kabiliyetinin daha yüksek olması nedeniyle, çelik yapıda çok daha fazla sorun yaratmaktadır.

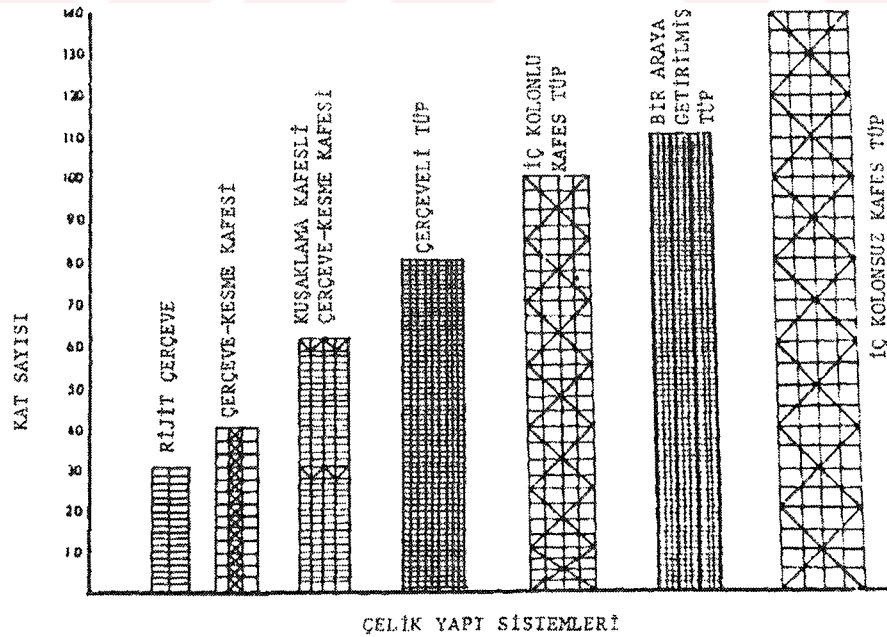
1.2 Çok Katlı Çelik Taşıyıcı Sistemler

Yüksek yapı olarak tanımlanabilecek kat sayıları fazla çelik yapılarda , mekanik teçhizat ve ekipmanların sistem içerisindeki konumları yapının taşıyıcı sisteminin seçiminde önemli bir faktör olmaktadır. Bu tip yapılarda, rüzgar ve deprem gibi yatay etkiler de en az düşey yükler kadar etkili olabilmektedir. Bu nedenle yapının yatay yüklere karşı davranışı yapının kullanım fonksiyonunu kısıtlaması açısından önem kazanmakta ve yapının taşıyıcı sisteminin seçiminde önemli bir diğer faktörü oluşturmaktadır .

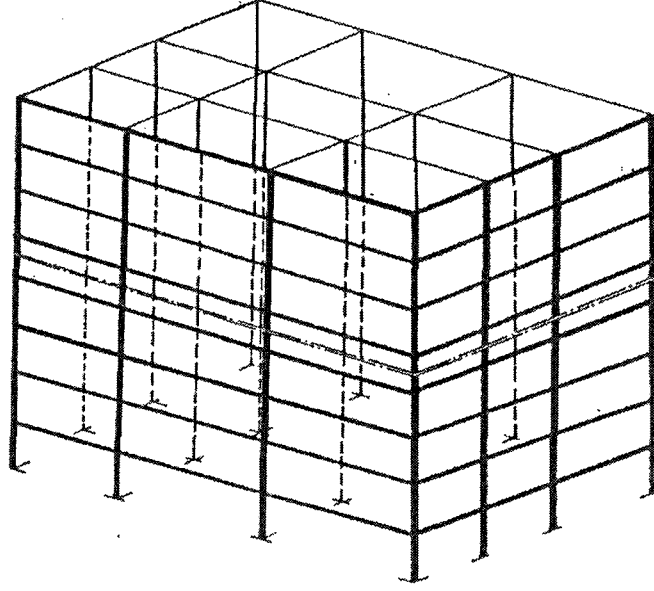
Aşağıda çok katlı çelik sanayi yapılarında kullanılan tipik taşıyıcı sistemler açıklanmaktadır.

1.2.1 Rijit Çerçevesel Yapılar

Bu tür yapılarda bütün kolon ve kirişler birbirlerine rijit olarak bağlanmışlardır. Şekil 1.1' de görülen rijit çerçevesel sistemde, düşey yükler döşeme kaplaması vasıtasıyla döşeme kirişlerine, döşeme kirişlerinden de kat kirişlerine ve oradan da kolonlara intikal ederek temele aktarılır. Yatay yükler ise bütün rijit çerçeveler tarafından karşılanır. Bu tür rijit çerçevesel sistemlerde kolonlar, temele mafsallı veya ankastre olarak bağlanabilir.

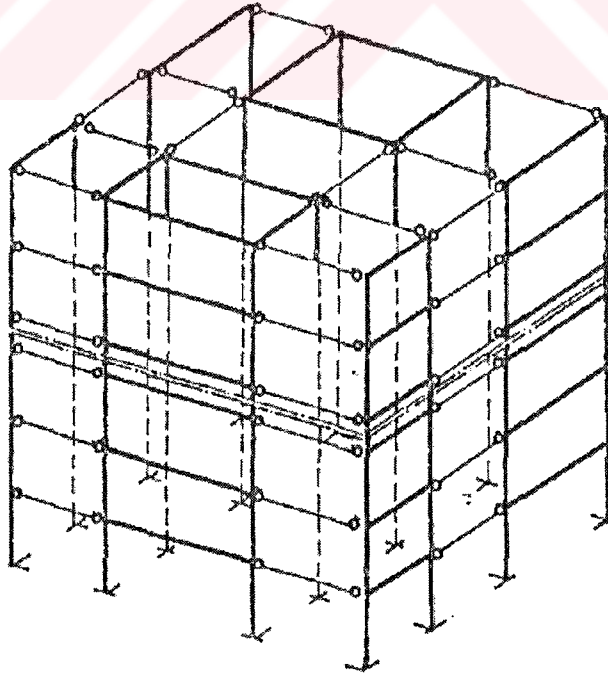


Şekil 1.1 Amerika Birleşik Devletleri'nde uygulanan çelik yapı sistemlerinin kat sayıları (Ersoy ve Çitipitioğlu, 1988)



Şekil 1.2 Rijit çerçevesel taşıyıcı sistem

Diğer bir rijit çerçevesel yapı teşkili ise, enine ve boyuna doğrultudaki rijit çerçevelerin birbirlerine kirişlerle mafsallı olarak bağlanmasıyla elde edilir. Şekil 1.3" de görüldüğü gibi her iki yöndeki rijit çerçeveler birbirlerine kirişlerle mafsallı olarak bağlanmıştır .

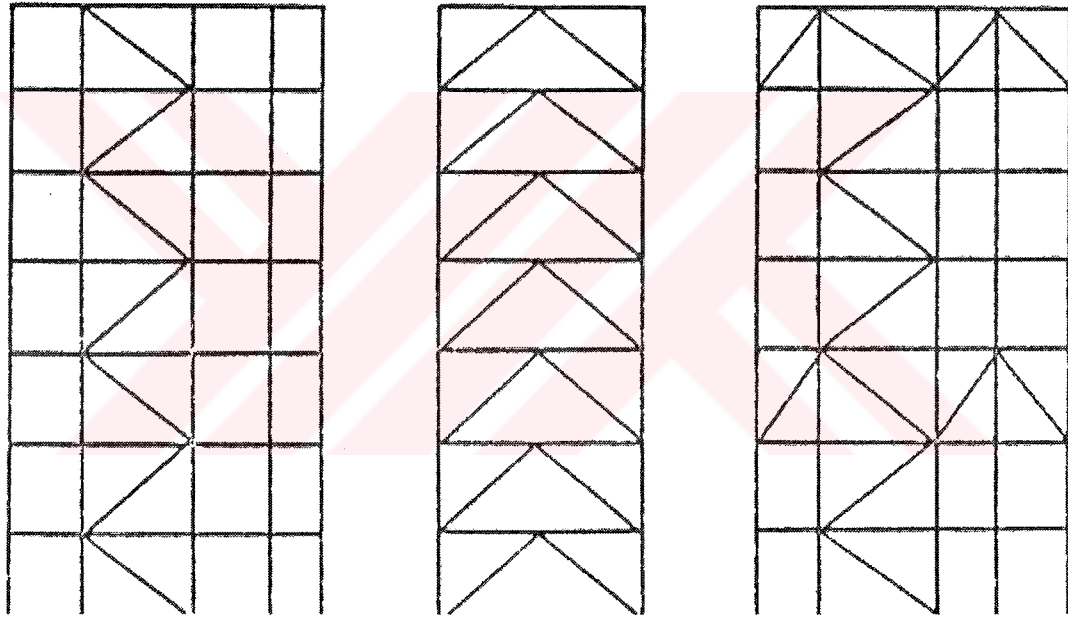


Şekil 1.3 Rijit çerçevelerin birbirlerine kirişlerle mafsallı olarak bağlanması

1.2.2 Düşey Kafes Kirişli Yapılar

Çok katlı çelik yapılarda, yapının yatay yüklere karşı rijitliğini artırmak için düşey kafes kirişler teşkil edilebilir. Düşey kafes kirişler statik bakımından zemine ankastre kiriş gibidirler.

Dar kafes kirişlerde çubuk kuvvetleri ve deformasyonlar büyük olur. Geniş kafes kirişlerde ise çubuk kuvvetleri küçük olup, ekonomik olarak boyutlandırılmaları mümkün olur. Şekil 1.3'de görüldüğü gibi dar kafes kirişlerin rijitliklerini artırmak için, belli katlarda diyagonal bağlantılar kat genişliğince uzatılır. Ayrıca rijitliğin sadece üst kata konan yatay bir kafes kirişle artırılması da mümkündür. Yüksek yapıların yatay yüklere karşı rijitliğini artırmak için kullanılan kafes kirişlerin rijitliği, kafes kirişi oluşturan çubukların eğilme rijitlikli seçilmesiyle de artırılabilir. Bu tür teşkillerde düğüm noktaları rijit olarak düzenlenir.



Şekil 1.4 Düşey kafes kirişli yapılar

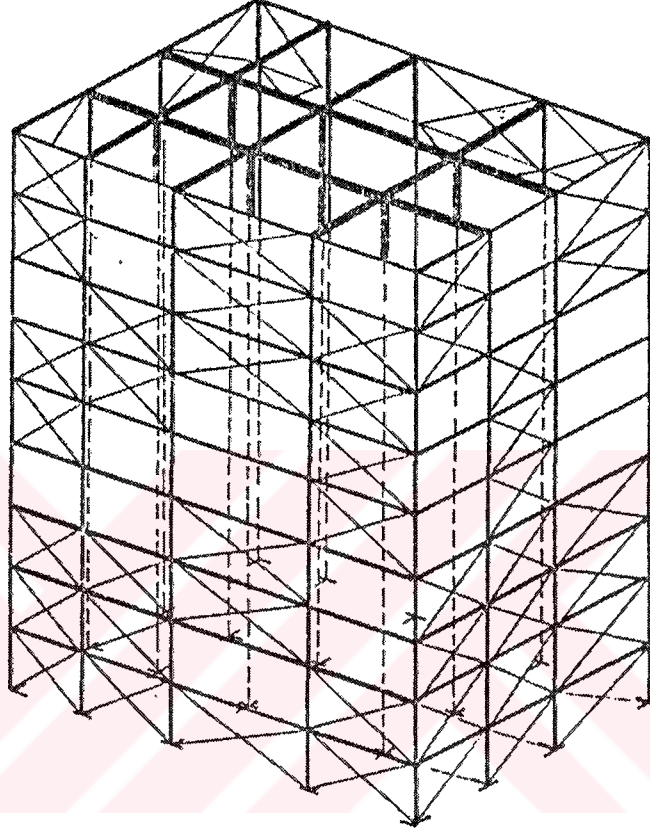
Çok katlı çelik sanayi yapılarında taşıyıcı sistem seçiminde konstrüktif sınırlamalar müsaade ettikçe, her aks düzleminde düşey kafes kiriş tertibine gidilerek, kolon kiriş birleşimleri sadece aksel ve kesme kuvveti aktaracak şekilde dizayn edilebilirler. Bu tip taşıyıcı sistemlerde yapıya gelen tüm yatay yükler o düzlemdeki kafes kirişlerle taşınır.

1.2.3 Karma Sistemler

Konstrüktif nedenlerle yapının her aks düzleminde düşey kafes kirişler oluşturulamıyorsa, rijit çerçevelerden de yararlanır. Şekil 1.4' de düşey kafes kirişlerden ve rijit çerçevelerden teşkil

edilmiş bir karma taşıyıcı sistem görülmektedir. Bu tür sistemlerde yatay yükler düşey kafes kiriş ve rijit çerçeveler tarafından karşılanmaktadır.

Çok katlı çelik yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemlerden rijit çerçeveli sistemler, basit karkas yapılarıyla konstrüktif sınırlamalara daha iyi cevap verebilmekte, özellikle iç aks



Şekil 1.5 Karma taşıyıcı sistem

düzlemlerinde makine teçhizat ve ekipmanların geçişlerine engel teşkil etmemektedir. Bu avantajının yanında yatay yükler rijit çerçeveler tarafından alındığı için, özellikle kolonlarda kesit tesirleri büyük mertebelerde olmakta ve büyük kesitlere gidilmektedir. Bu da ekonomik olmayan çözümlere yol açmaktadır.

Düşey kafes kirişli yapılarda düşey kafes kirişler, uygun aks düzlemlerinde konstrüktif sınırlamalar göz önüne alınarak teşkil edilirler. Diyagonal çubuklar sadece eksene çekme kuvvetine göre boyutlandırılacakları gibi, enkesitler burkulma rijitlikli seçilerek basınca görede boyutlandırılabilir. Kolonlara, gelen tesirler daha küçük mertebeli oldukları için, rijit çerçeveli sistemlere göre daha ekonomik olurlar.

Kat sayısının az olduğu durumlarda rijit çerçevelerin birbirlerine kirişlerle mafsallı olarak

bağlanmasıyla elde edilen taşıyıcı sistemler, toplam yapı ağırlığı az olduğu için yatay yük tesirlerinin azalmasıyla ekonomik olarak boyutlandırılabilirler. Atölyelerde teşkil edilen rijit çerçevelerin, şantiyelerde birbirlerine kirişlerle mafsallı olarak bağlanması montaj kolaylığını sağlar . Bu tür sistemlerde yapının yatay rijitliğini artırmak için, düşey kafes kirişlerden de yararlanır.

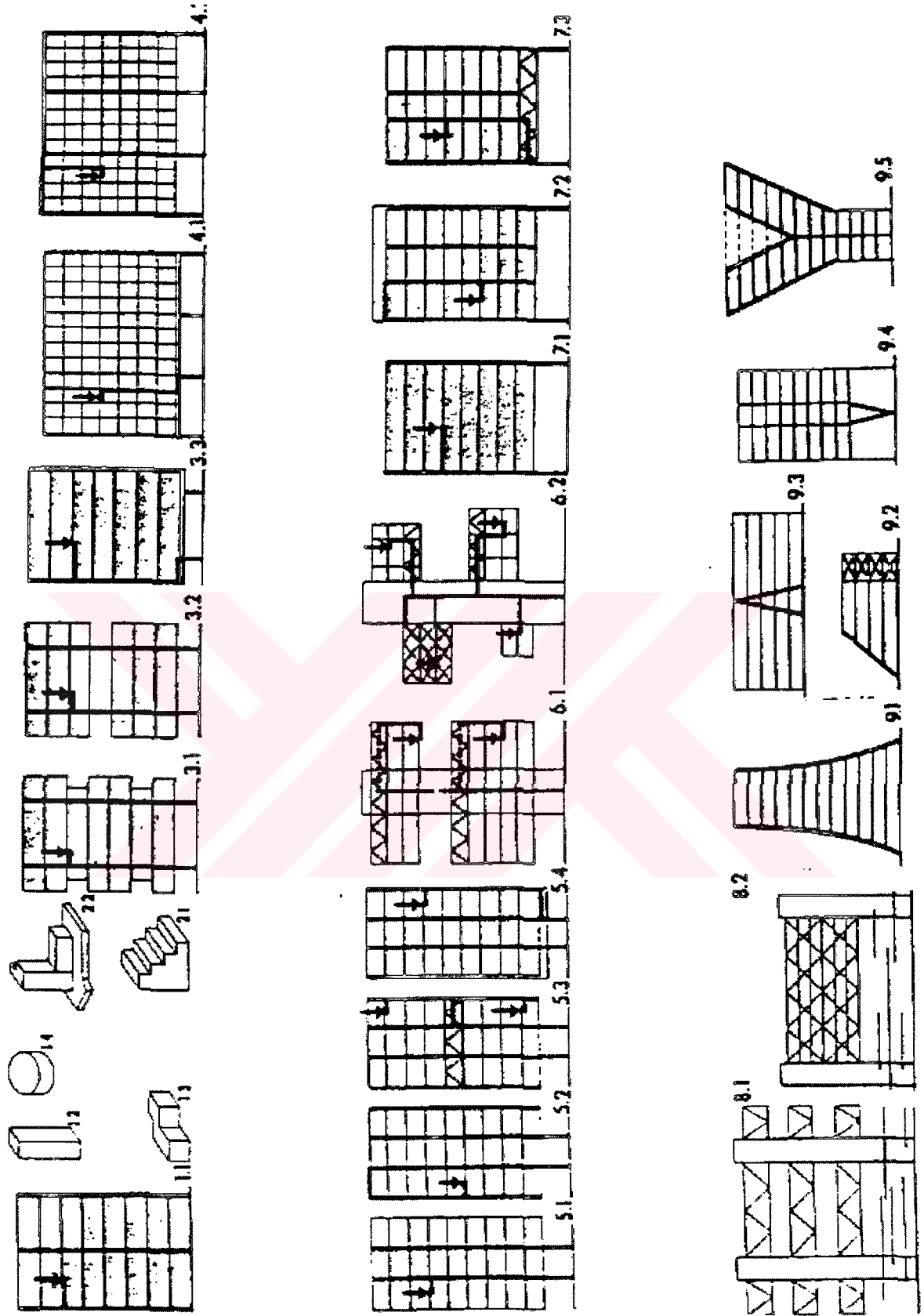
1.2.4 Düşey Yüklerin Zemine Aktarılışı

Döşemelerden gelen yükler, döşeme sistemine bağlı olarak doğrudan doğruya veya kirişlerin aracılığıyla düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonlara aktarılır. Kolonlar da bu yükü zemine aktarırlar.

Düşey yüklerin zemine aktarılmasında kullanılan taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılmasına geçmeden önce, kolonların , yapının düşey kesitindeki durumlarına göre yük aktarma şemaları kısaca incelenecektir.

Şekil 1.6.1 ve Şekil 1.6.2 kolonların sürekli olarak zemine kadar indiği bir yapıyı göstermektedir. Yük en kısa yoldan aktarılmaktadır. Şekil 1.6.3' de cephe duvarları bazı katlarda geriye çekilmiş veya tamamen kaldırılmıştır. Zemin kat kolonlarının içeri çekildiği yapıda üstten gelen kolon kuvvetlerini alacak yatay bir taşıyıcıya gerek olduğu görülmektedir. Şekil 1.6.4' deki yapıda kolon üst katlarda sık, zemin katında aralıklı olarak düzenlenmiştir. Bu durumda ana kolon yüklerini yine yatay bir taşıyıcıyla zemin kat kolonlarına iletmek gerekir. Bu kirişleme yukarıda yapılırsa ara kolonlar askı çubuklarına dönüşür.

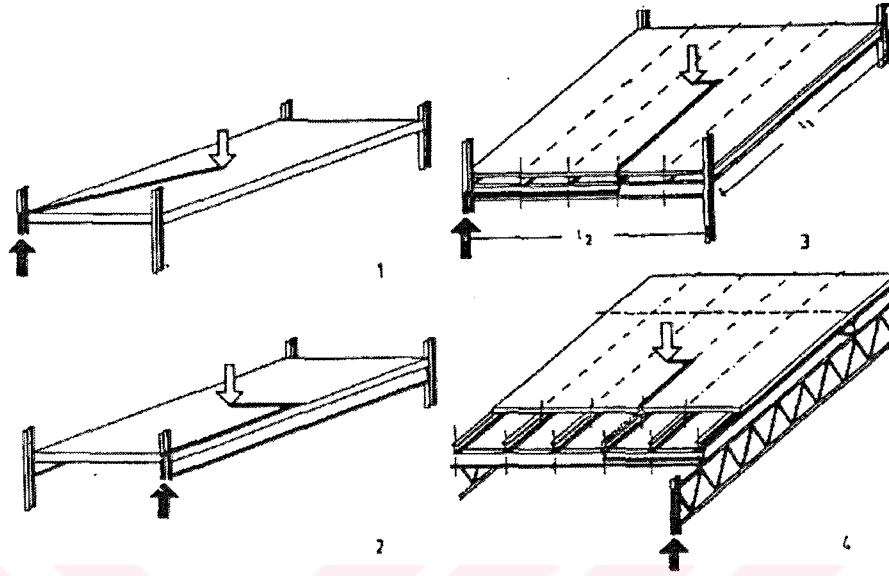
Şekil 1.6.5' de yükler çelik kolonlu veya betonarme perdeli bir çekirdekle zemine aktarılmaktadır. Şekil 1.6.6' daki yapılar çekirdek kısmına simetrik veya simetrik olmayan konsollar konarak düzenlenmiştir. Şekil 1.6.7' de zemin katındaki ara kolonlar kaldırılmış, yüklerin dış kolonlarla zemine aktarılması sağlanmıştır. Şekil 1.6.8' de köprü tarzında Şekil 1.6.9' da ise eğik kolonlu düzenlenmiş yapılara örnekler görülmektedir.



Şekil 1.6 Düşey Yüklerin zemine aktarılışı (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

1.2.5 Döşemeler

Çok katlı yüksek yapılarda döşemeler yapının tasarlanan fonksiyonu ve dolayısıyla plân durumuna bağlı olarak çeşitli türlerde yapılmaktadır. (Şekil 1.7).



Şekil 1.7 Döşeme türleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

Şekil 1.7.1' de görülen kirişsiz döşeme sık kolonlu sistemler için uygundur. Bu tür döşemeler yükleri en kısa yoldan kolonlara aktarır. Ancak büyük açıklıklarda çok ağır olmaları nedeniyle tercih edilmezler.

Şekil 1.7.2' de, bir doğrultuda kirişlemeli döşeme tipi görülmektedir. Kolon aralıkları bir doğrultuda küçük, diğer doğrultuda büyüktür. Kirişler doğrudan doğruya kolonlara mesnetlenir.

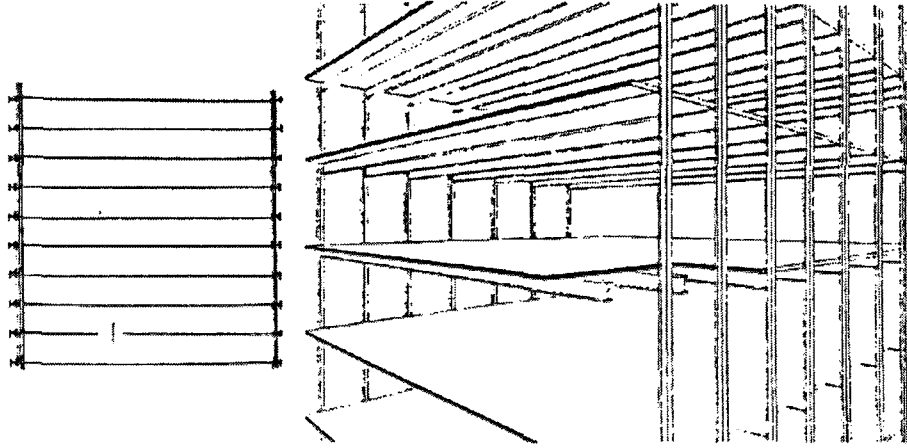
İki doğrultuda da kolon aralıklarının büyük olması halinde kirişleme de iki doğrultuda yapılır. Döşeme kirişleri yüklerini kat kirişleri vasıtasıyla kolonlara aktarır (Şekil 1.7.5. 3) Döşeme kiriş açıklığı l_1 , kat kirişi açıklığı l_2 den büyüktür.

Son olarak kolon aralıklarının çok büyük olması halinde Şekil 1.7.5.4 de görüldüğü gibi üç kat kirişlemeli döşemelerin kullanılması önerilebilir. Kat kirişleri yüklerini daha yüksek kat kirişleriyle kolonlara aktarırlar.

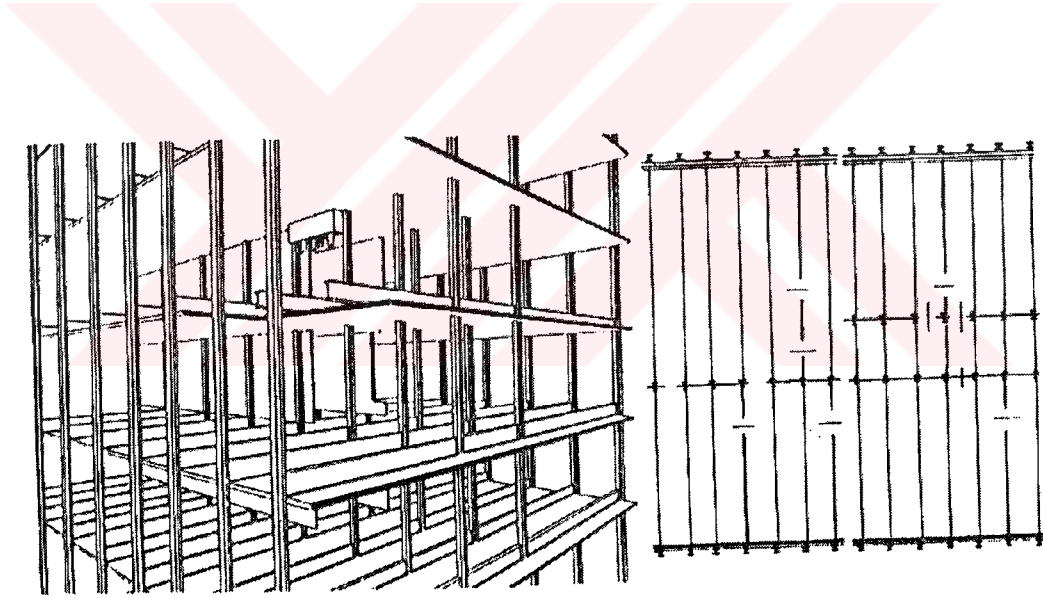
Yukarıda sözü edilen kirişlemeli döşeme sistemlerinin uygulama şekillerini örneklerle göstermek konuya biraz daha açıklık getirecektir.

Şekil 1.8 ve Şekil 1.9 bir doğrultuda kirişlemeli döşeme sistemi kullanılmış iki yapıyı

göstermektedir.



Şekil 1.8 Büyük açıklıklı bir doğrultuda kirişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



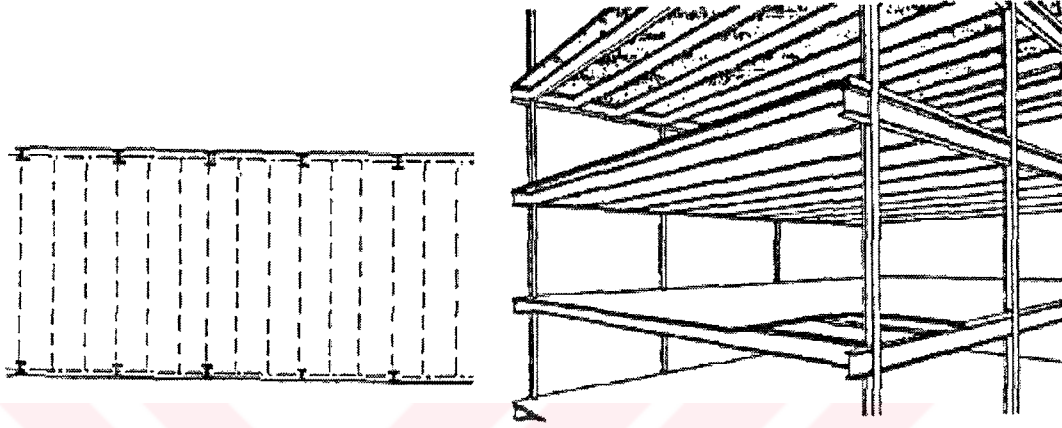
Şekil 1.9 Küçük açıklıklı bir doğrultuda kirişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

Şekil 1.8' deki gibi dar plânlı yapılarda kolonlar yalnız dış yüzlere ve sık olarak konmaktadır. Böylece içeride kolon bulunmayacağından hacimlerden yararlanma olanakları artmaktadır. Örneğin, garajlarda kolonsuz iç bacımlar park kolaylığı sağladığından bu sistem çok kullanılır.

Şekil 1.9' de yine aynı sistem, bu kez içeride de kolon sıralarının bulunması hali için uygulanmıştır. Birbirine yakın iç kolon sıraları arasında koridor duvarları yer alır. Bu sistem

daha çok koridor civarında.hacim değişikliğine gerek bulunmayan otel, hastane gibi yapılar için elverişli olmaktadır.

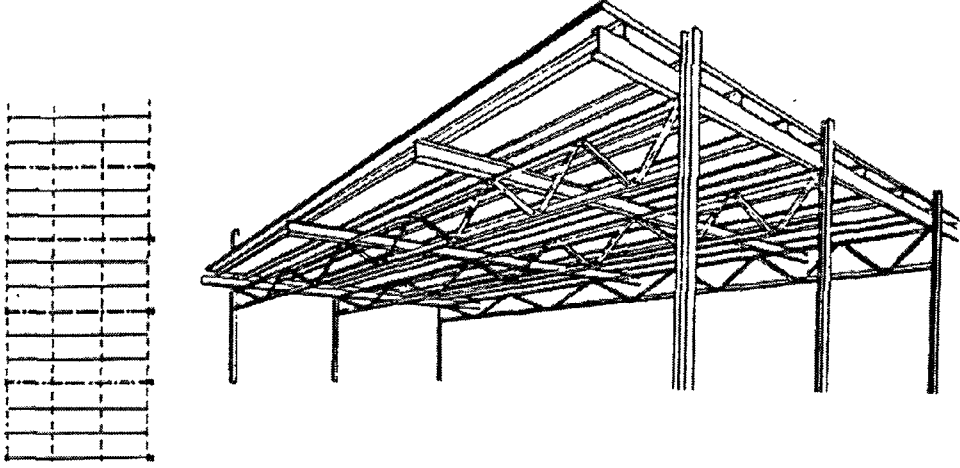
Şekil 1.10 iki doğrultuda kirişlemeli döşeme sistemine sahip bir yapıyı göstermektedir. Planda görüldüğü gibi kolonlar yalnız dış yüzlerde ve büyük aralıklarla konulmuştur. Kat kirişleri kolonlar arasında, düşene kirişleri ise bina genişliğince uzanmaktadır.



Şekil 1.10 İki doğrultuda kirişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

Şekil 1.11' de üç kat kirişlemeli döşeme sistemine ait bir örnek görülmektedir. Önceden sözü edildiği gibi büyük açıklıklarda, kat kirişlerinin ana kirişler üzerine mesnetlendirilmesi gerekmektedir. Ana kirişler dolu veya kafes gövdeli olabilir. Örnekte döşeme kirişi, kat kirişi ve ana kiriş birbirinin üzerine oturmaktadır. Dolayısıyla ana kirişler doğrudan doğruya yük almaz. Döşeme kirişleri veya kat kirişleriyle ana kirişin aynı düzlemde olması halinde ise, ana kirişe doğrudan gelen yükler bulunacaktır.

Kirişlemeli döşeme sistemlerinde tesisatın yerleştirilmesi problem teşkil etmemektedir. Döşeme ve kat kirişleri aynı seviyede ise (Şekil 1.12.1 ve Şekil 1.12.2), tesisat kiriş gövdelerinde açılan boşluklardan geçirilebilir. Özellikle petek kirişler bu iş için çok elverişlidir. Şekil 1.12.2 de kirişler yine aynı seviyede ve kafes tarzındadır. Bu da tesisat bakımından kolaylık sağlar. Fakat üçgen gözlerin büyüklüğüne göre tesisat kesitleri sınırlı olmak zorundadır. Şekil 1.12.4 de görüldüğü gibi döşeme.kirişlerinin kat kirişleri üzerine oturması halinde ise,yapı yüksekliği artmakla birlikte tesisat kesitleri yönünden serbestlik kazanılmaktadır.



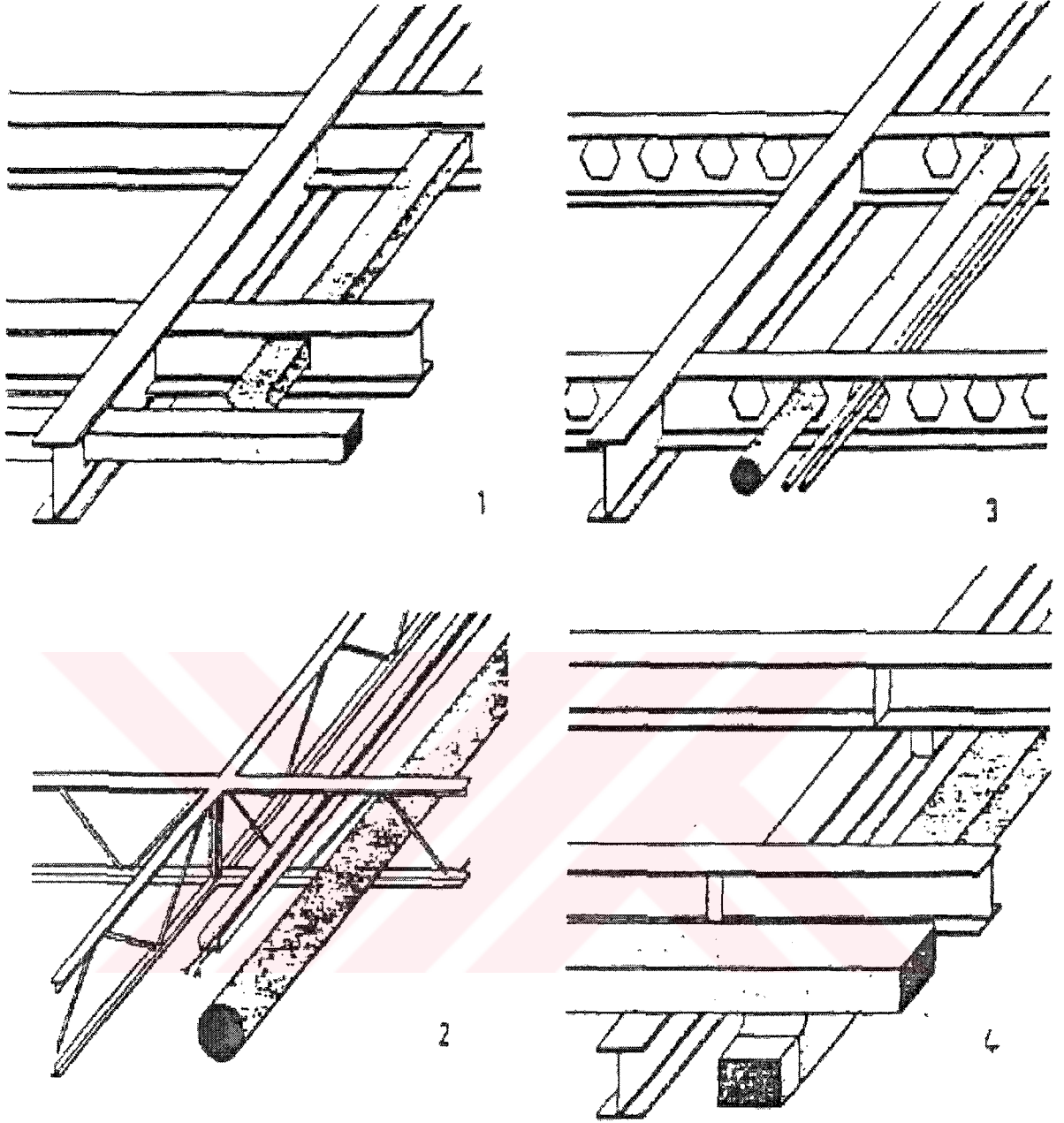
Şekil 1.11 Üç kat kirişlemeli döşeme (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

Şimdiye kadar sözü edilen sistemlerin yanında çoğu kez, bunların kombinasyonundan meydana gelen sistemler elverişli çözümler vermektedir. Bunlara kısaca kombine sistemler de denilebilir. Burada dış kolonlar sık bir şekilde düzenlenip iç kolon aralıkları ise büyük alınmaktadır. Dış kolonların sık olması, bölme duvarlarının istenilen aksa konabilmesi açısından serbestlik kazandırır.

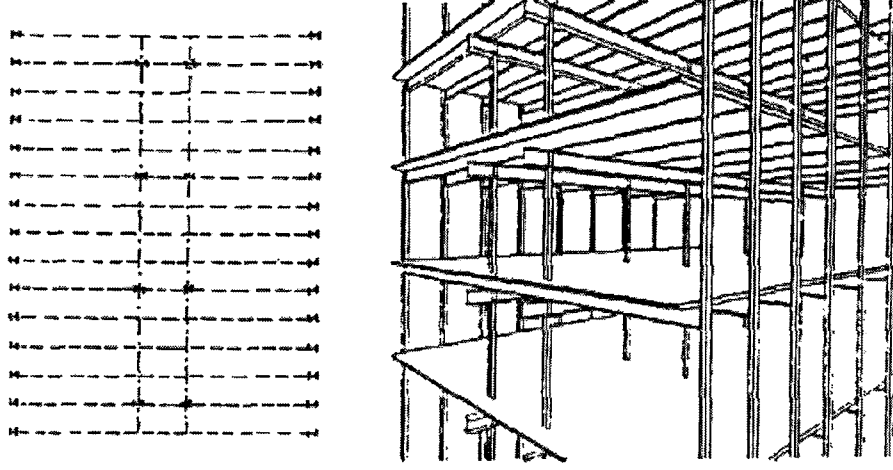
Şekil 1.13 böyle bir düzenlemeyi göstermektedir. Yine döşeme kirişleri kat kirişleri aracılığıyla yükleri kolonlara aktarır. Üç gözlü olan yapı gerektiği takdirde küçük ve büyük hacimlere bölünebilir.

Çok katlı yüksek yapıların planları üçgen veya yuvarlak olduğunda yine kirişli döşemeler kullanılabilir. Şekil 1.14 üçgen plânlı yapılarda kullanılan bazı kirişli döşeme sistemlerini göstermektedir.

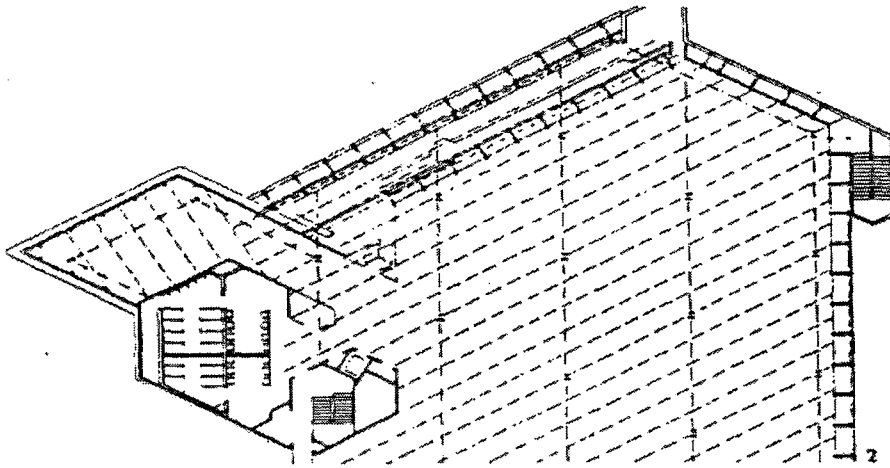
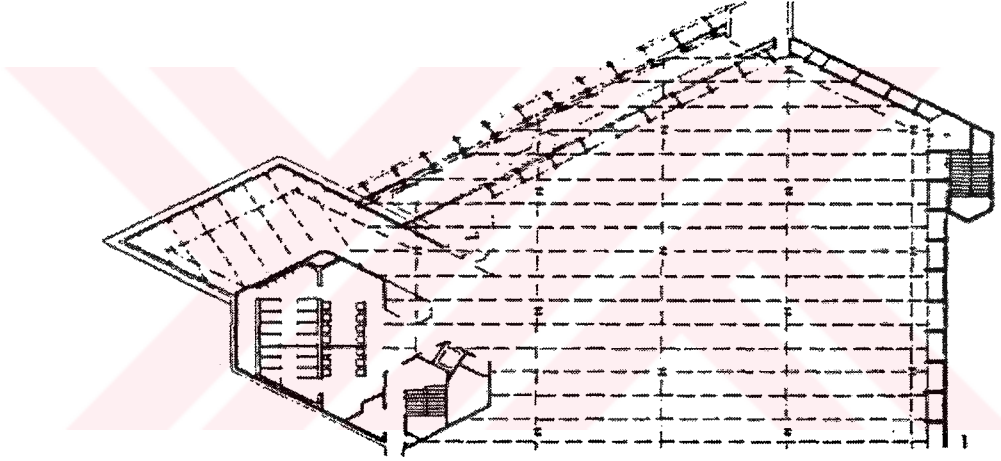
Döşemeler, kat ve döşeme kirişleriyle, döşeme plaklarının mesnet açıklıkları yeter derecede küçük olacak şekilde kısımlara bölünür. Şekil 1.14.1 de bütün alanı kaplayan ortogonal bir kirişleme sistemi uygulanmıştır. Şekil 1.14.2 de döşeme kirişleri ile kat kirişleri birbirlerini 60° lik açılarla kesmektedir, ikinci örnekteki döşeme kiriş açıklıkları birinciye nazaran büyük olduğundan profil kesitleri büyüktür. Yuvarlak planlı yapılara örnek olarak Şekil 1.15 gösterilebilir. Yapının çapı çok büyük değilse döşemeler, ortadaki beton çekirdek ile dış kolonlar arasına çekilen radyal kirişlere oturtulur. Çap büyüdükçe radyal kirişler arasına teğetsel kirişler de konur. Bu durumda teğetsel kirişler döşeme kirişleri, radyal kirişler ise kat kirişleri olmaktadır.



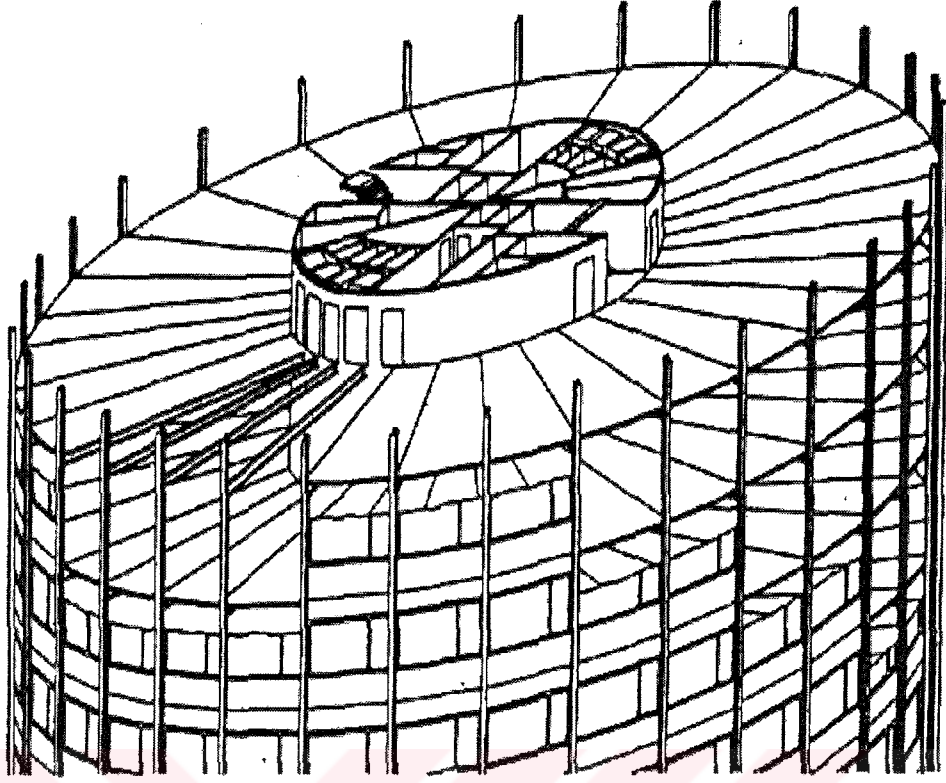
Şekil 1.12 Kirişli döşemede tesisatın yerleştirilmesi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



Şekil 1.13 Bölme duvarların istenilen aksa konulması için dış kolonları sık olması durumu (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



Şekil 1.14 Üçgen planlı yapı döşemesi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



Şekil 1.15 Yuvarlak yapıyı yapı döşemesi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

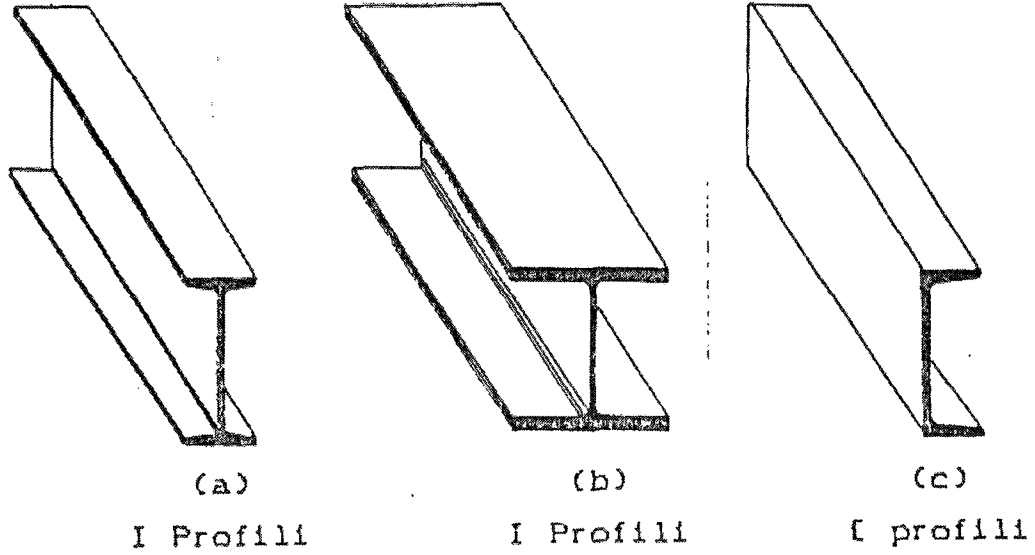
1.3 Çok Katlı Yüksek Yapılarda Elemanlar

1.3.1 Kirişler

Çok katlı çelik yapılarda kullanılan kiriş enkesit tipleri, profil kirişler ve yapma kirişler olmak üzere iki gruba ayrılır. Dolu gövdeli olarak seçilen bu kirişler özellikle eğilmeye çalışan elemanlardır.

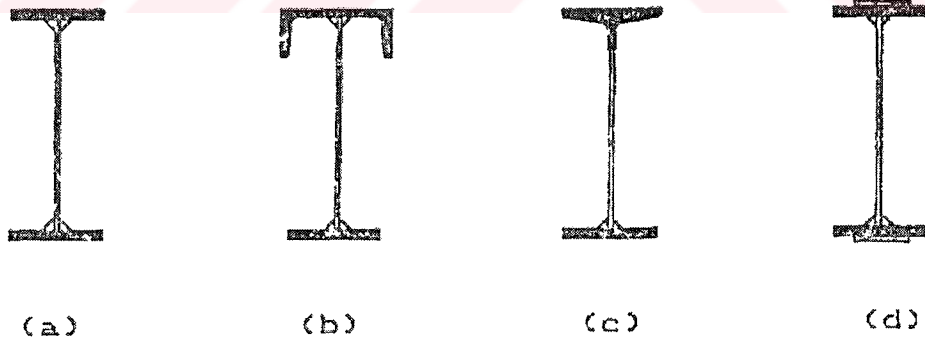
Çelik yapılarda geniş bir kullanım alanına sahip olan I profil kirişler ,kullanıldıkları yerlere göre geniş başlıklı veya dar başlıklı olarak seçilirler. Dar başlıklı I profil kirişler (I serisi profiller) döşeme ve tali kirişleri olarak tercih edilirler.Daha yüksek eğilime rijitliğine ihtiyaç duyulduğu kat kirişlerinde ise geniş başlıklı. yüksek gövdeli I profil kirişler (HE serisi profiller, Şekil 1.16.b) kullanılır.

Çelik yapılarda ekipmanların ve mekanik teçhizatların, kiriş üzerinde mesnetleşebilmeleri için geniş flanşlı profil kirişlere ihtiyaç duyulur. Bu gibi durumlarda [profiller, I profillerin yanında bir alternatif olurlar.



Şekil 1.16 Çelik yapılarda geniş kullanım alanına sahip profil kiriş tipleri

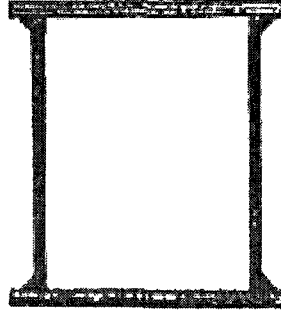
Yapma kirişler geniş başlıklı yüksek profil kirişlerin bulunamaması veya maliyetlerinin daha düşük olmaları nedeniyle, çelik yapılarda kullanılan önemli bir kiriş enkesit tipini oluştururlar. Kaynak teknolojisinin ileri bir düzeye ulaşmış olması, yapma kirişlerin kaynaklı üretimini daha pratik ve daha ekonomik bir hale getirmiştir.



Şekil 1.17 Tek gövdeli kaynaklı yapma kirişler

Kaynaklı yapma kirişler genellikle tek gövdeli olarak teşkil edilirler. Şekil 1.17 (a)'da gövde ve flanşları çelik levhadan, (b) ve (c)'de ise flanşları profillerden oluşturulmuş tek gövdeli kaynaklı yapma kirişler görülmektedir. Kaynaklı yapma kirişlerde eğilme rijitliği, gövde yüksekliği arttırılmadan Şekil 1.17.d' de görüldüğü gibi, flanş enkesitleri takviye edilerekten arttırılabilir. Büyük burulma rijitliğinin istenmesi durumunda sandık kesitli kiriş teşkiline

gidilir. Şekil 1.18' de çift gövdeli bir kaynaklı yapma kiriş görülmektedir.

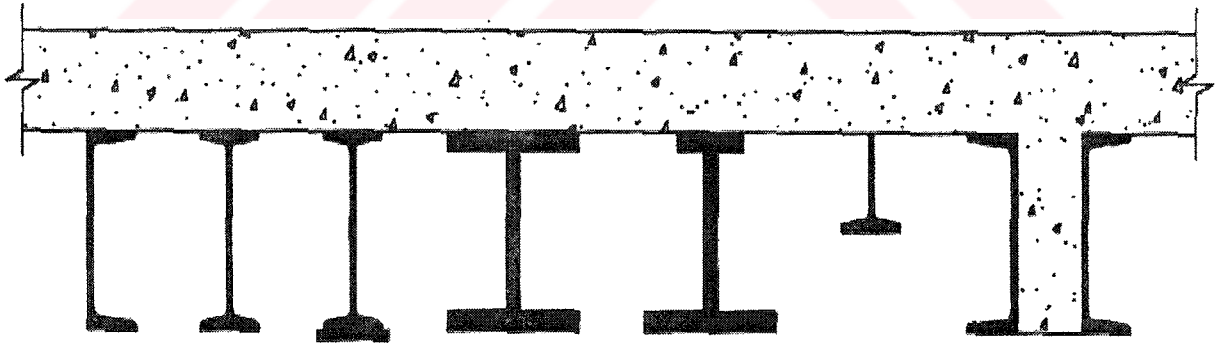


Şekil 1.18 Çift gövdeli kaynaklı yapma kiriş

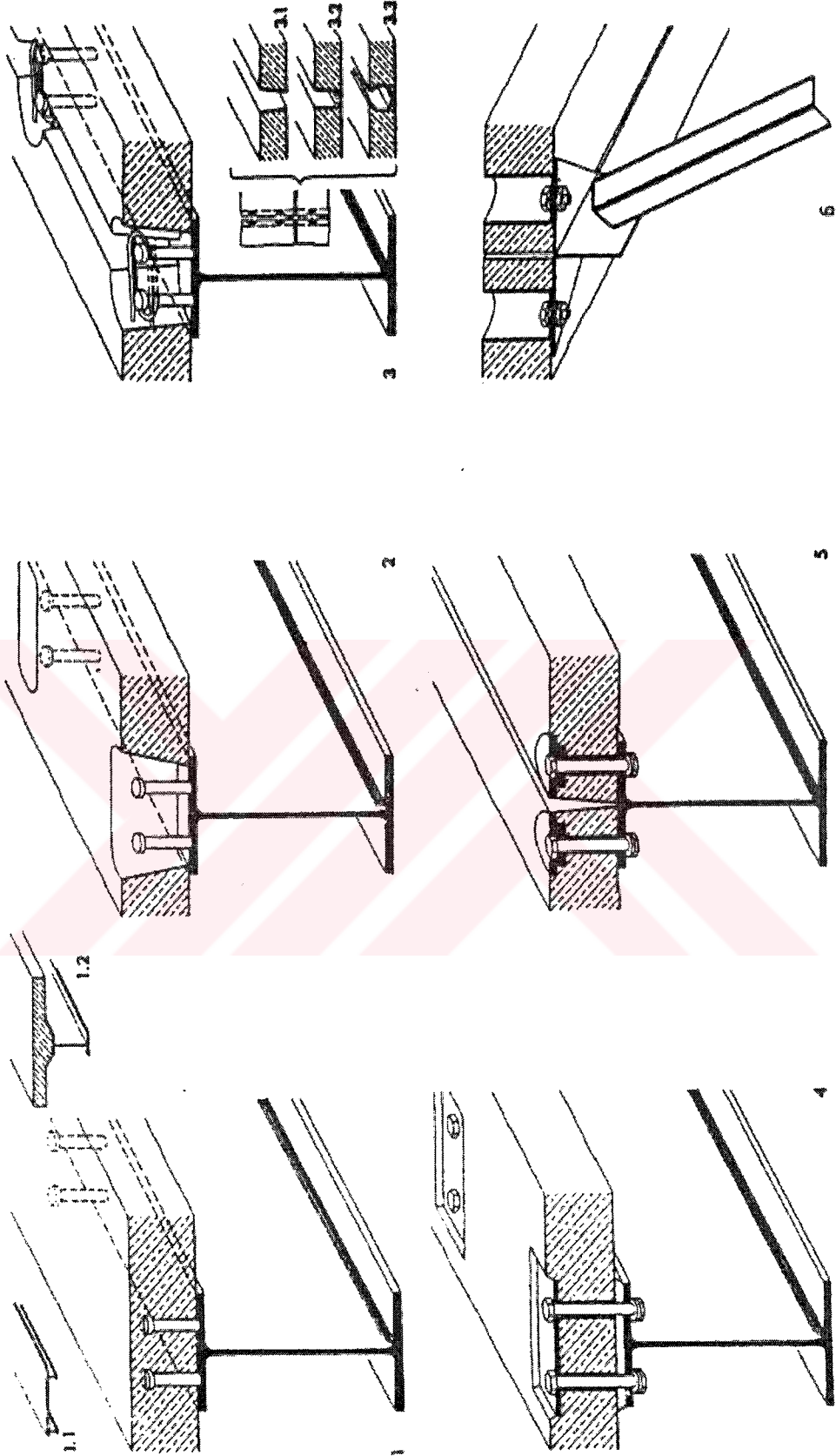
1.3.1.1 Kompozit Kirişler

Çok katlı yüksek yapılarda prefabrike döşemeli kompozit kirişler çok kullanılmaktadır.

Şekil 1.20.1 de döşeme betonu yerinde dökülmüştür. Şekil 1.20.2 de prefabrik beton levhalarda kamalar için boşluklar bırakılmıştır. Sonraki üç şekilde sürtünme ile kompozitlik etkisinin verildiği Krupp-Montex sistemi görülmektedir. Şekil 1.20.6 da ise kafes kirişin üst başlığını beton plağın oluşturduğu, Rüterbau Sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1.19 Kompozit kirişlerde kullanılan çelik enkesitlerden bazıları (Arda ve Yardımcı, 2000)

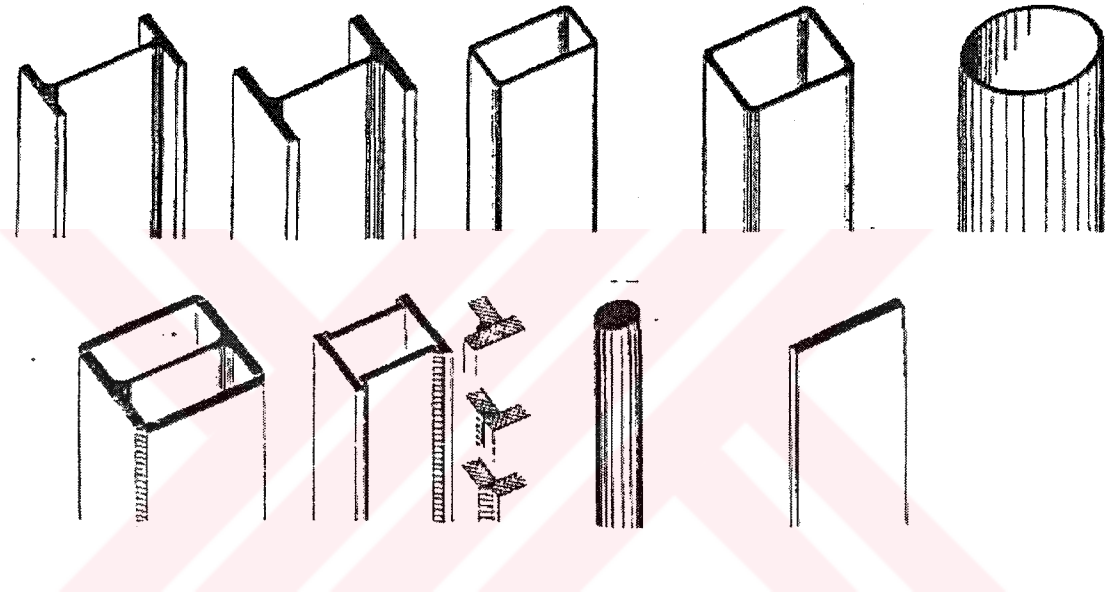


Şekil 1.20 Kompozit kirişlerde doğrudan dökülen ve hazır betonarme plaklar (Arda ve Yardımcı, 2000)

1.3.2 Kolonlar

1.3.2.1 Kolon Kesitleri

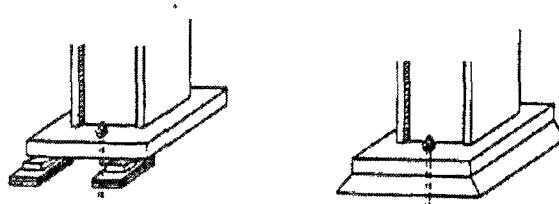
Çok katlı yüksek yapılarda kolonlar, döşeme ve kirişlerden gelen yükleri zemine aktaran düşey elemanlardır. Genellikle aksel basınca, bazen de eksantrik basınca çalışan doğru aksel çubuklardır. Yeterli olduğu takdirde, kolon kesitleri tek bir I profiliyle teşkil edilirler. Yükler arttıkça, profiller veya lamalar birbirine sürekli kaynaklanarak oluşturulan kolon enkesitleri teşkil edilebilir. Ayrıca, dikdörtgen veya yuvarlak enkesitli boru profilleri de kolon olarak çok kullanılmaktadır. (Şekil 1.21).

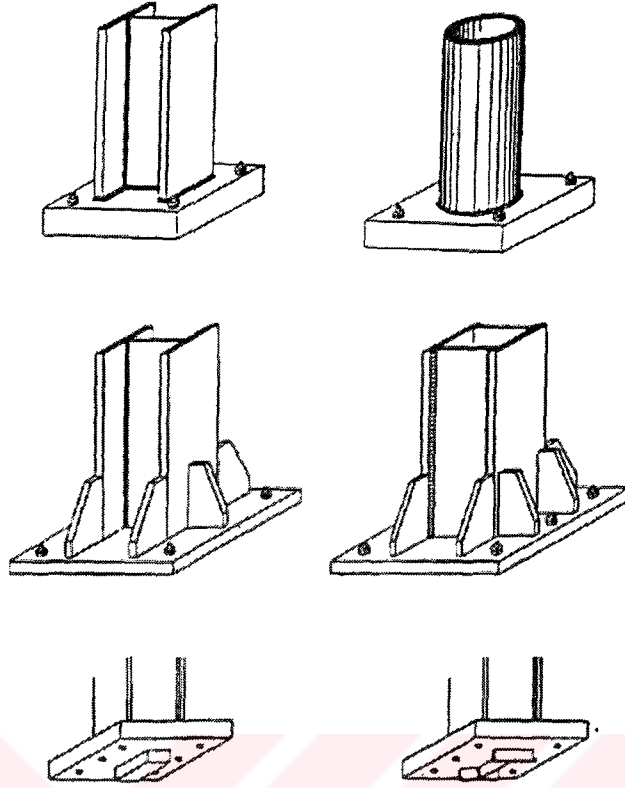


Şekil 1.21 Kolon kesitleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

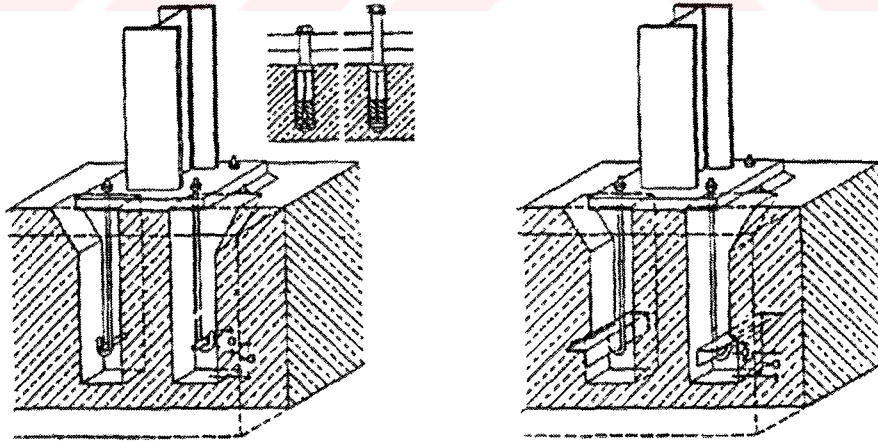
1.3.2.2 Kolon Ayakları Ve Ankrajlar

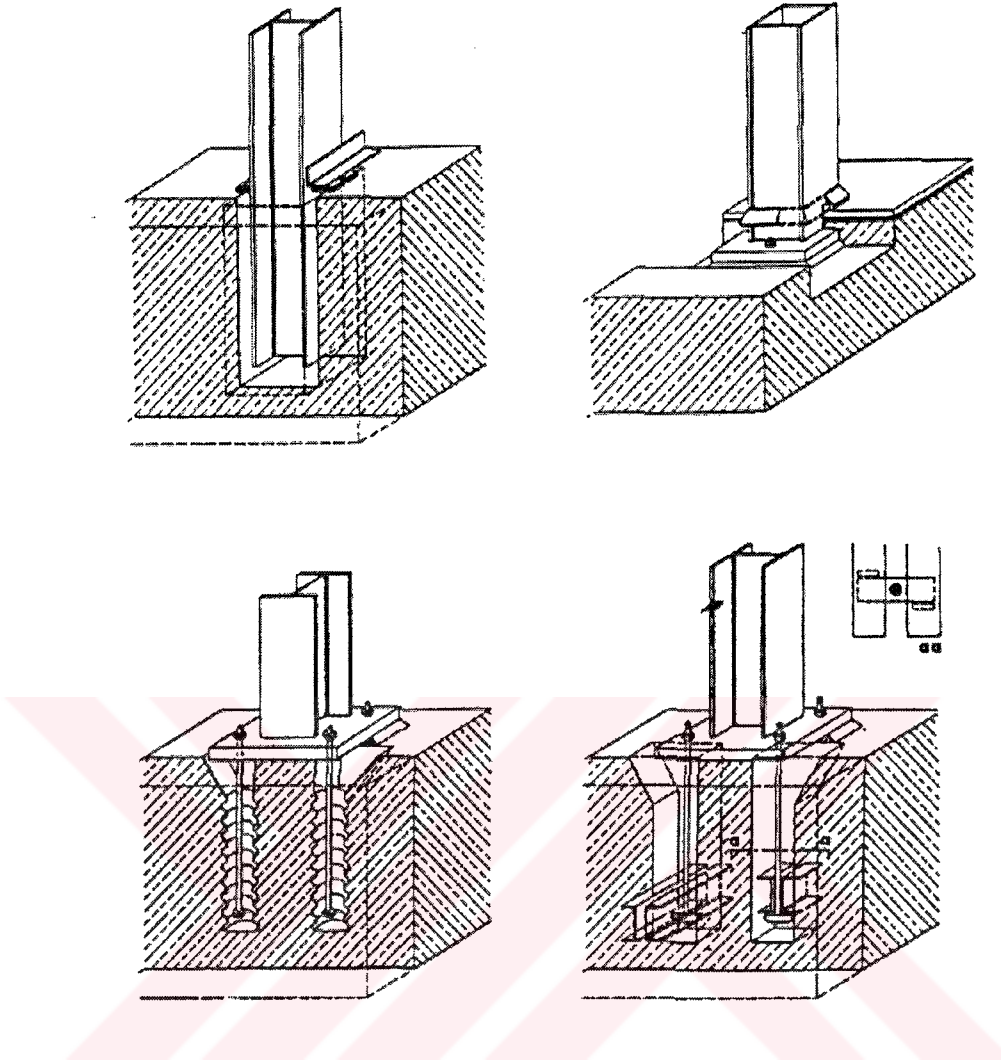
Kolon ayakları, kolondan gelen yükleri beton veya betonarme temele aktarır. Dolayısıyla, kolon ayaklarının düzenlenmesinde iki önemli nokta söz konusudur. Birincisi, kolon ayağının oturduğu levha ve buna ait elemanların boyutlandırılması, ikincisi ise betona ankrajın düzenlenmesidir. Şekil 1.22 yüksek yapılarda kullanılan kolon ayaklarına ait örnekler vermektedir. Şekil 1.22 de ankraj tipleri görülmektedir.





Şekil 1.22 Kolon ayakları (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)





Şekil 1.23 Kolon ankraj tipleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

1.3.3 Birleşimler

1.3.3.1 Kiriş-Kiriş Birleşimleri

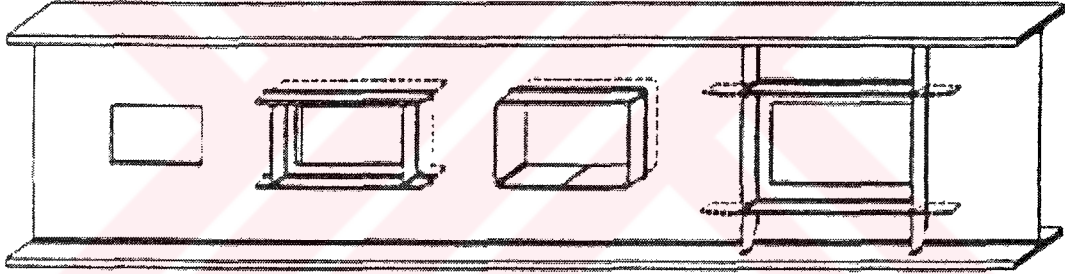
Çok katlı yüksek yapılarda kirişlerin kesit seçimleri statik değerlere bağlı olarak yapıldıktan sonra, önemli sorun kritik değerlere bağlı olarak yapıldıktan sonra, önemli sorun kiriş-kiriş birleşimlerinin düzenlenmesidir. Birleşim aracı olarak kaynak veya bulon kullanılır. Kaynak birleşimler depremde kırılğan olduklarından bulonlu birleşimler tercih etmek daha doğru olmaktadır.

Şekil 1.25 kesme kuvveti aktaran kiriş-kiriş birleşimlerine ait bazı detayları göstermektedir. Şekil 1.26' da ise kesme kuvveti ve mesnet momenti aktaran kiriş-kiriş birleşimlerinden bazı örnekler verilmiştir.

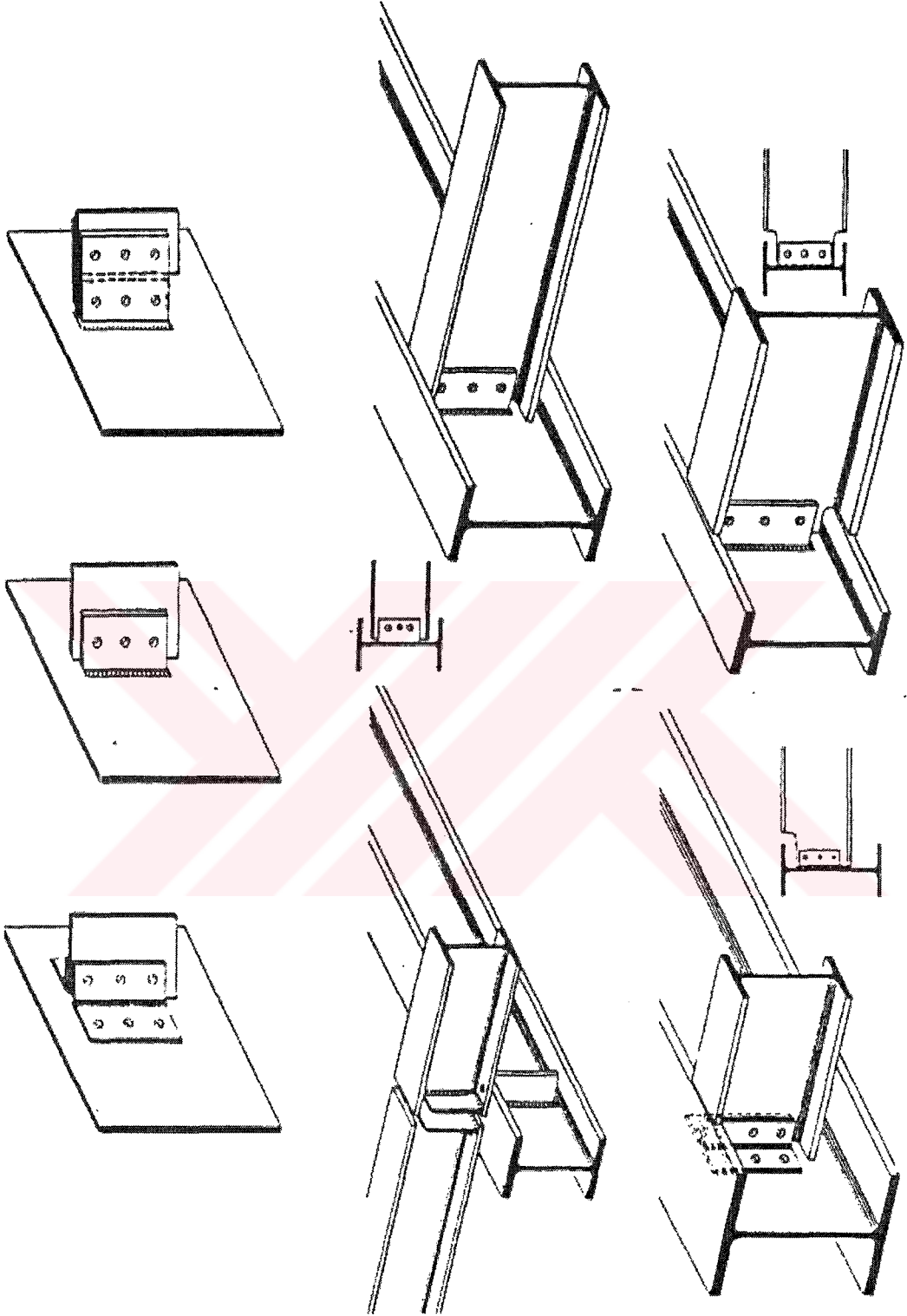
Dolu gövdeli kirişlerden boru ve tesisat geçirilmesi halinde, açılacak boşluğun büyüklüğüne bağlı olarak Şekil 1.24 da görüldüğü gibi berkitmeler yapılmalıdır.

Döşeme kirişleri kat kirişlerinin Üzerine mesnetlenebileceği gibi, kat kirişi Üst baslık hizasından da mesnetlenebilir. Şekil 1.27' daki birleşimlerde, döşeme kirişlerinin her iki tarafına korniyer konarak bulonların çift tesirli çalışması sağlanabilir. Böylece büyük kesme kuvvetleri altında bulonlar daha ekonomik olarak boyutlandırılabilir. Kat kirişlerinin döşeme kirişlerinden daha yüksek olmaları halinde döşeme kirişleri, kat kirişlerinin gövdesine alın levhalarıyla veya korniyerlerle bulonlu yada kaynaklı olarak bağlanabilir. Yalnız bu tür birleşimlerde (Şekil 1.28) döşeme kirişi ile kat kirişi arasında kot farkı olacaktır.

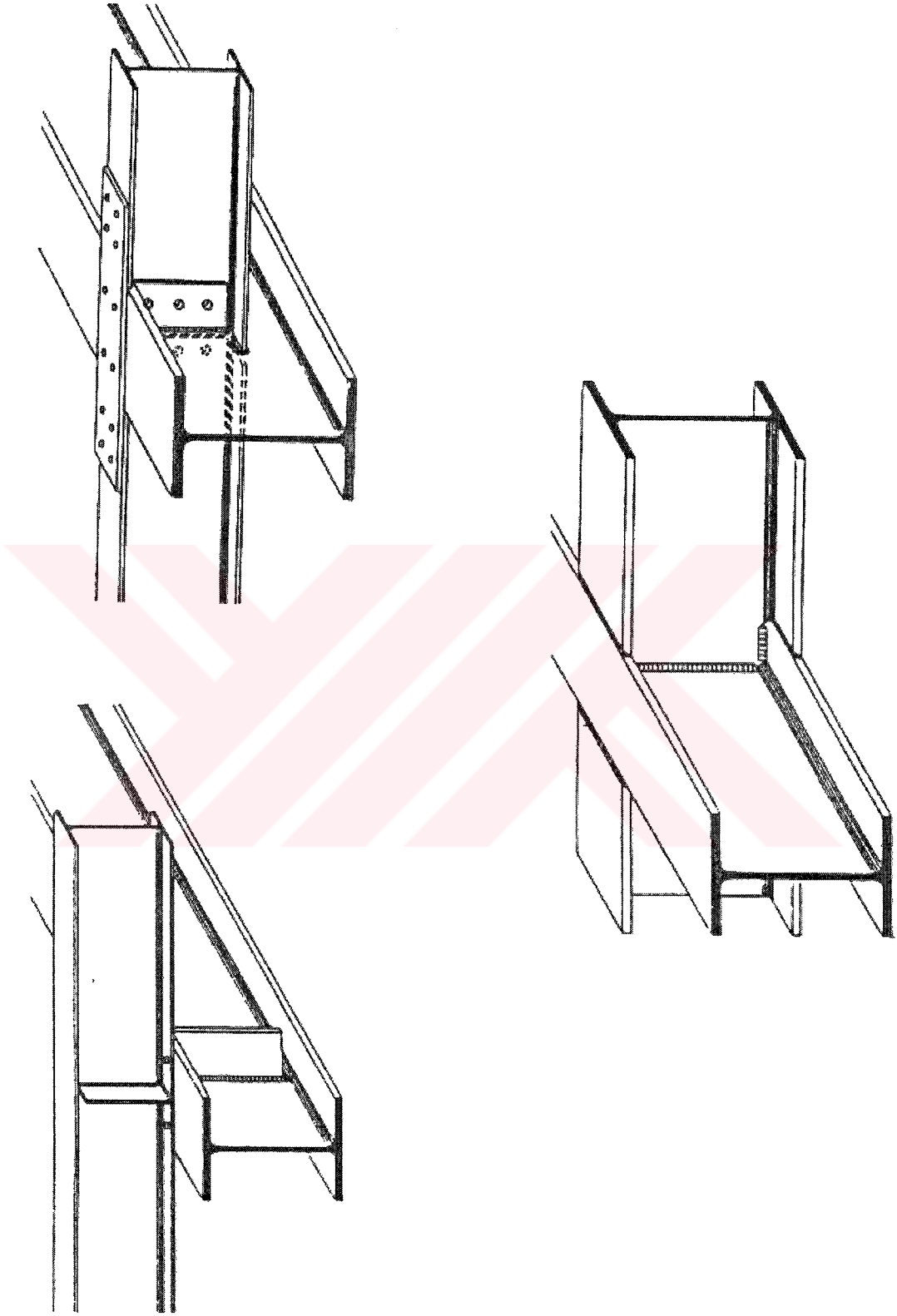
Şekil 1.27 ile 1.28' de gösterilen birleşimler tali birleşimler olup, döşeme kirişleri kat kirişlerine sadece kesme kuvvetleri aktarırlar. Bu tür birleşimlerde genellikle kaba bulonlar kullanılır. Kesme kuvvetinin büyük mertebelerde olması halinde, kopma gerilmesi daha büyük olan yüksek mukavemetli bulonlar kullanılır.



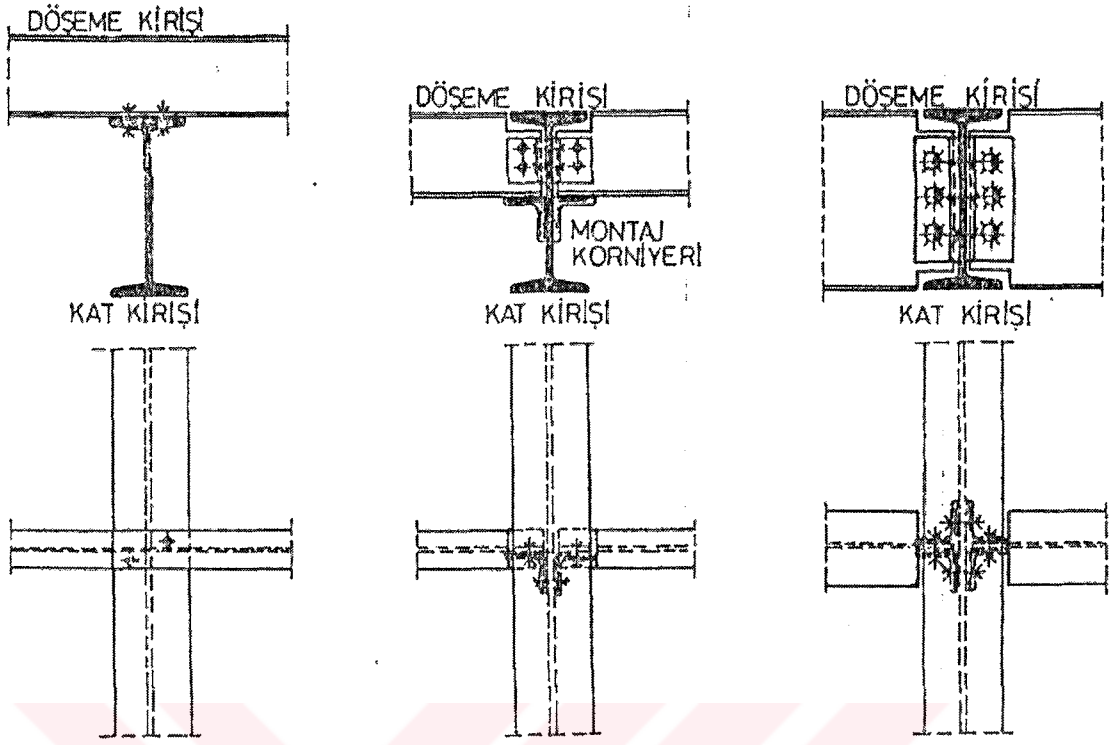
Şekil 1.24 Tesisat geçirilmesi için berkitmeli kiriş (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



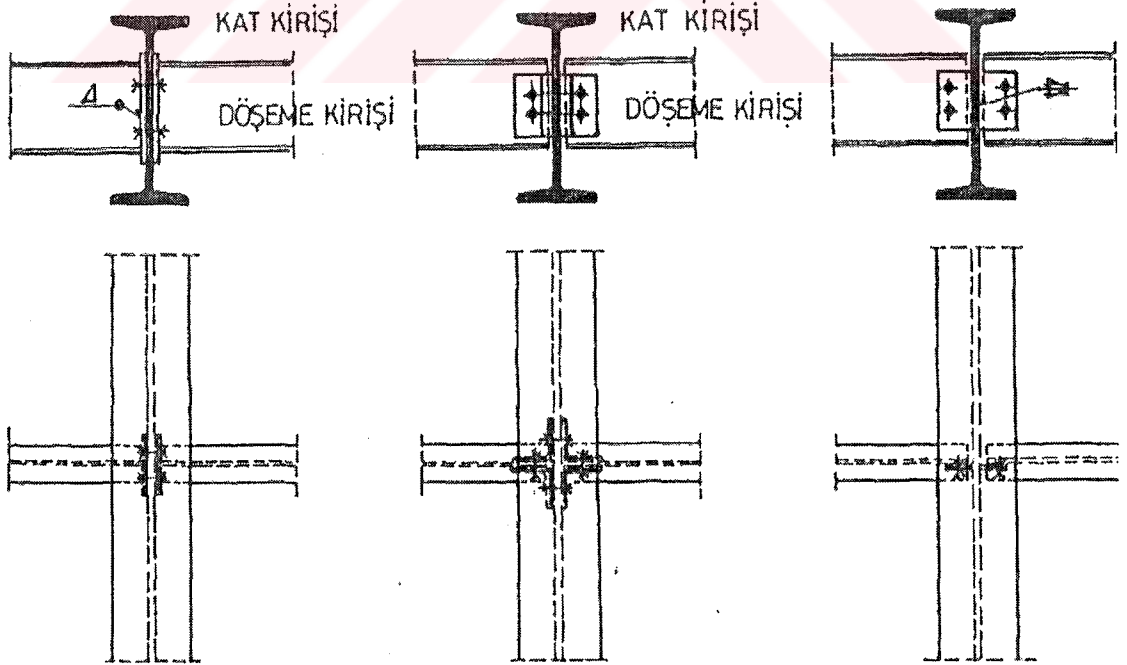
Şekil 1.25 Kesme kuvveti aktaran kirişlerin birleşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



Şekil 1.26 Kesme kuvveti ve mesnet momenti aktaran kirişlerin birleşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



Şekil 1.27 Döşeme kirişlerinin kat kirişlerine bağlanması (Karaduman, 1999)



Şekil 1.28 Döşeme kirişlerinin kat kirişlerine gövdeden bağlanması (Karaduman, 1999)

1.3.3.2 Kolon Ekleri Ve Kolon Kiriş Birleşimleri

Kolon ekleri, kolon için kullanılan profillerin boylarına ve kat yüksekliklerine bağlı olarak, iki veya üç katta bir yapılıdır. Ek yerleri genellikle, döşeme kirişlerinin 30 ilâ 50 cm kadar üstündedir.

Eklerde birleşim aracı olarak bulon veya kaynak kullanılabilir. Şekil 1.29.1 ve Şekil 1.29.2' de küt ekler, Şekil 1.29.3' de başlık ve gövde levhalı bulonlu ek, Şekil 1.29.4' de ise alın levhalı ek görülmektedir. Kat kirişinin sürekli geçtiği durumlarda üst ve alt kolon birleşimi Şekil 1.30 da görüldüğü gibi düzenlenmektedir.

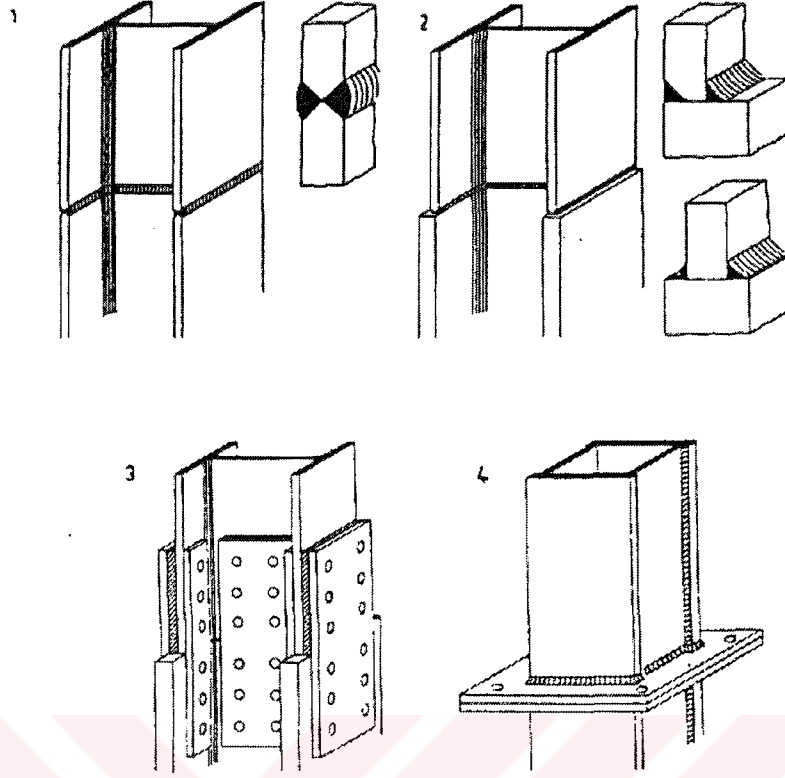
Taşıyıcı sistemin türüne bağlı olarak kolon-kiriş birleşimlerinde aşağıdaki durumlar ortaya çıkmaktadır.

- 1) Kesme kuvveti aktaran birleşimler : Kiriş kesme kuvveti kolona normal kuvvet olarak geçmektedir. (Şekil 1.31.1).
- 2) Kesme kuvveti ve moment aktaran birleşimler : Moment etkisi kolona geçmez (Şekil 1.31.2).
- 3) Genellikle, pandül kolonların eğilme rijitlikleri kirişlere oranla küçük olduğundan, rijit birleşime rağmen kirişten kolona moment geçmediği yeter bir emniyetle kabul edilir (Şekil 1.31.3).
- 4) Rijit birleşimler : Kesme kuvveti ile birlikte, moment de kolona aktarılır. Örnek olarak çerçeve köşeleri gösterilebilir (Şekil 1.31.4)

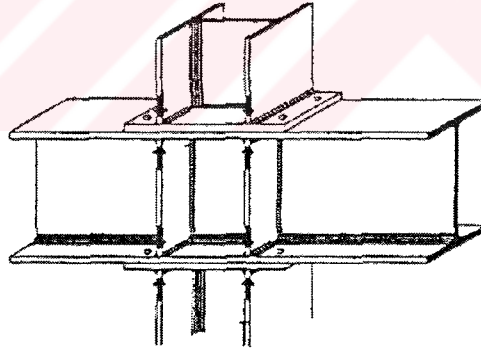
Sadece kesme kuvveti aktaran birleşimlere ait bazı detaylar Şekil 1.32' de verilmiştir.

Kesme kuvveti ve moment aktaran bazı birleşim detayları Şekil 1.33' de görülmektedir

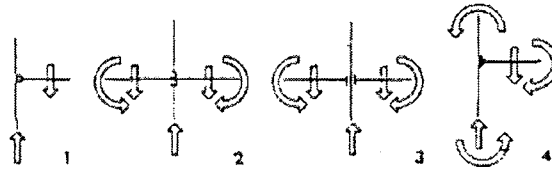
Şekil 1.33.1 de üst başlık çekme kuvveti süreklilik levhasıyla aktarılmaktadır. Bu levha, aynı zamanda alt ve üst kolon kısımları için baş veya ayak levhası görevini görmektedir.



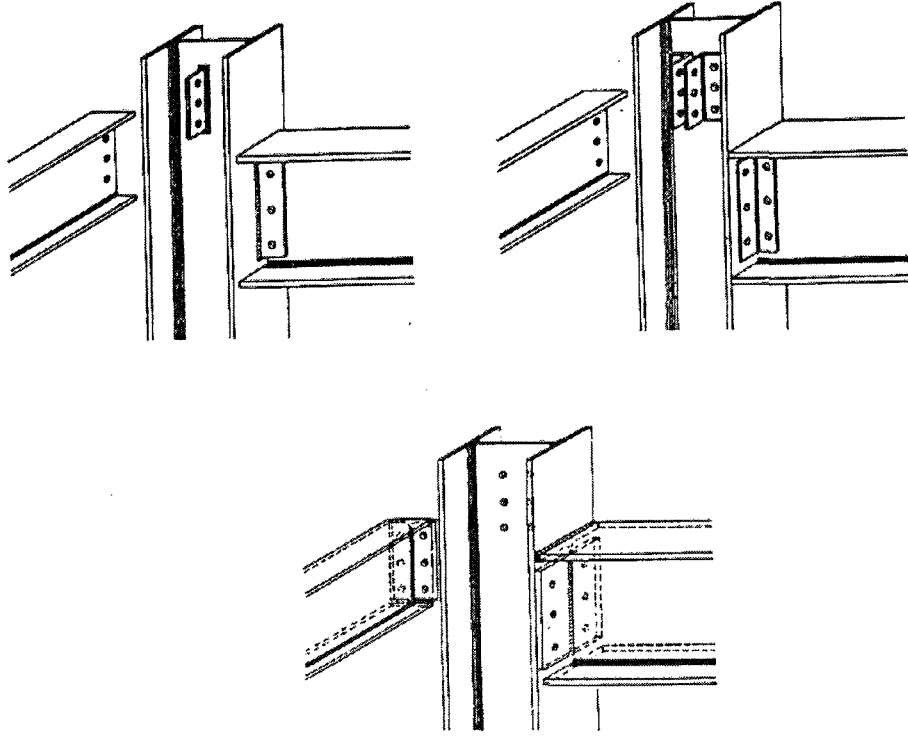
Şekil 1.29 Kolonların kaynak ve bulonlu birleşimleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



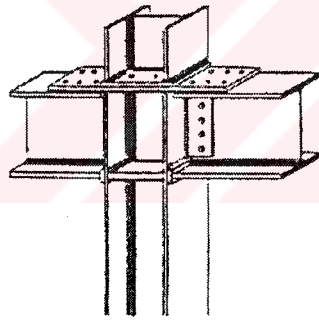
Şekil 1.30 Kat kirişinin sürekli olduğu durumdaki kolon birleşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



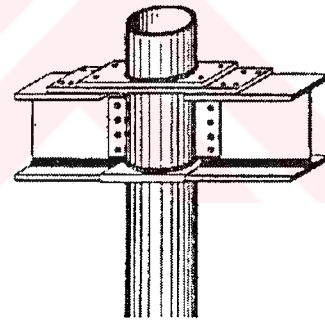
Şekil 1.31 Birleşimlerde kuvvet aktarma durumu (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



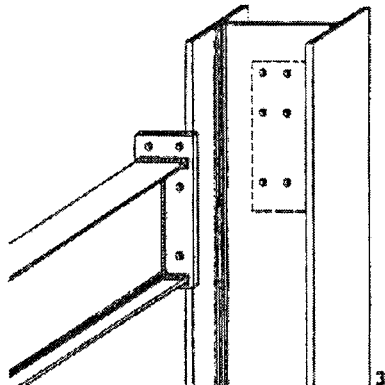
Şekil 1.32 Kesme kuvveti aktaran kiriş birleşimleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



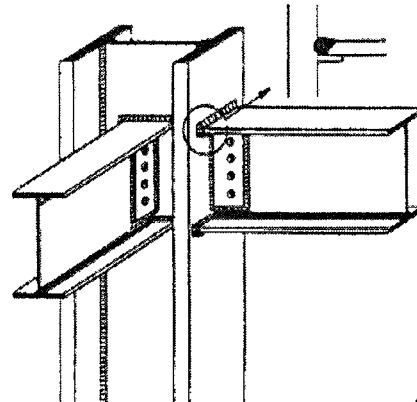
1



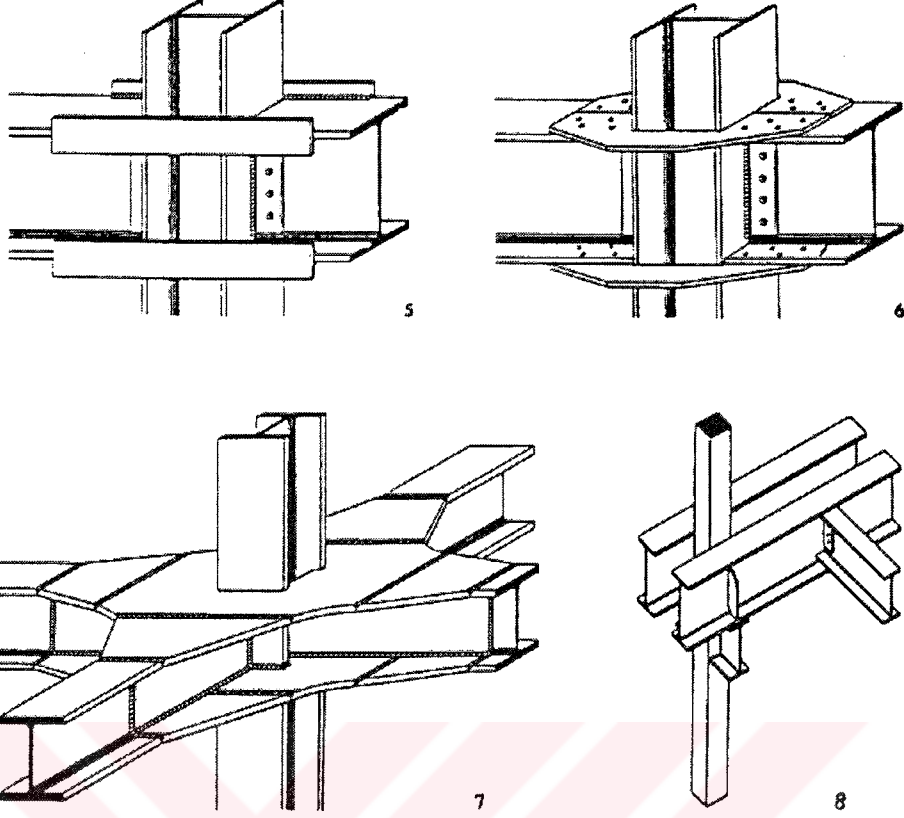
2



3



4



Şekil 1.33 Kesme kuvveti ve moment aktaran kolon birleşimleri (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

Alt başlık basınç kuvveti temasla aktarılır. Şekil 1.33.2 de benzer türdedir. Yalnız burada, alt başlığın basınç kuvvetini aktarmak için kolon kesilerek araya bir basınç parçası konmuştur. Şekil 1.33.3 alın levhalı bir birleşimi göstermektedir.

Rijit kolon-kiriş birleşimlerinde kaynak kullanıldığında, gövde iaşeleri montajda kolaylık sağlamaktadır. (Şekil 1.33.4). Bu iaşeler önce kiriş gövdesine bulonlanır, daha sonra da kaynaklanır. Şekil 1.33.5 de, kesme kuvveti kolona kaynaklı iaşelerle aktarılmaktadır. Kolon sürekli. Kirişin başlık kuvvetleri dört köşe dikişiyle kiriş başlıklarına kılıcına kaynaklanmış iaşelerle aktarılmaktadır. Kaynak dikişleri şantiyede çekilir.Şekil 1.33.6' da ise kesme kuvvetleri yine kolona kaynaklı iaşelerle aktarılmakta; başlık kuvvetleri kirişe, bulonlar la bağlı yatay düğüm levhalarıyla geçmektedir. Kolon moment almaz. Bu tür birleşimin düzenlenmesinde, düşey tesisat borularının, yerleştirilmesi dikkate alınmalıdır. Şekil 1.33.7' deki birleşim de benzer tarzdadır. Düğüm levhaları kiriş başlıklarıyla aynı seviyededir ve bunlara küt dikişlerle birleşmiştir. Kolona moment geçmez Şekil 1.33.8' de dolu kare enkesitli kolonla konsollar kaynaklanmıştır. İki parçalı olan sürekli kat kirişi konsollar üzerine

oturmaktadır.

1.4 Yangından Korunma

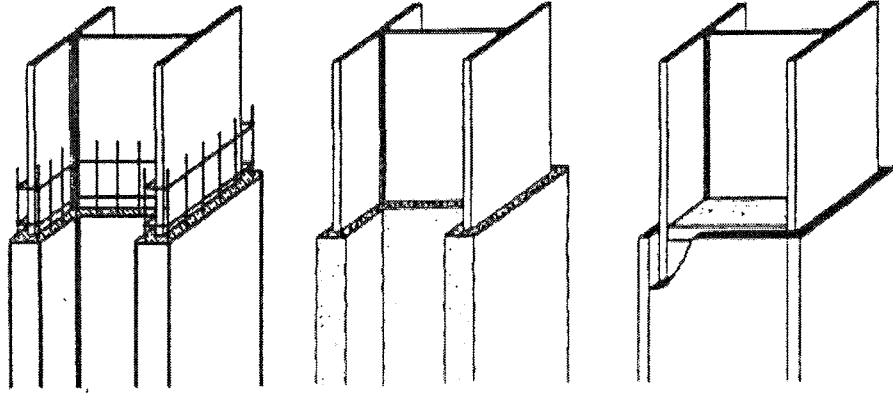
Yangın olağan boyutlardaki bir yapı için bile çok tehlikeli bir olaydır. Her yıl çok sayıda konut ve işyeri, içindeki eşyalarla birlikte yanmakta; bu da milyarlarca liralık maddî hasarın yanı sıra can kaybına da neden olmaktadır. Son otuz yıldan bu yana, yangın güvenliği konusu ampirik bir teknik olmaktan çıkarak, değişik uzmanlık alanlarına yüksek seviyede dayanan gerçek bir bilime dönüşmüştür.

Yangın olayı, hangi malzemeden yapılmış olursa olsun, bütün yapıları etkiler. Bir yapı malzemesinin, diğer bir yapı malzemesine göre yangın mukavemetinin daha yüksek olduğunu söylemek, onun yangından daha geç etkilendiğini belirtmekten öteye gitmez. Bu yönden bir yaklaşımla, en geç etkilenenden en erken etkilenene doğru bir sıralama yapılmak istenirse: gergisiz yoğun kagir yapılar, betonarme yapılar, öngerilmeli beton yapılar, yalıtılmış çelik yapılar, çelik birleşimli prefabrik betonarme ve öngerilmeli beton yapılar, gergili kagir yapılar, masif ahşap yapılar, yalıtımsız çelik yapılar, ince ahşap elemanlı yapılar dizisi ortaya çıkar.

1.4.1 Kolonların Korunması

Çelik yapılarda taşıyıcı sistemin yangına karşı korunması karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Sistemin taşıyıcılığının yangın sırasında mümkün olan en az ölçüde etkilenmesi için alınabilecek önlemler, iç kolonlar için Şekil 1.34' de gösterilmiştir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmaktadır:

Beton ile Kaplama : Beton örtü, çelik kolonları yangına karşı korumanın yanında darbe ve dış tesirlere karşı da dayanıklı bir hale getirir. Tel kafes veya tel etriye kullanılması betonun mukavemetini arttırmaktadır (Şekil 1.34.1) C16 kalitesinde bir beton örtünün yangına karşı bir emniyet sağlayabilmesi için en az 40 mm' lik bir kalınlıkta olması gerekir. Düşey kalıplar kullanılıyorsa, beton dökümü kolonun



Şekil 1.34 Kolonları yangına karşı kaplanması (Tarhan, 2002)

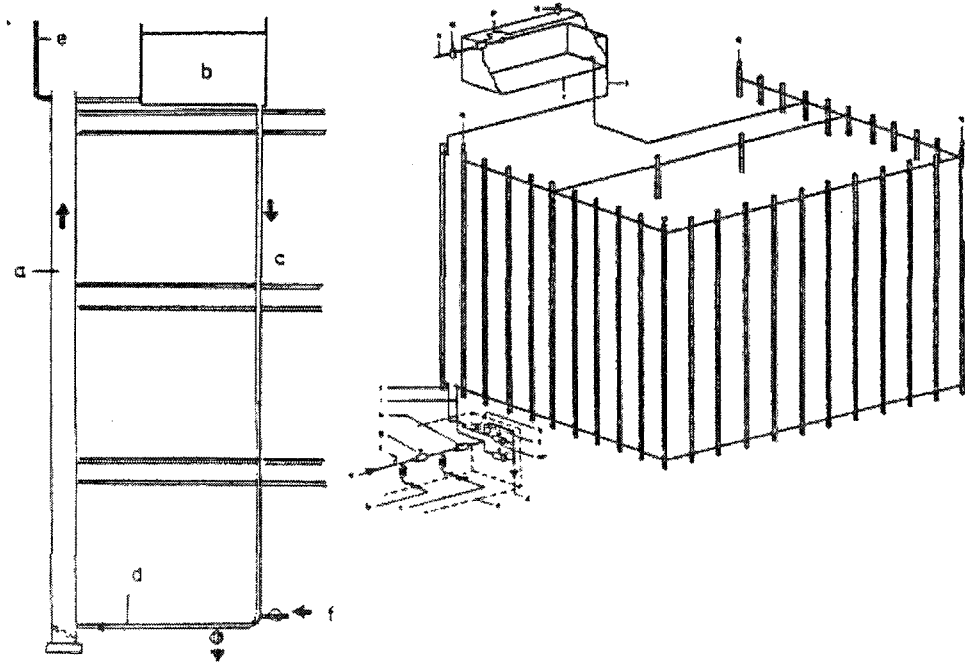
Beton dökülmesi gerekir. Profil kolonlar dikdörtgen kesit olacak şekilde betonlanacaksa, ağırlığı azaltmak amacıyla iç kısma hafif beton dökülür.

Sıva ile Kaplama : Pek çok uygulama şekilleri vardır. Şekil 1.34.2 de sıva Vermiculite veya Asbestin diğer bağlayıcı maddelerle karıştırılarak kolona püskürtülmesiyle yapılmıştır. Ekonomik olması nedeniyle çokça uygulanmaktadır. Püskürtme işlemi yapının kirlenmesine yol açtığından, uygulanacağı zaman iyi seçilmelidir. Sıva üst yüzeyi pürüzlü olacağından kolon başka bir malzemeyle de ayrıca kaplanmalıdır.

Levhalarla Kaplama : Vermiculite-Beton levhalar, Asbest-Beton levhalar, alçı levhalar kullanılarak kolon kaplanması yapılır. (Şekil 1.34.3)

Kolonların Su Dolanımı ile Yangından Korunması : Şekil 1.35 bu tür bir sistemi göstermektedir.

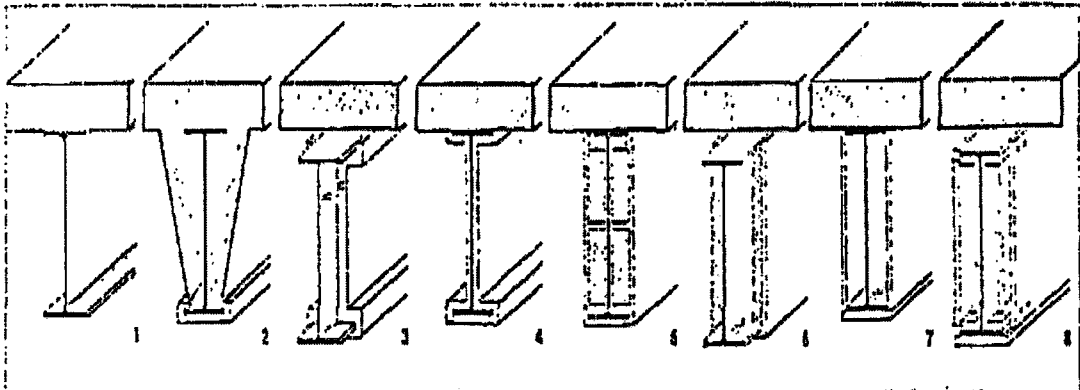
Birinci şemada görülen a kolonu b rezervuarına bağlıdır. Kolon ayağı d de c borusu ile yine rezervuara bağlıdır. Yangında kolonun ısınması sonucu sıcak su, ısınan su yukarı çıkar ilkesiyle yukarı doğru hareket eder, c den ise soğuk su aşağı iner. Meydana gelecek buhar e den kaçar. Sistem f ile su şebekesine bağlıdır, ikinci şekilde bu şema bir yapının dış kolonlarına uygulanmıştır. Kolon başları ve ayakları birbirine bağlıdır.



Şekil 1.35 Kolonların su dolanımı ile yangından korunması (Tarhan, 2002)

Yüksek binalarda su basıncının çok fazla olmaması için, su dolanımı bina yüksekliğince birbirinden bağımsız bölümlere ayrılır.

1.4.2 Kirişlerin Korunması



Şekil 1.36 Kirişteki yalıtım uygulamaları (Tarhan, 2002)

- 1) Farklı türde sıcakta şişen boya kaplamalarla, 30 dakikalık yangın mukavemeti sağlanabilir. Kaplama yada çerçeveleme olmayan bu yöntemde, kiriş, çıplak olarak dışarıdan görülmüş olur. Daha sonraki rötuşlar ve onarımlar için aynı boyanın temini sağlanmalıdır.
- 2) Beton içine gömülmüş çelik kiriş, alt flanşı hariç çok iyi korunmuştur. Kiriş , içinde tel hasır bulunan 25 mm.'lik vermikülit sıva yada 40 mm.lik çimento sıvası ile muhafazaya alınabilir, çelik kirişi betona bu şekilde gömme usulü etkili fakat pahalı bir yöntemdir.
- 3) Montaj Öncesi kiriş betonla çevrelenmiştir. Koruma betonunun sağlamlığı için tel hasır betona konmalıdır. Ayrıca derin kirişler için saplamalar üst gövde kısmına kaynaklanmalıdır. 90 dakika yangına mukavemet isteniyorsa beton kalınlığı 60 mm. yapılır. Özellikle büyük boyutlu kirişler için bu yöntem uygun fakat kalıp yapımı pahalıdır.
- 4) Püskürtülmüş asbest yada vermikülit sıva ile yapılan ortalama kalınlığı 25 mm. olan bu tür uygulamada 90 dakika yangın mukavemeti sağlanır. Uygulama bu tür malzemeleri üreten firmanın tavsiyeleri Üzerine yapılmalıdır. Uygulamadan önce çelik kiriş üzerindeki pas ve pislikler temizlenmelidir. Tabi hafif paslanmanın da aderansı iyi sağlayacağı göz önünde bulundurulur. Spreylenen kaplamalardan önce ince bir astar boya ile çelik kiriş boyanır. Nispeten derin kirişlerde kaynaklı pimlerle muhafazaya alınmış tel kafese ihtiyaç duyulur. Geniş flanşları olan derin bir kirişin alt flanşı çevresini tel kafesle iyice sarmak gerekir. Püskürtme yalnız iyi hava koşullarında yapılabilir.
- 5) Flanşlar arası boşluklar minimum 15 mm. kalınlıktaki sıva ile kaplanmış hafif beton bloklar yada tuğlalarla doldurulmuştur. Tel kafes alt flanşı iyice sarmalıdır.
- 6) Kiriş, büyük metal tel kafeslerle sarılmış ve 25 mm. Kalınlığındaki vermikülit sıvayla kaplanmıştır.
- 7) Kiriş birbirine bağlı tabakalar yada panolarla çerçevelemiştir, örneğin 25 mm kalınlığındaki vermitekta panosu gibi.
- 8) Civatalanmış yada çiviyle tutturulmuş tabaka yada panolar asbest, asbestli çimento yada alçıdan yapılmıştır. Satıcı firmanın talimatları doğrultusunda, yanmaz malzemenin tespit edilmeden önce uygun mesnetlenme şartlarında kirişe tutturulması gerekir. Derzleri, alçı yada diğer uygun malzemelerle tıkanmalıdır. Avantajları: kuru metod, kötü hava şartlarından bağımsızdır. Bu, şekliyle 90 dakika yangına mukavemet sağlayacakken, boşluklardaki yangına mukavim izolasyonla 120 dakika dayanım sağlanabilir.

1.5 Çok Katlı Yüksek Yapılara Etkiyen Yükler

Bunları da kendi arasında şöyle sınıflamak mümkündür.

1.5.1 Ölü Yükler

Ölü yükler yapı içinde yer alan bütün elemanların ağırlıklarını kapsar. Bunlar, yapının taşıyıcı sistem elemanları, döşeme kaplamaları, asma tavan elemanları, bölme duvar elemanları, dış duvarlar veya kaplaması, sabit ekipmanlardır.

1.5.2 Hareketli Yükler

Hareketli yükler yapının kullanılması sırasında, l yüklere ek olarak gelen yüklerdir. Hareketli yükler; binayı kullanan insanlardan kaynaklanan yükleri, eşya yüklerini, kütüphanelerdeki kitap ve kitap rafı ağırlıklarını, otomobil yüklerini (garajlar), masa, dosya dolabı gibi ofis eşyası yüklerini mekanik ekipman yüklerini kapsar.

1.5.3 Kar Yükü

Bunlar meteorolojik yükler olarak nitelendirilirler. Daha çok atmosferik koşullara ve bu nedenle de coğrafik bölgelere bağlı olarak Őiddetleri ve yapılaraya etki biçimleri tanımlanır. Her ülkenin ulusal yk standartları, buldukları coğrafik bölgenin özelliklerine dayanarak bu yükleri tanımlamışlardır. Daha önce de belirtildiği gibi, bu yükler, yüksek yapıda, diğer yapılardan çok farklı etkiler meydana getirmemektedirler. Bunun için baŐvurulacak, her ülkenin kendi koşulları için hazırladığı çeşitli standartlar mevcuttur

1.5.4 Darbe Ve Dinamik Yükler

Mekanik ekipman ve teizatların, çalışma sırasında yapıya aktardıkları yüklere girer. Çok katlı yapılarda oldukça sık rastlanan presler, elekler, vinçler, yapıya zamana bağlı olarak dinamik kuvvetler aktarabilecekleri gibi, ani darbe yüklerinin de oluŐmasına neden olabilecekler.

1.5.5 Montaj Yükleri

Bunlar yapının montajı veya imalatı sırasında maruz kaldığı yüklerdir. Ayrıca, yapının imalatı sırasında geçici olarak depolanan malzeme yükleri, yapının montajı sırasında geçici olarak kullanılan çapraz sistemleri ve bağlantıların yapıya etkiteceği yükler de bu kapsam içinde dŐnlmelidir.

1.5.6 Deprem Yükü

Yüksek yapıların boyutlandırılmasında kullanılan kriterler arasında deprem yükleri ve yapıların bu yüklere cevabının çok önemli bir yeri vardır. Sismik boyutlandırmada kullanılan en yaygın metod da deprem yükünün yapıya dinamik etkisi yerine eşdeğer statik sismik yükleri kullanılır. Birçok tipik, deprem standardının tanımladığı eşdeğer statik sismik yüklerin değerinin, belli başlı deprem etkileri altında yapı elastik bölgede zorlanıyorsa, deprem etkisi sırasında yapıya etkileyebilecek maksimum kütlesel kuvvetlerden daha az olduğu gösterilmiştir.

Böylece, standartların tanımladığı eşdeğer sismik yüklerle boyutlandırılmış bir yapının, belli başlı deprem etkileri altında elastik bölgenin ötesine doğru zorlanacağı beklenmelidir. Bu nedenle de, plastik bölge içinde, yapının deprem etkisi altındaki davranışını kontrol eden ve daha az zarar görmesini sağlayan, akma ve duktilite kapasitesinin boyutlandırma sırasında önemle göz önünde bulundurulması gerekir.

1.5.7 Rüzgar Yüğü

Rüzgar,yüksek yapılara etkiyen önemli yüklerden biridir. Son zamanlara kadar, rüzgarın yapıya etkisi statik eşdeğer rüzgar yükleriyle tanımlanıyor, bu yükler altında yapının statik analizi yapılyordu. 1940 yılında Takoma Narrows asma köprüsünün rüzgarın türbülanslı etkisi nedeniyle yıkılmasını takiben; rüzgarın dinamik etkisi konusunda yoğun araştırmalar başlamıştır. Son otuz yıl içinde yapı malzemesi kalitesindeki gelişim yapıların esnekliklerini arttırmış, sönüm kapasitelerini azaltmıştır. Sonuç olarak yapılar, dinamik rüzgar etkisine karşı daha duyarlı hale gelmiştir. Bu nedenlerle, yapıların rüzgarın dinamik etkisi altındaki davranışı konusunda, son yirmi yıl içinde oldukça yoğun bir araştırma faaliyeti sürdürülmüş, yapıların rüzgarın dinamik etkisi altında analizi ve boyutlandırılması konusunda önemli gelişmeler sağlanmıştır.

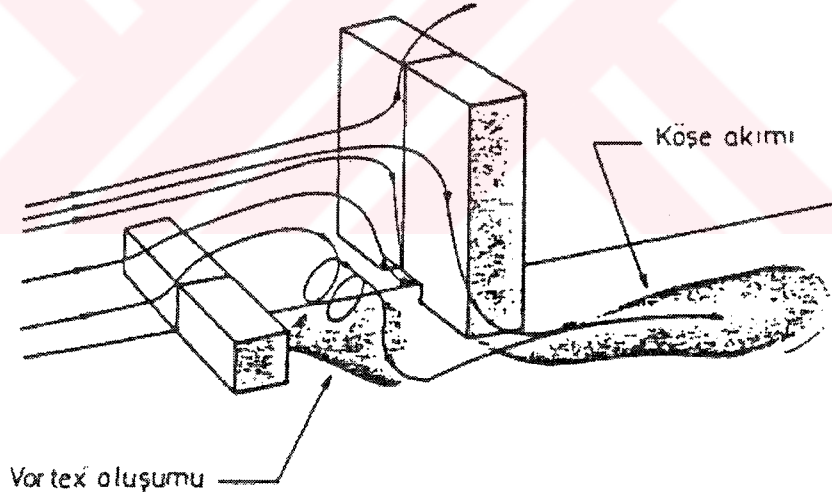
Yüksek yapıların olduğu kadar diğer tip taşıyıcı sistemlerin projelendirilmesinde kullanılmış olan klasik rüzgar yükü yaklaşımı, yapıya rüzgar basıncının düzenli ve sürekli biçimde etkiğini kabul eder. Bu yaklaşımın avantajı, rüzgar tüneli tesisleri ile saptanabilen bir rüzgar basıncı katsayısının kullanılmasına olanak sağlamasıdır. Bu yaklaşımla yapılan boyutlandırmada kullanılan rüzgar hızı; rutin meteorolojik ölçülere dayanılarak yapılan dakikalık veya saatlik rüzgar hızlarının ortalamasından veya rüzgar hızının maksimum darbe hızlarından yararlanılarak saptanır. Genellikle hızın yükseklikle değişimi, rüzgarın darbe hızının yükseklikle değişimine veya rüzgar hızının ortalama değerinin yükseklikle değişimine dayanılarak tanımlanmıştır. Bu hıza dayanılarak hesaplanan rüzgar basınç değerleri, yapının çeşitli taşıyıcı elemanlarına (ana taşıyıcı çerçeve, rüzgar bağlantıları v.b.) etkilerle boyutlandırma yapılır. Ülkemizde kullanılan TS498 kod isimli yük standardı da rüzgar yükünü bu yaklaşımla tanımlar.

Her ne kadar uygulama kolaylığı sağlıyorsa da; rüzgar yükünün, çok katlı yüksek yapılar gibi esnek taşıyıcı sistemler için bu yaklaşımla değerlendirilmesi gerçekte bağdaşmamaktadır. Zira,klasik yöntemde yapı üzerindeki rüzgar basıncının hesabına dayanak teşkil eden rüzgar hızı üniform ve düzenli karakterde değildir. Doğrultusu ve şiddeti türbülans etkisi

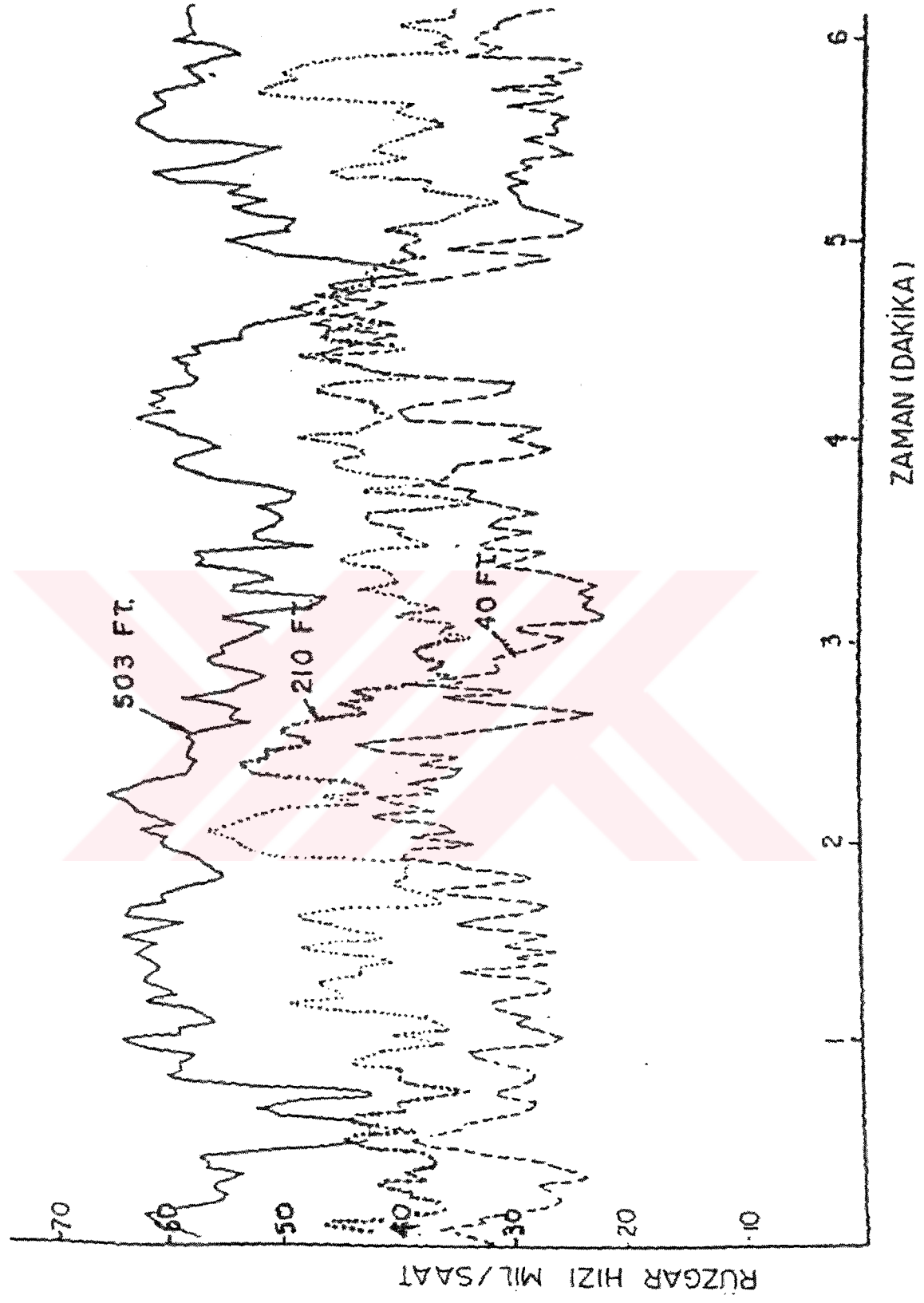
nedeniyle keyfi olarak değişir. Rüzgar hızı bir maksimum noktasından geçerse buna rüzgarın darbe etkisi denir. 150 m yüksekliğindeki bir anten direğinin üç değişik seviyesinde yapılan rüzgar hızı kayıtları Şekil 1.38' de görölmektedir.

Şeklin tetkikinden açık olarak görölmektedir ki, rüzgarın yapısı oldukça darbeli bir karakter göstermektedir. Bu nedenle rüzgarın, bir ortalama bileşen ve bir de dalgalanan bileşeninin toplamından oluştuğu kabul edilebilir. Rüzgarın ortalama bileşeni ortalama 10 dakikalık bir kayıt süresi içinde önemli bir değişiklik göstermez. Fakat yükseklikle değişir. Bu değişimin şekli, bölgenin pürüzlülük özelliğine bağlıdır. Örneğin; şehir merkezlerinde, ağaçlık açık arazide, çıplak ve düz arazide değişik formdadır (Şekil 1.39).Bu şekilden de görüldüğü gibi; pürüzlü bölgelerde rüzgar hızı, yüzeye yakın yüksekliklerde pürüzsüz bölgelere nazaran daha düşük olmaktadır.

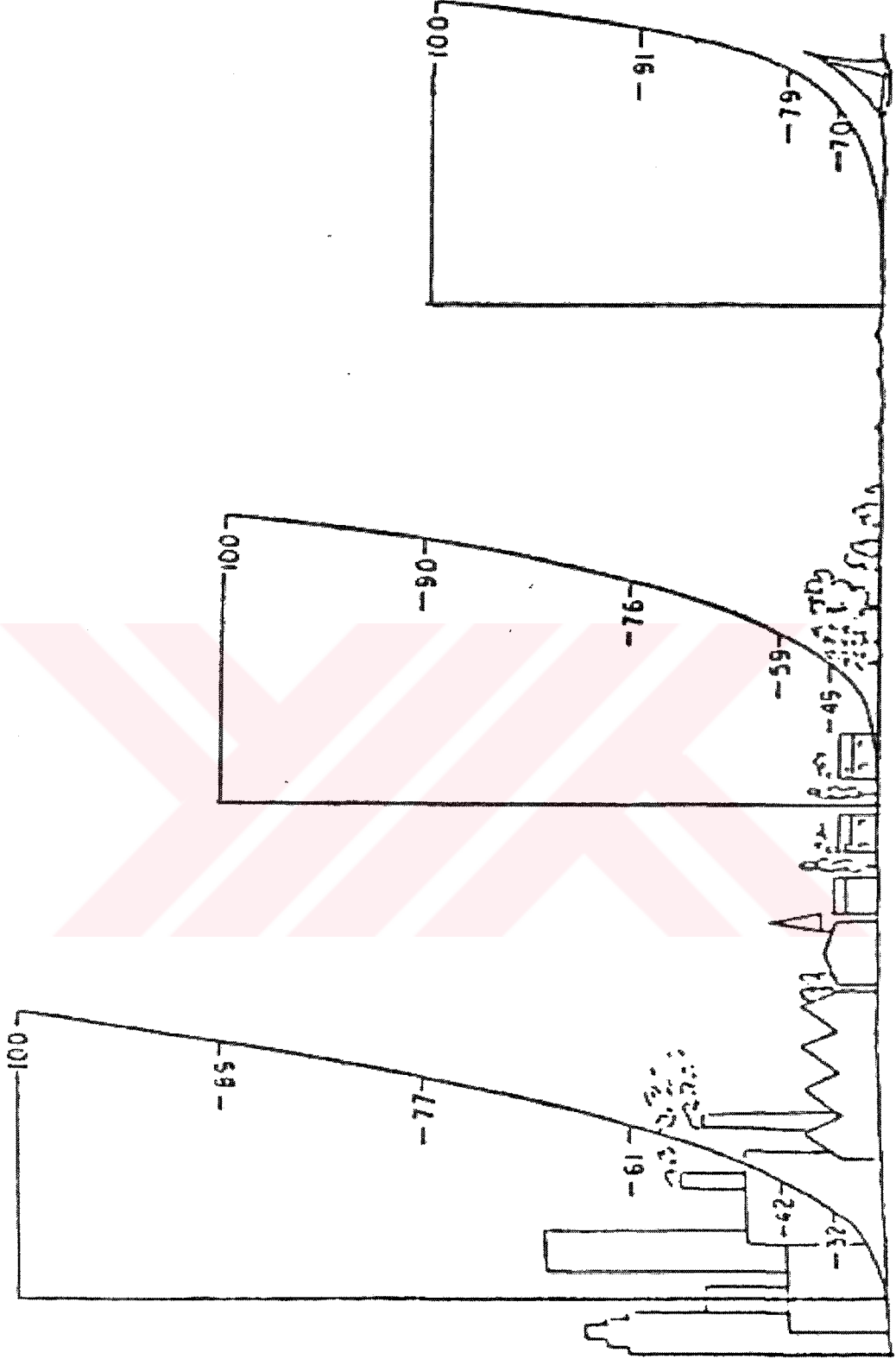
Buna karşılık pürüzlü bölgelerde, dalgalanan bileşenin şiddeti, pürüzlülüğün oluşturduğu türbülansın şiddeti nedeniyle, pürüzsüz açık alanlardakinden oldukça yüksektir. (Şekil 1.37)



Şekil 1.37 Pürüzlü bölgede oluşan türbülans (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



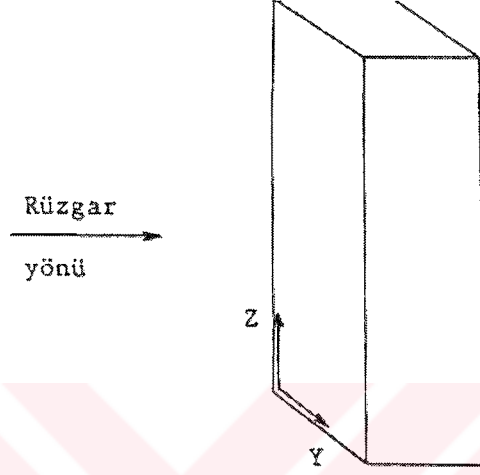
Şekil 1.38 Üç değişik yükseklik için rüzgar hızı kaydı (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



Şekil 1.39 Çeşitli pürüzlülükteki yüzeylerde ortalama rüzgar hızı profili (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

Böylece Şekil 1.40' da görülen yapının rüzgara dik cephesi üzerindeki bir noktada rüzgar hızını, yukarıda tanımlanan iki bileşeni göz önünde tutarak şu formda yazmak mümkündür.

$$U(Y,Z,t) = V(Z) + u(Y,Z,t) \quad (1.1)$$



Şekil 1.40 Rüzgara dik cephe (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

Burada; $V(Z)$ ortalama rüzgar hızıdır, u ise rüzgar hızının dalgalanan bileşenidir. $V(Z)$ ortalama hızının hesaplandığı zaman aralığı ülkeden ülkeye değişmektedir. Örneğin İngiltere ve Kanada' da bir saatlik zaman aralığı kullanılırken, Japonya'da 10 dakikalık bir süreç için hesap yapılmaktadır. $V(Z)$ ortalama rüzgar hızı klasik rüzgar yükü yaklaşımında kullanılan hızdır. Öte yandan dalgalanan rüzgar hızı bileşeni (Y,Z,t) koordinatlarına keyfi olarak bağlıdır. Hatta, ortalama rüzgar hızı bileşeni bile verilen bir zaman ve yükseklik için keyfi olarak değişen bir büyüklük olarak ele alınabilir. Görülmektedir ki; bunlara dayanılarak hesaplanan rüzgar basıncı değerleri ve bunların yerel koordinatlara ve zamana bağlı olarak değişim karakterleri, klasik yaklaşımda göz önüne alınmamaktadır.

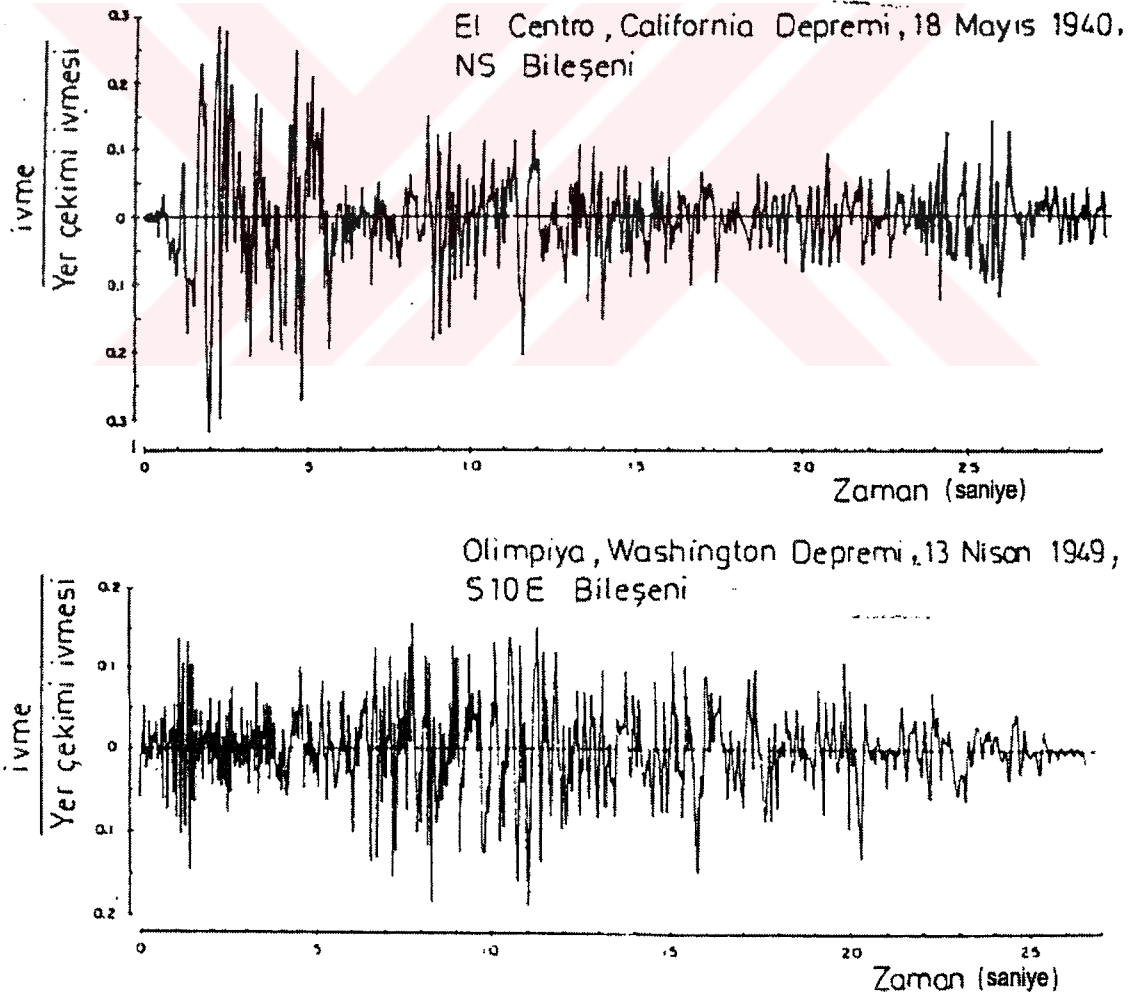
2. DEPREM HAREKETİ

Deprem sırasında meydana gelen yer hareketi, yer kabuğunda meydana gelmiş olan gerilme yığılmalısının veya deformasyon enerjisi birikiminin jeolojik fay hatlarında meydana gelen ani kaymalarla serbest kalması sonucu ortaya çıkan sismik dalgalar tarafından oluşturulur. Fay hatlarında meydana gelen bu enerji boşaltmasının çeşitli tipteki mekanizmaları ve yer kabuğunun oluşumunun oldukça karmaşık olması nedeniyle, yer kabuğunun yüzündeki deprem hareketi oldukça karmaşık ve keyfidir. Deprem dalgalarının karakteristikleri zaman eksenini boyunca değişim gösterir. P (Primer, boyuna dalgalar) dalgaları önce gelir. Bunu S (Sekonder, enine dalgalar) dalgaları ve daha sonra da asıl yıkıcı dalgalar olan ve P ve S dalgalarının sert bir kayaya çarpıp geri yansmasıyla oluşan yüzey dalgaları gelir. Deprem açısından aktif bölgelerde yer alan birçok ülkede, deprem bölgelerini oluşabilecek depremin şiddetine göre tanımlayan sismik bölge haritaları hazırlanmıştır. Bu haritaların hazırlanmasında geçmişte tespit edilmiş deprem datalarından, fay hatlarında meydana gelen yeni aktivitelerden, v.b. yararlanılmıştır. Bir fay hattında oluşturulan deprem dalgaları, dilatasyon (basınç) ve rotasyonel (kayma) gerilmesi dalgaları olarak adlandırılırlar ve fay hattındaki gerilme birikimi potansiyelinin meydana gelen kayma deformasyonu ile birlikte düşmesi nedeniyle oluşurlar. Bu dalgalar, yer yüzeyinden yansırken, yüzey dalgalarını oluştururlar. Basınç dalgalarının kaya ortam içindeki yayılma hızı; kayma dalgalarının yayılma hızınının 1.8 katı ve yüzey dalgalarının yayılma hızı ise kayma dalgalarınıninkinin 0.9 katıdır. Dalga hızları arasındaki bu fark nedeniyle, bu dalgalar fay hattından belirli uzaklıktaki bir noktaya, daha önce de belirtildiği gibi farklı zamanda ulaşarak, birbirlerinden ayırt edilebilirler. Basınç dalgalarının, kayma dalgalarından daha yüksek frekansta olduğu gözlenmiştir. Öte yandan yüzey dalgalarının çok daha uzun periyotlu ve büyük deplasman amplitüdüne sahip olduğu saptanmıştır. Yüzey dalgaları, bu özellikleri nedeniyle ve yüksek yapıların öz periyodlarınının diğer yapılara oranda daha uzun olması yüzünden, bu yapı tiplerini daha çok etkiler.

Eğer fay hattındaki kayma deformasyonu nispeten küçük bir alan üzerine yayılırsa, bağlı olarak nispeten küçük ölçekte bir deprem oluşur. Öte yandan, eğer kayma deformasyonu nispeten büyük bir bölgeye yayılırsa, daha büyük ölçekte bir deprem oluşacaktır. Daha büyük ölçekteki depremlerde tedbir alınmadığı müddetçe daha fazla ölüm ve daha fazla maddi kayıp olacağı aşikardır. Buda fazla gelişmemiş ülkeler için çabucak toparlanması çok büyük maddi ve manevi bir kayıptır

2.1 Deprem Ölçeği Ve Episantr

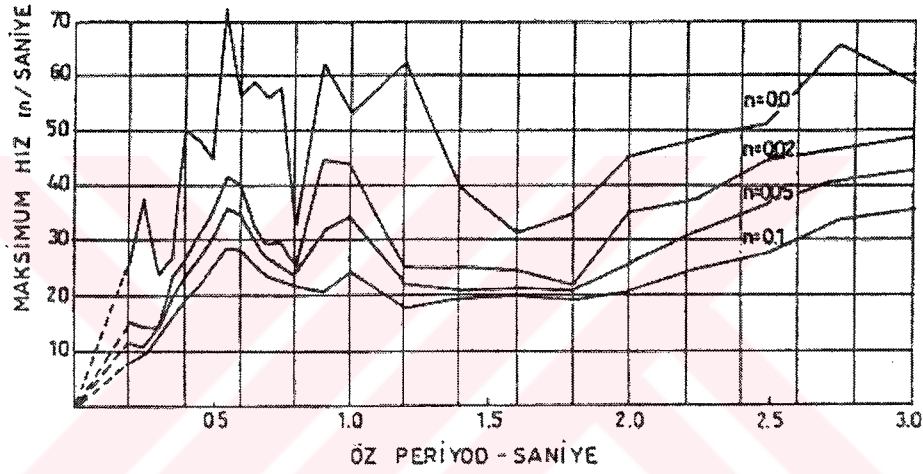
Sismoloji bilimiyle uğraşanlar depremin boyutunu genellikle Richter sayısı ile tanımlar, depremin yerini episentir'ı (dış merkez) ile belirler ve şiddetini ise Modified-Mercalli şiddet sayısı ile tanımlarlar. Sözü edilen bu üç terim, sismoloji ile uğraşanlar için bir depremin tanımlanması açısından önemli anlamlar taşımakla beraber, bir depremin yapı mühendisliği açısından şiddetini belirleyen en iyi ölçüt, deprem sırasında kayıt edilmiş akselerogramlardır. Sismolojistler, fay hattı üzerinde kayma deformasyonunun olduğu noktayı belirlemek için sismografik kayıtlardan yararlanırlar. Bu nokta depremin odağı veya hiposentir'ı olarak adlandırılır. Bu noktanın yer yüzünde tam üstünde yer alan noktaya ise depremin Episentir'ı adı verilir.



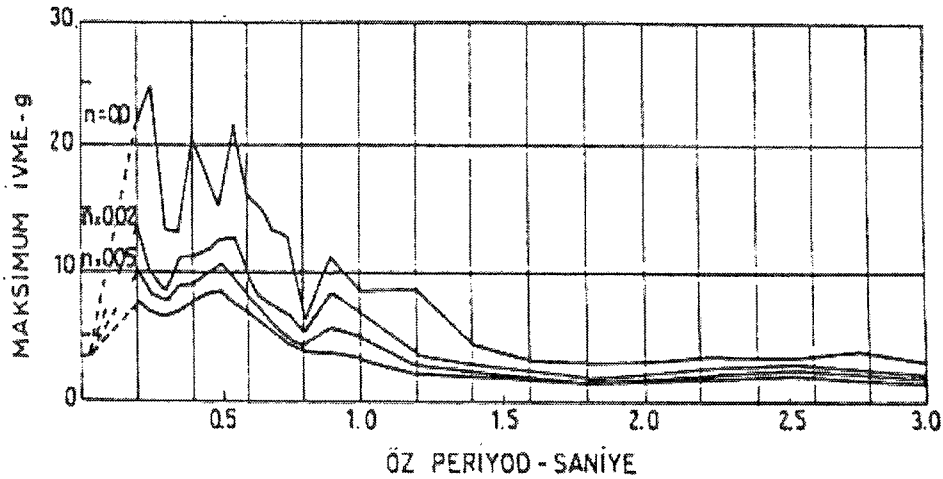
Şekil 2.1 Deprem kayıtları (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

2.2 Deprem Spektrumu

Deprem hareketinin yapıya etkisini tanımlamak için genellikle cevap spektrumları kullanılır. Cevap spektrumları, yer ivmesine maruz bırakılmış; tek serbestlik dereceli, T periyotlu, n sönüm oranlı pandüllerin, maksimum tepkilerinin bir diyagramıdır. Bu maksimum cevap, tek serbestlik dereceli pandülün yer ivmesi etkisi sırasında ulaştığı en büyük rölatif deplasman S_d , rölatif hız S_v , veya ivme S_a olabilir. (Şekil 2.2, Şekil 2.3) Rölatif deplasman ve rölatif hız, tabirlerinin kullanılmış olmasının nedeni, bunların; pandülün yer hareketiyle aynı hareketi yapan mesnet noktasına göre ölçülmüş olmasıdır. Cevap spektrumları, çeşitli periyot ve sönüm oranı değerleri için hesaplanırlar. Spektrum eğrilerinden yararlanılarak; belirli modlara ait periyotların ve sönüm oranlarının bilinmesi halinde, bir yüksek yapının hangi



Şekil 2.2 Hız spektrumu, El Centro, California, 18 Mayıs 1940, NS bileşeni (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)



Şekil 2.3 İvme spektrumu, El Centro, California, 18 Mayıs 1940, NS bileşeni (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

modunun hangi şiddette titreştiğini saptamak mümkündür. Hatta, yapının mod şekillerinin de bilinmesi halinde, tüm yapının, cevap spektrumunun ait olduğu yer hareketi etkisi altında ulaşabileceği en büyük rölatif deplasman, rölatif hız ve ivme değerlerinin saptanması mümkündür.

2.3 Zemin Koşullarının Yapının Deprem Cevabına Etkisi

Deprem etkisi altında yapılarda meydana gelen hasar, zemin karakteristiklerinden, çeşitli yollarla etkilenir. Bazı hallerde, yapı hasarları zeminin tümsel stabilite kaybı sonunda ortaya çıkar. Zeminde büyük kalıcı yer değiştirmeler oluşur ve yapı önemli deformasyonlara maruz kalarak hasar görür. Örneğin, yapı zemini gevşek granüler tabakalardan oluşuyorsa, deprem etkisi altında önemli oturmalar veya farklı oturmalar neden olarak yapının hasarına sebep olur. Şili'de bir ada, 1960 Şili depremi sırasında zemin oturmaları ve tektonik yer hareketleri nedeniyle tamamen denize gömülmüştür.

Zeminin doygun ve gevşek granüler malzemeden oluşması halinde, deprem etkisi altında zeminin sıkışması, şiddetli hidrostatik basınç gerilmesi oluşumuna ve bu nedenle de zeminin sıvılaşmasına neden olur. Bunun sonucunda, büyük oturmalar nedeniyle yapılar zemine gömülür. Doygun ve gevşek kum zeminlerde meydana gelen sıvılaşma sonunda, Japonya'da 1964'te meydana gelen deprem sırasında binlerce yapı hasar görmüştür.

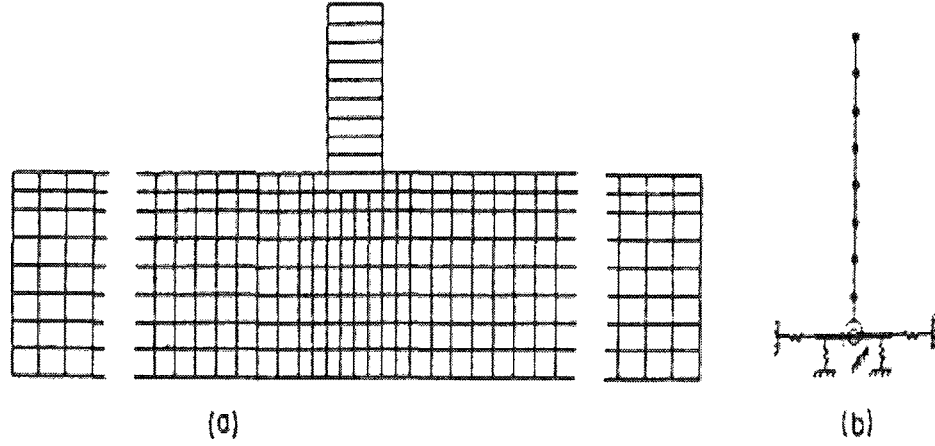
Bu nedenlerle, yerleşim bölgelerinin yapılaşması sırasında temel zemininin araştırılmasına önem verilmelidir.

2.4 Deprem Etkisi Altında Yapı-Zemin Karşılıklı Etkisi

Bir çok katlı yapı ile temel zeminin karşılıklı etkisi, iki grupta toplanabilir;

- 1) Yapı ile zeminin kontak yüzeyinde meydana gelen gerilme ve deformasyon oluşumundan kaynaklanan fiziksel karşılıklı etki. Bunun sonuçları, deprem etkisi altında yapıya bitişik zemin tabakalarının dinamik davranışının değişmesi, yapının periyodunun değişimi veya temel zemininin dönme deformasyonları nedeniyle yapının üst katlarındaki deplasman değerlerinin değişmesidir.
- 2) Yapıların deprem sırasındaki davranışına kaya tabakasından yansıyan deprem hareketine, yapı tabanı ile kaya tabakası arasında yer alan zemin tabakalarının cevabının etkisi.

Gerçekte yapı ve yapı tabanından kaya tabakasına kadar yer alan zemin tabakası, kaya tabakasından intikal eden deprem hareketine birlikte cevap verirler. Bu cevabın hesaplanması amacıyla çeşitli analitik modeller üretilmiştir. Bunların içinde en gelişmiş olanı Şekil 2.4a

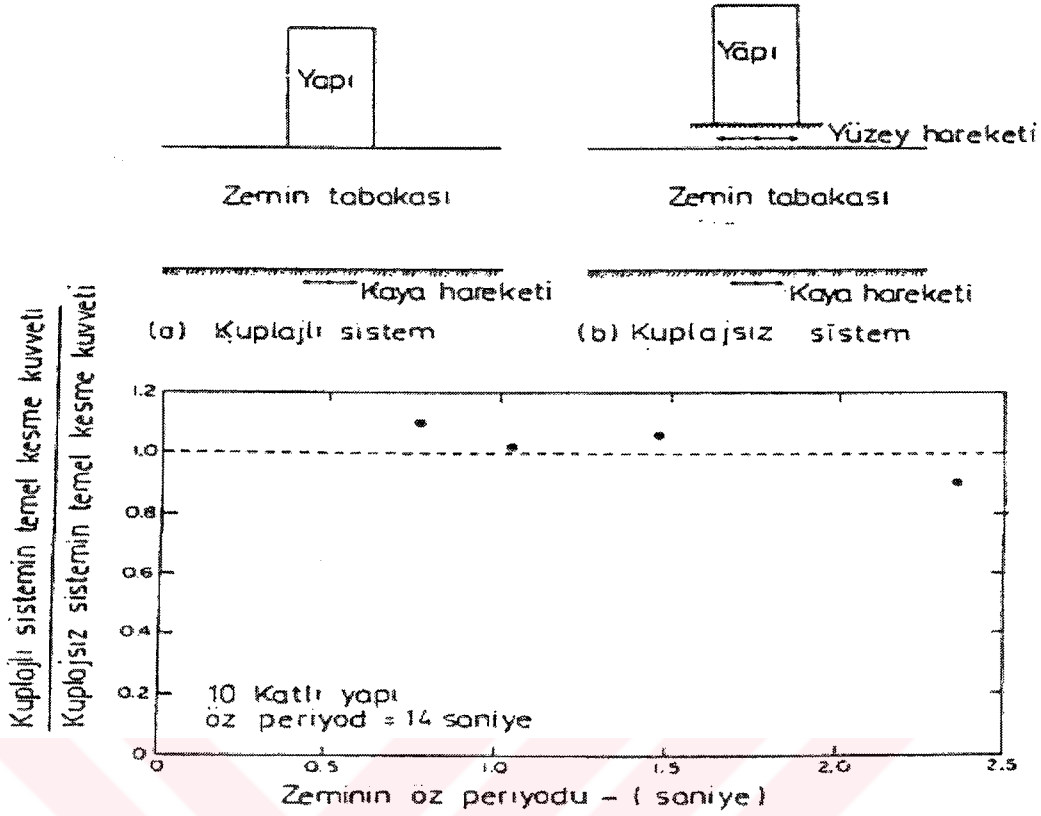


Şekil 2.4 Zemin tabakasını analitik modeli (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

da görülen sonlu eleman modelidir. Bu model sayesinde, komple zemin yapı taşıyıcı sistemini, iki veya üç boyutlu olarak deprem hareketi etkisi altında analiz etmek mümkündür.

Bu amaçla kullanılabilir basit bir model Şekil 2.4b de görülmektedir. Bu model, zemin karakteristiklerini ifade eden bir yay sistemi üzerine mesnetli, tekil kütleli bir konsol elemandan oluşmaktadır. Bu modeli oluşturan yay sisteminin rijitliklerini, zemin özelliklerine uygun olarak dikkatle seçmek gerekir. Ayrıca yapıyı temsil eden tekil kütleli konsol elemanın rijitliği ile kütle değerlerini, modelin yapıyı en iyi şekilde temsil edecek biçimde seçilmesi gerekir.

Zemin-yapı karşılıklı etkisinin sonuçlarını vurgulamak amacı ile, 30,5 m derinliğindeki zemin tabakası üzerine oturan 10 katlı bir yapı; önce zemin ile yapıyı deprem etkisi altında birlikte çalışıyor kabul ederek (Şekil 2.5a) analiz edilmiştir. Daha sonra önce kaya tabakasından yansıyan deprem hareketi için, 30,5 m yüksekliğindeki zemin tabakasının yüzeyindeki ivme değerleri hesaplanmış; daha sonra bu ivme değerleri Şekil 2.5b' deki rijit temelli yapıya temel hareketi olarak yansıtılarak yapının analizi yapılmıştır. Şekil 2.5c' de, kuplajlı ve kuplajsız hallere ait en büyük zemin-kat kesme kuvvetinin oranı mukayese amacıyla dört ayrı zemin cinsi için verilmiştir.



Şekil 2.5 Zemin-yapı karşılıklı etkileşimi (Özgen ve Bayramoğlu, 2002)

2.5 Yüksek Yapıların Deprem Etkisi Altında Dinamik Analizi

Çok katlı yüksek yapıların deprem hareketine karşı dinamik cevabının analizinin hassas olarak yapılabilmesi için, (1) yapıların elastik ve inelastik özelliklerinin iyice anlaşılması ve bu özelliklerin kullanışlı analitik modellerle idealize edilebilmesi; ve (2) yer hareketinin etki süresi içinde hassas olarak tanımlanmış olması gerekir. Ayrıca, bu kapsamlı ve kompleks hesabın yapılabilmesi için yüksek hızlı bilgisayar sistemlerine ihtiyaç olduğu muhakkaktır. Özellikle ABD ve Japonya'da, çok katlı yüksek yapıların idealleştirilmiş modellerini; geçmişte meydana gelmiş ve kaydı yapılmış belirli deprem hareketleri veya deprem hareketinin idealleştirilmiş modelleri kullanılarak analiz edip, dinamik cevaplarını hesaplamak çok yaygın bir yöntemdir. Bu sonuçların güvenilirliğinin derecesi; kullanılan idealleştirilmiş modellerin gerçek yapıyı ne derece temsil edebildiğine ve yine kullanılan deprem hareketi modellerinin yapının ileride maruz kalacağı deprem hareketini ne derecede hesaplara yansıtılabildiğine bağlıdır.

Son zamanlarda; yapı sistemlerinin ve deprem hareketinin, şimdiye kadar sanıldığından çok daha karmaşık olduğu fark edilmiştir. Bu nedenle çok daha gelişmiş modellerin

kullanılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca yapıların projelendirilmesi ve imalatlarının analizlerinde kullanılan modellere uygun olarak yapılmasına dikkat edilmelidir. Bütün bu zorluklara rağmen, bahsi geçen ideal yapı modelleri ve deprem hareketi kayıtları veya ideal deprem hareketi modellerinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar; deprem standartlarının öngördüğü statik eşdeğer deprem yükü yaklaşımı ile elde edilenlere oranla, gerçeğe çok yakındır.

Dinamik analizde kullanılacak modeller; tekil kütleli, yayılı kütleli, elastik veya elasto-plastik olabilir. Deprem hareketi, cevap spektrumu ve zamana bağlı yer ivmesi kayıtları formunda mevcuttur.

Dinamik analiz, yapının genel hareket denklemlerinin, yaklaşık nümerik entegrasyon yöntemlerinden biri ile (Newmark-Beta, Sabit ivme, Wilson-Teta v.b.) entegre edilmesi suretiyle, normal mod teorisi yardımıyla, deprem spektrumları kullanılarak yapılabilir. Ayrıca, yüksek yapıların elastik ve plastik bölgede depreme karşı dinamik analizini yapabilen birçok bilgisayar programı da geliştirilmiş ve yapı mühendislerinin kullanımına sunulmuştur.

Ayrıca, dinamik analizde kullanılan ve yapıyı en iyi şekilde temsil etmesi arzulanan analitik modellerin, gerçek yapıyı daha iyi temsil edebilmeleri için geliştirilmeleri amacıyla, mevcut yapılar üzerinde, bu yapılara zorlanmış titreşim yaptıran düzenler kullanılarak ölçümler yapılmalıdır. Bunun için izlenecek diğer bir yol; mevcut çok katlı yüksek yapıların çeşitli kat seviyelerine ivme ölçücü aletler yerleştirilip, bunları kaydedici ve değerlendirici aletlere bağlayarak, muhtemel bir deprem etkisi altında yapının davranışı hakkında bilgi sahibi olmak ve bu verilere dayanarak mevcut analitik modelleri geliştirmektir.

2.6 Deprem Standartları

Çeşitli ülkelerce hazırlanmış olan deprem standartlarının amacı deprem sırasında oluşabilecek insan kaybını ve sakatlanmaları asgari seviyeye indirmek, hayati hizmetlerin devamını sağlamak, mal kaybını asgari seviyeye indirmektir.

Bazı ülke standartları; uygun deprem kayıtları kullanılarak gerekli bölge ve zemin koşullarını hesaba katarak, dinamik analiz yapılmasını önermektedir. Bu tür bir dinamik analiz daha ziyade narin çok katlı yapılar ve çok önemli fonksiyonları olan yapılar için önerilmektedir.

Daha yaygın olarak depremin yapı üzerindeki dinamik etkisini temsil eden statik eşdeğer yüklerle statik analiz yapılması önerilmektedir. Bu statik eşdeğer yük değeri, sismik değişimi içeren, yapı tipinin etkisini belirleyen, zemin koşullarının etkisini yansıtan, yapının kullanılış amacının etkisini işin içine sokan, düzeltme faktörlerini içermektedir. Birçok standartta ise

çok katlı yüksek yapılar için özellikle dikkatli davranılması önerilmektedir.

Bu standartların içerdiği ana hususlar şunları içermektedir; yatay kesme kuvvetinin dağılımı, devrilme momentinin ve kat düzleminde burulma momentinin hesabı, yanal deplasman limiti, komşu yapılar arası mesafe, yapı boyunca yatay kesit formunun değişimi ve boyutlandırmada uyulacak kurallar, özellikle gerekli düktilite seviyesinin sağlanması için öneriler.

2.Yapı yüksekliği boyunca yanal sismik kuvvetler aşağıda verilen metotlardan biri ile saptanabilir:

- 1) Yapıya etkiyen toplam deprem kuvveti, temel kesme katsayısı adı verilen bir katsayı yardımı ile hesaplanır. Yapının deprem sırasındaki davranışı esas alınarak yapı yüksekliği boyunca dağıtılır.
- 2) Yapının her katı seviyesindeki deprem kuvveti yanal deprem katsayısı adı verilen bir katsayı yardımıyla direkt olarak saptanır. Bu katsayılar genel olarak yapı yüksekliği boyunca değişir. Bu değişimin saptanmasında, yapının deprem sırasındaki davranışı esas alınır.

Temel kesme katsayısı veya yanal deprem katsayısı aşağıdaki faktörler esas alınarak hesaplanır:

- 1) Yapının dinamik özellikleri (tabi periyodu, mod şekilleri, sönüm katsayısı)
- 2) Yapı tipi (düktilite veya enerji yutma kapasitesi,sönüm karakterleri v,b.)
- 3) Yapının kullanımına bağlı olarak önemi
- 4) Bölgenin sismik özelliği
- 5) Temel zemini özellikleri
- 6) Emniyet gerilmeleri ve yük faktörleri

Genellikle sadece depremin yatay bileşeni göz önünde tutulur ve yapının iki ana ekseninden biri istikametinde etkidiği kabul edilir. Bazı hallerde dişey deprem kuvveti de hesaba katılmalıdır.

Dünyanın en çok kullanılan deprem standartlarında tanımlanan deprem yükü aşağıdaki formda tanımlanır.

$$F = C(Z, I, S, K, T) W \sum f_i \quad (2.1)$$

veya;

$$f_i = k_i (Z, T, S, K, T) w_i \quad (2.2)$$

burada;

F = toplam deprem yükü veya temel seviyesindeki kesme kuvveti

f_i = i ile tanımlanan yapı seviyesine etkiyen yanal deprem kuvveti

C = sismik temel kesme katsayısı

k = yapının i ile tanımlanan seviyesine ait yanal sismik katsayı

W = deprem hesabında kullanılan toplam düşey yük

w_i = i seviyesine W yükünden düşen pay

Z = sismik bölge faktörü

I = yapı önem katsayısı

S = zemin katsayısı

K = yapı tipi katsayısı

T = yapının göz önüne alınan doğrultuda tabii periyodu

- **ABD:**

Uniform Building Code isimli standart deprem yükünü aşağıdaki formda tanımlamıştır:

$$F = C (Z, I, S, K, T) W = ZISK \frac{1}{15\sqrt{T}} W \quad (2.3)$$

burada;

Z=1.0, 3/4, 3/8, 3/16

I=1.5, 1.25, 1.0

$$\left. \begin{aligned} S &= 1.0 + \frac{T}{T_s} - 0.5 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2 & \frac{T}{T_s} \leq 1.0 \text{ halinde} \\ S &= 1.2 - 0.6 \frac{T}{T_s} - 0.3 \left(\frac{T}{T_s} \right)^2 & \frac{T}{T_s} < 1.0 \text{ halinde} \end{aligned} \right\} S \geq 1.0$$

$$T \leq 0.3 \text{ saniye}$$

T_s = karakteristik bölge periyodu (saniye)

$$0.5 \leq T_s \leq 2.5$$

$$K = 1.33, 1.10, 0.8, 0.67$$

$$\frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12 \quad ; \quad \frac{1}{15\sqrt{T}} S < 0.14$$

$$f_i = \frac{(F - f_t) w_i h_i}{\sum_{x=1}^n w_x h_x} \quad (2.4)$$

burada;

$$F = \sum_{i=1}^n f_i + f_t \quad ; \quad f_t = 0.07FT < 0.25F \quad ; \quad T < 0 \text{ san. İçin; } f_t = 0$$

f_t = narin yapıların en üst katına etkiyen tekil kuvvettir.

• **YENİ ZELANDA:**

Bu standartta deprem yükü aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$F = C (Z, T, R, S, K, T) = [Z, S, T] \text{ IRKW} \quad (2.5a)$$

$$F = C_0 \text{IRKW} \quad (2.5b)$$

C_0 = değeri şu şekilde tanımlanmıştır: A bölgesi için hiçbir parantezli değer hesaba katılmayacaktır; B bölgesi için () parantezli değer alınacaktır; C bölgesi için [] parantezli değer alınacaktır. Rijit ve orta zeminlerde;

$C_0 = 0.15, (0.125), [0.1]$ $T \leq 0.45$ san.

$C_0 = 0.075, (0.0625), [0.05]$ $T \geq 1.2$ san.

0.45 < T < 1.2 arasında lineer değişim söz konusudur.

Esnek zeminlerde;

$C_0 = 0.15, (0.125), [0.01]$ $T \leq 0.6, (0.7), [0.8]$

$C_0 = 0.0825, (0.075), [0.065]$ $T \geq 1.2$ san.

0.6, (0.7), [0.08] < T < 1.2 için lineer değişim vardır. Ayrıca 2.5 denklemlerinde;

I = 1.0, 1.3, 1.6 ; R = 1.0, 1.1, 2.0, 3.0

K = K'.M

K' = 0.8, 1.0, 1.2, 1.6, 2.0, 2.5 ; M = 0.8, 1.0, 1.2

R = risk faktörü; K' = yapı tipi katsayısı; M = yapı malzemesi faktörü'dür. Ve

$$f_i = \frac{(F - f_t) w_i h_i}{\sum_{x=1}^n w_x h_x} \quad (2.6)$$

burada;

$F = \sum_{x=1}^n f_i + f_t$; ve narin yapılarda;

$f_t = 0,1F$

Bazı özel yapı tipleri için spektrum analizi önerilmektedir. Gerektiğinde buna ilaveten

nümerik entegrasyona dayalı bir dinamik analiz yöntemi kullanılabilir.

• **JAPONYA:**

Yapı standart kanunu, deprem yükünü şöyle tanımlamaktadır;

$$f_i = k_i(Z, S, K)W_i \quad (2.7a)$$

$$f_i = Z [SK] 0.2 W_i \quad 0 < H \leq 16 \text{ m} \quad (2.7b)$$

$$f_i = Z [SK] (0.2 + \Delta) W_i \quad 16 \text{ m} \leq H \quad (2.7c)$$

Burada H = yapı yüksekliğidir;

$$Z = 1, 0.9, 0.8; \quad [SK] = 0.6, 0.8, 1.0, 1.5;$$

$Z [SK] \geq 0.5$; ve $\Delta = 16$ metreyi aşan her 4 m için 0.01 değerindeki artım.

Bu formüller 45 m' ye kadar yüksekliği olan yapılar içindir. 45 m' den daha yüksek yapıların deprem hesabı için, yer ivmelerine dayanan bir dinamik analiz yöntemi kullanılmalıdır.

3. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK ÇERÇEVELERİN TASARIMI*

Çelik yapılar, özellikle 1994'de meydana gelen Northridge ve 1995'de meydana gelen Kobe depremlerinden sonra daha da önem kazanmıştır. Sünek bir yapının enerji yutma özelliği nedeniyle herhangi bir depremde maruz kalacağı yatay yüklerin şiddeti, süneklik düzeyi düşük bir yapıya göre çok daha azdır. Bu özellik, 1997 yılında yürürlüğe giren "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY'97)" tanımlanan deprem yükü azaltma katsayısı ile hesaba katılmıştır. Yönetmeliğin 6.7 Bölümünde (6.4) denklemi ile verilen "Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (Taban Kesme Kuvveti)"

$$V_t = W.A(T_1) / R_a(T_1) \quad (3.1)$$

ifadesinde; W = binanın toplam ağırlığını, $A(T_1)$ = spektral ivme katsayısını, $R_a(T_1)$ = deprem yükü azaltma katsayısını ve T_1 = ise yapının birinci doğal titreşim periyodunu göstermektedir.

$R_a(T_1)$ katsayısının yapının sünekliği ile artması nedeniyle, süneklik düzeyi arttıkça yapıya etkileyen eşdeğer deprem yükü de azalır.

Çelik yapıların deprem etkisi altındaki sünek davranışını değerlendirirken, çeliğin deprem açısından çok önemli bir özelliği ve üç temel taşıyıcı elemanının depreme karşı davranışını incelenmelidir.

Bunlar şöyle sıralanabilir:

- 1) Süneklik, enerji yutma kapasitesi ve plastik mafsallık özelliği
- 2) Güçlendirilmiş çerçeve sistemleri
- 3) Güçlendirilmemiş rijit çerçeve sistemleri

3.1 Süneklik Ve Enerji Yutma Özelliği

Çelik, elastik sınırın ötesinde plastik bölge içerisine yüklendiğinde, tekrarlı boşaltma, ve tekrarlı yüklenme esnasında çeşitli özellikler gösterir. İlk özellik, $\sigma = 0$ seviyesine boşaltma ve tekrar yüklenme halinde Şekil 3.1 (a)' da görüldüğü gibi rijitlik E olmak üzere, davranış elastiktir. Yine aynı şekilden görüldüğü gibi, gerilmenin boşaltıp aksi istikamette gerilmesi

* Uzgider E. , Deren H., Piroğlu F. "Çelik Yapılar", İstanbul, Kasım 2002, Bölüm 13'den alınmıştır.

halinde ($\sigma = -\sigma_y$), akma noktasındaki keskin köşe kaybolmakta, akma daha çabuk başlamaktadır. Bu davranış Bauschinger etkisi olarak bilinir. Eğer gerilmenin geriye dönüşü, gerilme pekleşmesi bölgesine geçilmeden önce başlarsa Şekil 3.1 (a)' dan görüldüğü gibi geriye yüklenme halinde de akma platosuna rastlanır. Öte yandan Şekil 3.1 (b)' den görüldüğü gibi, gerilme pekleşmesi bölgesine girildikten sonra, takip eden çevrimlerde akma platosu kaybolur.

Çeliğin en önemli iki özelliği, sünekliği ve tekrarlı inelastik yükleme altında enerji yutma kapasitesidir. Bir çelik elemanın plastik uzaması veya kısalması için ihtiyaç duyulan enerji, plastik kuvvet ile plastik deformasyonun çarpımı olarak hesaplanır ve histerik enerji olarak adlandırılır. Kinetik ve elastik deformasyon enerjisinin tersine, histerik enerji geriye dönüşü olmayan, sarf edilmiş enerjidir. Şekil 3.1 (c)' den görüldüğü gibi, artan ve daha sonra boşalan yükleme halinde, E_H olarak gösterilen histerik enerji,

$$E_H = P_y (\delta_{\max} - \delta_y) \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanır. Bu değer, şekildeki gölgeli alana karşılık gelir. Süneklik oranı ise aşağıdaki gibi tanımlanır :

$$\eta = \frac{\delta_{\max}}{\delta_y} \quad (3.3)$$

Tam çevrim bir yükleme-boşalma halinde, Şekil 3.1.(d)' den görüldüğü gibi histerik enerji, yük-deformasyon eğrisi tarafından çevrelenen alandır ve yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

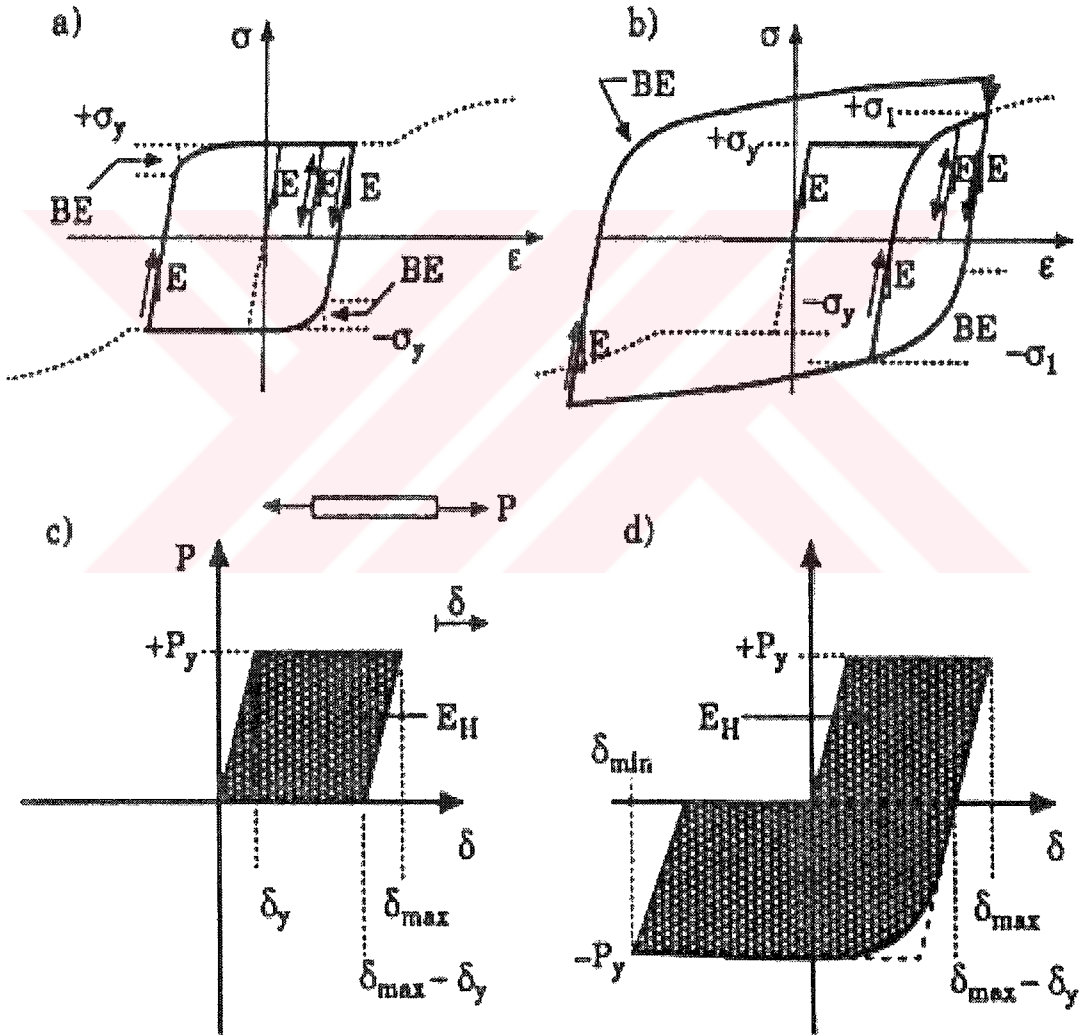
$$E_H = P_y [(\delta_{\max} - \delta_y) + (\delta_{\max} - \delta_{\min} - 2\delta_y)] \quad (3.4)$$

Bu basit tanımlara dayanarak şunu söylemek mümkündür. Bir taşıyıcı sisteme etkiyen deprem

yükü, bu sisteme bir dış enerji uygular. Bu enerjinin karşılığı ise, sistemde harcanan plastik enerji ile depolanan deformasyon enerjisi ve kinetik enerjidir.

$$E_D = E_H + E_e + E_K \quad (3.5)$$

Burada; E_D =deprem enerjisi, E_K =kinetik enerji, E_e = elastik deformasyon enerjisi, E_H =harcanan plastik enerjidir.



BE : Bauschinger etkisi

Şekil 3.1 Çelik malzemede yükleme boşalma davranış eğrileri (Uzgider vd., 2002)

Çelik yapıların yüksek enerji yutma kapasitesinin, deprem etkisi altında yapının dinamik

cevabını sağlayan kinetik ve elastik enerji birikimini azalttığı, bu şekilde de deprem yükü etkisi altında yapıların dayanıklılığını artırdığı anlamına gelir.

3.2 Plastik Mafsal

Sünek çelik yapı tasarımını doğru anlayabilmek için, plastik mafsal kavramının bilinmesi gerekir.

Şekil 3.2 (b)' de görülen, açıklık ortasından P tekil yükü ile yüklenmiş bir basit kirişi ele alalım. Ayrıca, Şekil 3.2 (a)' da verilmiş olan ve çelik yapıların elastik ve plastik tasarımında kullanılan idealleştirilmiş gerilme-deformasyon ilişkisini göz önünde tutalım. P yükünün belirli bir değerinde, kirişin en dış liflerinin akma sınır gerilmesine (σ_y) ulaştığını düşünelim. P' nin değeri daha da artırılsa, bu sefer kesitin en dış liflerine ek olarak tarafsız eksene doğru daha başka lifleri de σ_y akma sınır gerilmesine ulaşır. Bu durum Şekil 3.2 (d)' den açıkça izlenebilir. σ_y akma gerilme sınırına ulaşan kiriş liflerinde, Şekil 3.2 (d)' de verilen gerilme-deformasyon ilişkisi uyarınca, yükün artırılmasıyla gerilme σ_y ' nin üstüne çıkamaz. Buna karşılık, deformasyonlar çok büyük değerlere ulaşabilir. Şekil 3.2 (b) ve (c)' de görüldüğü gibi M_2 , ve M_p momenti (bu moment, tüm kesitin liflerinin σ_y akma sınır gerilmesine ulaştığı duruma karşılık gelir) için plastikleşmiş kiriş bölgesi, gerçekte kiriş üzerine yayılı durumdadır.

Ancak, teorik plastik mafsal kavramında, M_p momentine karşılık gelen plastikleşmenin, bu momentin oluştuğu noktada yer alan kiriş kesitinde meydana geldiği kabul edilir. Maksimum momentin oluştuğu noktada bütün kesitin plastikleştiği hale karşı gelen M_p momentini oluşturan P yükü değeri tekrar arttırılmaya çalışılırsa, M_p , momentinin oluştuğu nokta, bu yük artımı için gerçek bir mafsal davranışı gösterir. Bu durumda, yani kesitin tümünün plastikleştiği ve M_p momentine ulaşıldığı anda, bu kesitin yer aldığı kiriş noktasında "plastik mafsal" oluşmuştur denir. (Şekil 3.2 (b) ve (c))

Burada, M_p = kesitin plastik moment taşıma kapasitesidir ve şöyle hesaplanır;

$$M_p = W_{px} \cdot \sigma_y \quad (3.6)$$

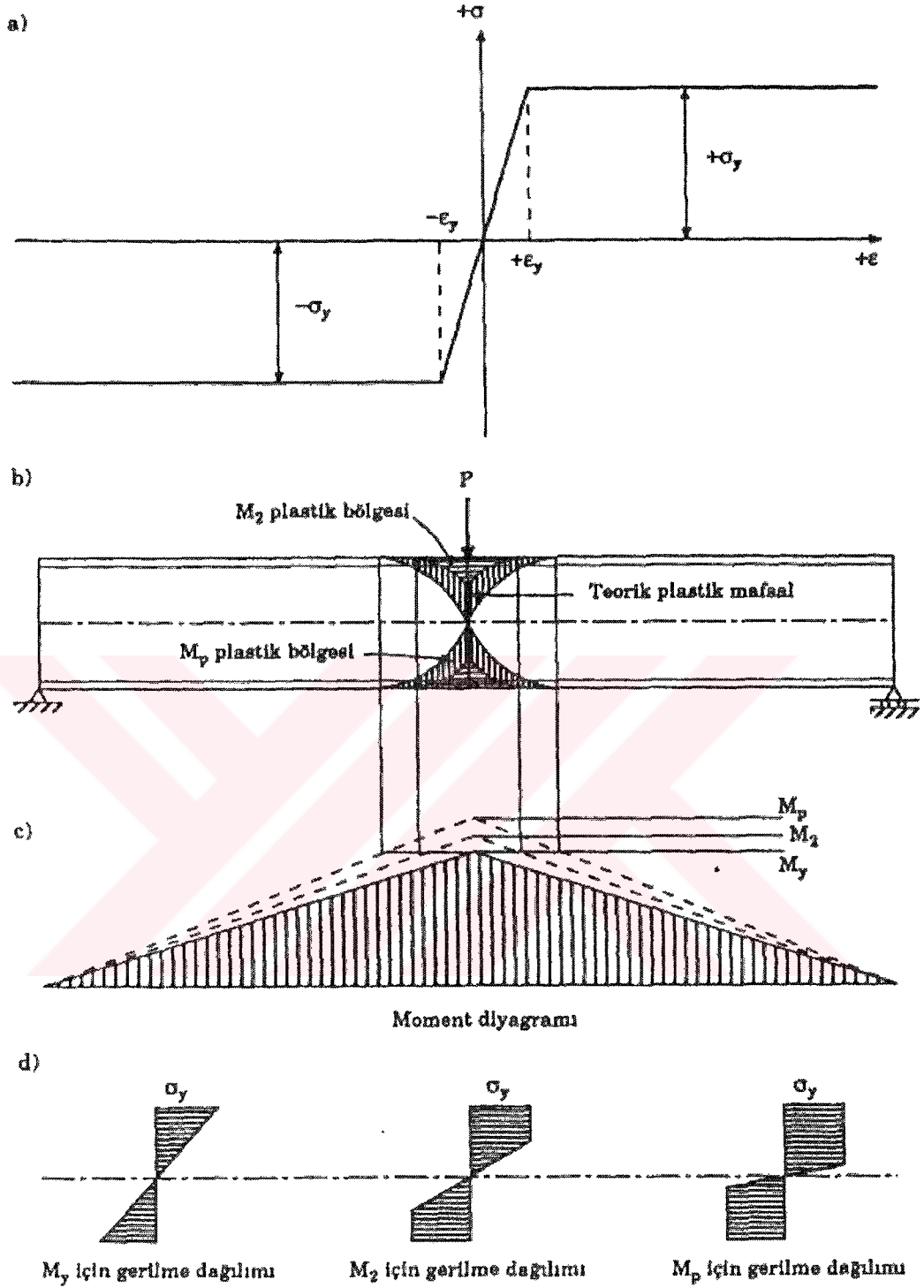
Bu ifadede, W_{px} kesitin plastik mafsal noktasında kesitin plastik moment mukavemetidir ve

aşağıdaki ifadeyle hesaplanır;

$$W_{px} = 2S_x \quad (3.7)$$

Bu ifadedeki S_x = ele alınan kesitin yarısının asal eksenine göre statik momentini; σ_y = akma sınır gerilmesini ifade eder.





Şekil 3.2 Plastik mafsai oluşumu (Uzgider vd., 2002)

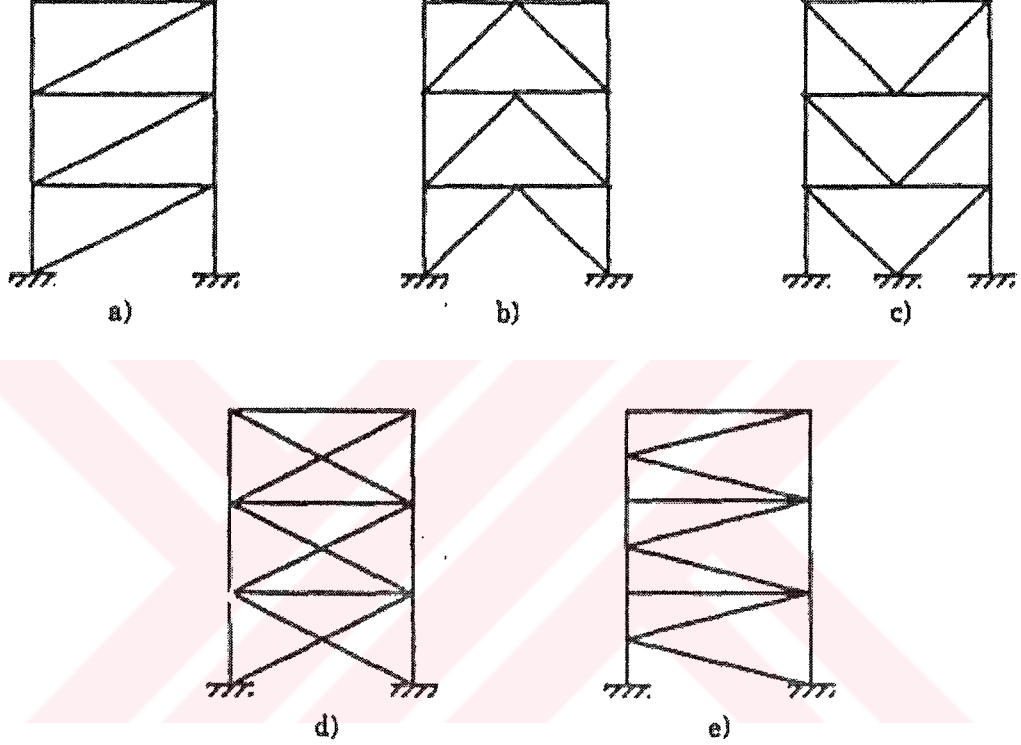
3.3 Sünek Kuşaklanmış Çerçeve Sistemleri

İki tip sismik güçlendirilmiş çerçeve sistemi incelenecektir. Bunlar sırasıyla, Merkezi Kuşaklanmış Çerçeveler (MKÇ) ve Dışmerkez Kuşaklanmış Çerçeveler (DKÇ) şeklinde

adlandırılırlar.

3.4 Merkezi Kuşaklanmış Çerçeve Sistemleri (MKÇ)

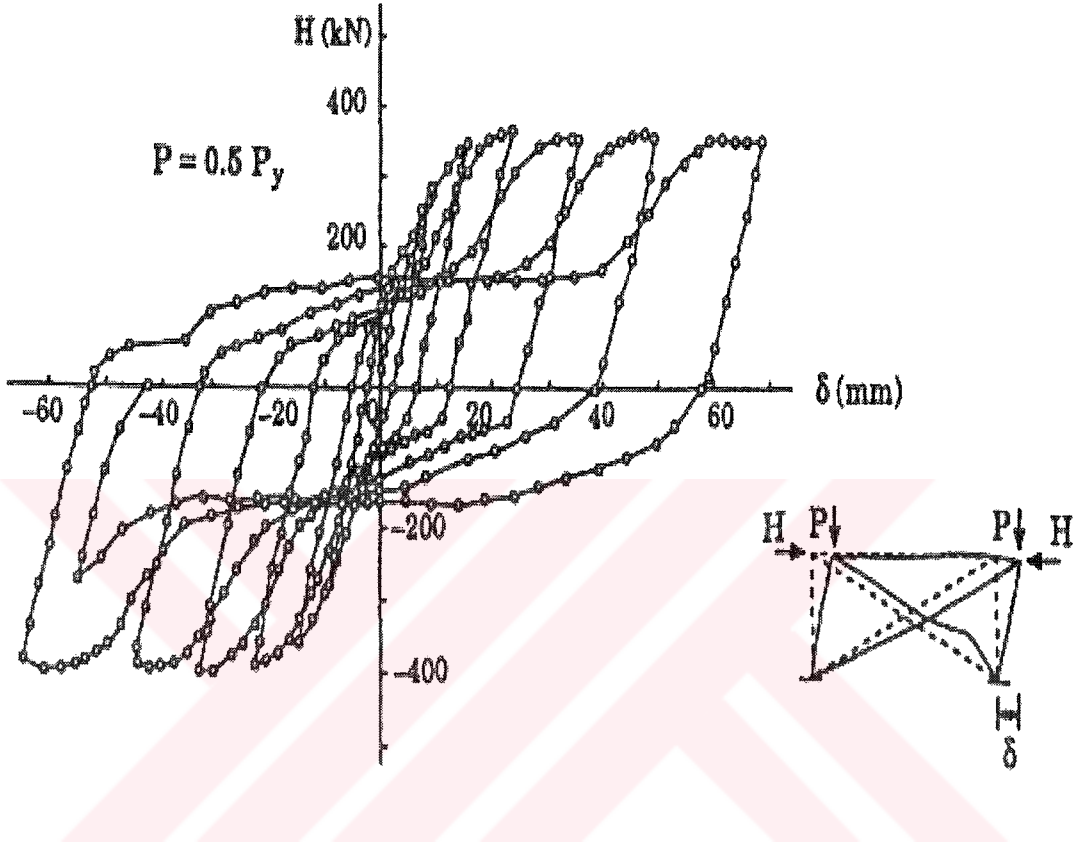
Bu tip sistemlerin, güçlendirilmemiş sistemlere göre oldukça büyük elastik yatay rijitliği vardır. Diyagonal güçlendirilmiş elemanlar ve bunların birleşimleri, MGÇ sistemlerinin ana unsurlarını oluştururlar. Çok kullanılan MGÇ sistemleri Şekil 3.3' de verilmiştir.



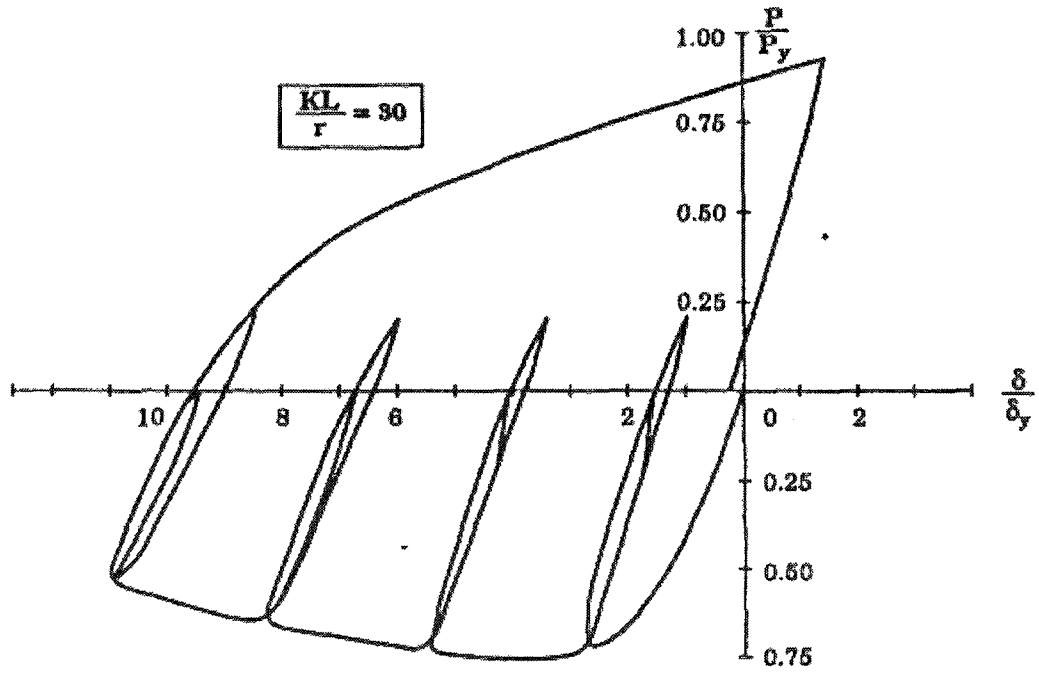
Şekil 3.3 Merkezi kuşaklanmış çerçeveler (MKÇ) (Uzgider vd., 2002)

Şekil 3.3' de verilen MKÇ sistemlerinin çoğu, rüzgar yüklerini lineer elastik bölgede kalarak taşıyabilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Diyagonal güçlendirme elemanları daima çekme kuvveti altında çalışacak şekilde tasarımı yapılan MKÇ sistemleri, genellikle yapılarda rüzgâr yüklerinin taşınması için kullanılır. Bu özellikteki güçlendirme elemanları genellikle korniyer, yuvarlak çelik çubuk veya çelik lama elemanlarıdır. Her ne kadar bu tür MKÇ sistemleri deprem yüklerine karşı koymak üzere kullanılmış olsalar da, bu sistemlerin inelastik çevrimsel cevapları yeterli değildir. Bu tür sistemlerin inelastik çevrimsel cevabına ait örnek Şekil 3.4' de verilmiştir. Öte yandan λ narinliği $\left(\lambda = \frac{KL}{r} \right)$ azaldıkça inelastik çevrimsel davranışlar iyileşmeye, yani enerji yutma kapasiteleri artmaya başlar (Şekil 3.5, 3.6 ve 3.15).

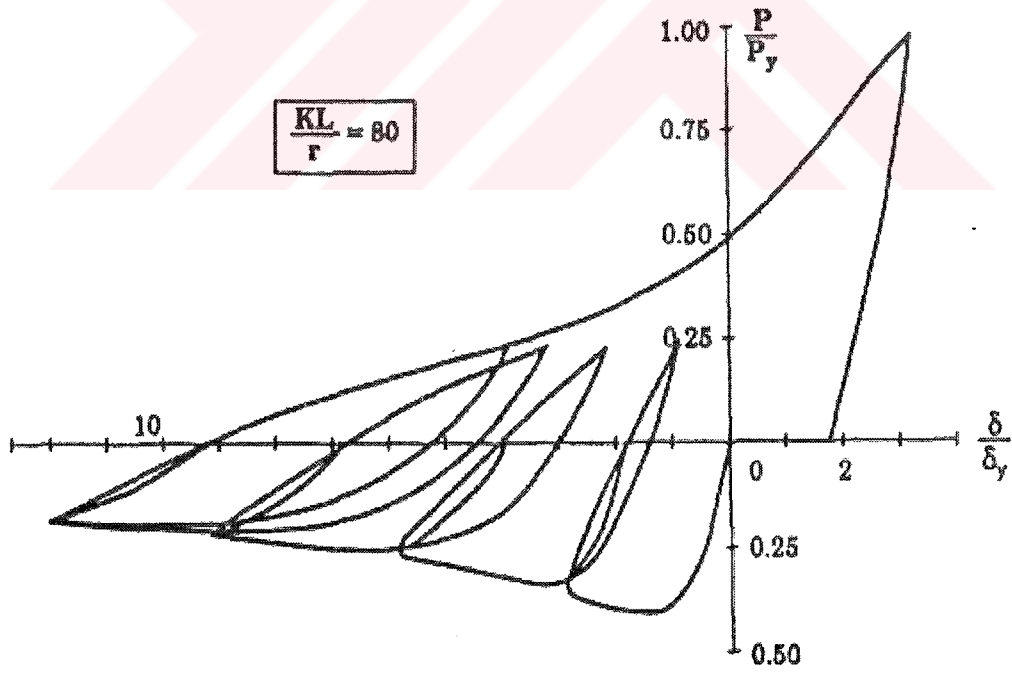
Bu nedenle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğin 1997 baskısında, çaprazların (X formundaki güçlendirme elemanlarının) sadece çekmeye çalışacak şekilde hesaplanması durumunda, narinlik için ($\lambda \leq 250$) sınırlaması basınç kuvvetini de alacak şekilde hesaplanmaları durumunda ise ($\lambda \leq 100$) sınırlaması getirilmiştir.



Şekil 3.4 MKÇ' in inelastik çevrimsel davranışı (Uzgider vd., 2002)



Şekil 3.5 MKÇ' de narinliğin küçük olduğu inelastik davranışı (Uzgider vd., 2002)



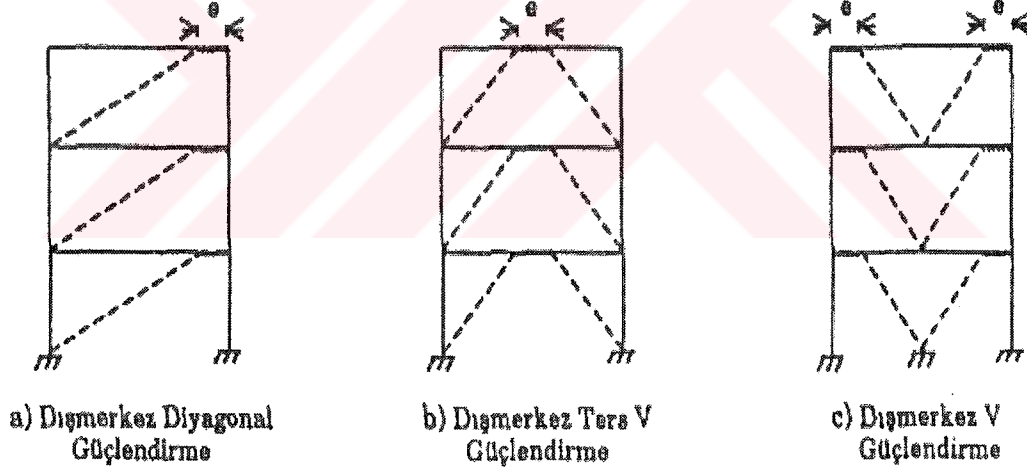
Şekil 3.6 MKÇ' de narinliğin büyük olduğu inelastik davranışı (Uzgider vd., 2002)

3.4.1 Dışmerkez Kuşaklanmış Çerçeve Sistemleri (DKÇ)

Dışmerkez olarak kuşaklanmış çerçeve sistemleri (DKÇ), yüksek elastik rijitliğe, çevrimsel yatay yükler altında stabil bir inelastik davranışa ve mükemmel bir süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahiptir. Bu nedenle, yüksek sismik aktivitesi olan bölgeler için oldukça uygun taşıyıcı sistemlerdir. (Şekil 3.7)

MKÇ sistemlerin yüksek yanal rijitlik kapasitesi ile, güçlendirilmemiş çerçeve sistemlerinin stabil enerji yutma kapasitesi ve sünekliği, DKÇ sistemlerinin karakteristikleridir. DKÇ sistemlerin en belirgin ve ayırıcı özelliği, güçlendirme elemanının en az bir ucunun, kirişte "bağlantı kirişi" adını verilen bir parçayı oluşturacak şekilde bağlanmasıdır.

Dışmerkez kuşaklanmış çerçeve sistemleri (DKÇ), çeşitli geometrik formlarda oluşturulabilir (Şekil 3.7 (a)-(b) ve (c)). Ancak, bunların süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı çerçeveler olarak değerlendirilebilmeleri için, güçlendirme elemanları kiriş-kolon birleşim noktasından belirli uzunlukta, dışmerkez bir noktaya bağlanmalıdır. (Şekil 3.7 (a) (b)- (c))



Şekil 3.7 Dışmerkez kuşaklanmış çerçeveler (DKÇ) (Uzgider vd., 2002)

Birleşim noktası ile bu bağlantı arasındaki kiriş parçası büyük plastik deformasyonlar yapabilmelidir. Bu fikrin altında yatan prensip, deprem dizayn yük değerleri üzerine çıkan dış yükler halinde, güçlendirme elemanlarının burkulmasını önlemektir. Böylece; kolon-kiriş birleşim noktası ile güçlendirme elemanı arasında kalan kiriş parçasının (bağlantı kirişini), plastik kayma deformasyonu yapmasına imkan verilerek enerji yutması sağlanır. Bağlantı kirişinin plastik deformasyon yapmasını sağlayacak teorik yükü hesaplamak mümkündür. Bu şekilde, güçlendirme elemanına etkiyecek aksenal yükün değerini bulmak da mümkündür.

Dışmerkez kuşaklanmış çerçevelerin kuşaklanmamış rijit çerçeve sistemlerine (Şekil 3.16) yanal rijitlik açısından üstünlüğü, Şekil 3.10' un incelenmesinden açıkça görülmektedir. Bu şekilde verilen (a) ve (b) diyagramlardan açıkça görülmektedir ki; (e / L) oranı 1' e gittiğinde, yani kuşaklanmış rijit çerçeve sistemine geçildiğinde yanal rijitlik, dışmerkez ve merkezi kuşaklanmış çerçeve sistemlerine göre minimum seviyeye düşmektedir. Kuşaklanmamış rijit çerçevelerle dışmerkez olarak kuşaklanmış olanlar, elastik olmayan davranış bakımından mukayese edildiğinde Şekil 3.9' de sergilenen durum ortaya çıkmaktadır. Dışmerkez olarak güçlendirilmiş sistemlerde, kısa bağlantı kirişi önemli oranda plastik mafsal dönmelerine neden olmuştur. Bu durum Şekil 3.11' de daha açık olarak görülmektedir.

DGÇ sistemlerinin tasarımında izlenen yol şöyledir:

- 1) İnelastik davranışı bağlantı kirişi üzerine sınırlandırmak
- 2) Bağlantı kirişi etrafındaki çerçeve sistemini, bağlantı kirişinden gelecek maksimum kuvvetlere göre boyutlandırmak

Bu yolu kullanarak yapılan boyutlandırma, bağlantı kirişinin sünek "sismik sigorta" olarak davranmasını sağlar ve bağlantı kirişi etrafındaki çerçeve sisteminin bütünlüğünü korur.

Bağlantı kirişinin davranışını anlamak için Şekil 3.10 ve Şekil 3.11' de görülen güçlendirme sistemlerini ele alalım. Bunların şiddetli bir deprem etkisi ile işaret değiştiren tekrarlı yükler etkisinde olduğunu düşünelim. Kolon ile kiriş arasındaki bağlantının, güçlendirme etkisine imkan verecek şekilde dizayn edildiğini varsayalım. Kuşaklama elemanında oluşacak eksenel yük, kirişe eksenel gerilme yaratan yatay bileşeni ve kiriş gövdesinde kayma gerilmeleri oluşturan düşey bileşeni ile aktarılır.

Kaliforniya' daki Berkeley Üniversitesi'nde yapılan deneysel çalışmalar göstermiştir ki, bağlantı kirişleri gövde takviye levhaları (Şekil 3.8, 3.13 ve 3.14) olmaksızın tekrarlı yüklere karşı koyacak kapasiteye sahip değildir (Şekil 3.12) ve bunların yük taşıma kapasitesi, gövde buruşması nedeniyle önemli oranda azalır. Bunun için, gövde burkulmasını önleyecek şekilde bağlantı kirişine rijitlik verilmelidir. Bu durum Şekil 3.12' de açık olarak görülmektedir.

Kısa bağlantı kirişlerinin enerji yutması konusunda çok etkili olması nedeniyle (Şekil 3.12), bağlantı kirişi uzunluğu e (Şekil 3.8 ve 3.13) aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır:

$$e \leq 1,6 \frac{M_p}{V_p} \quad (3.8a)$$

Orta uzunlukta bağlantı kirişleri için aynı ifade:

$$1,6 \frac{M_p}{V_p} < e < (2,5 \approx 3,0) \frac{M_p}{V_p} \quad (3.8b)$$

şeklinde; uzun bağlantı kirişleri için ise aynı ifade:

$$e \geq (2,5 \approx 3,0) \frac{M_p}{V_p} \quad (3.8c)$$

olarak alınabilir. Bu ifadelerdeki M_p = bağlantı kirişinin plastik moment taşıma kapasitesini gösterir. (3.6 denkleminde verilmiştir)

$$V_p = 0,55 \cdot \sigma_y \cdot d \cdot t_w \quad (3.9)$$

ile hesaplanacak V_p değeri de, bağlantı kirişinin kesme kuvveti taşıma gücünü göstermektedir. Burada kullanılan ifadeler aşağıda açıklanmaktadır.

σ_y : akma sınır gerilmesi

d : kiriş gövde yüksekliği

t_w : gövde levhası kalınlığı

Kısa bağlantı kirişlerinin davranışını kaymadan kaynaklanan plastikleşmeler kontrol ederken, uzun bağlantı kirişinin davranışını ise eğilmeden kaynaklanan plastikleşmeler kontrol eder.

Çizelge 3.1 C_B sabiti

C _B	γ _u (rad)
56	0,03
38	0,06
29	0,09

Ancak kısa bağlantı kirişleri, yüksek enerji yutabilme kapasiteleri nedeniyle diğerlerine tercih edilirler.

Bağlantı kirişinin gövde takviye levhaları (GT) arasındaki mesafe (Şekil 3.8) aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$\frac{a}{t_w} + \frac{1}{5} \cdot \frac{d}{t_w} = C_B \quad (3.10)$$

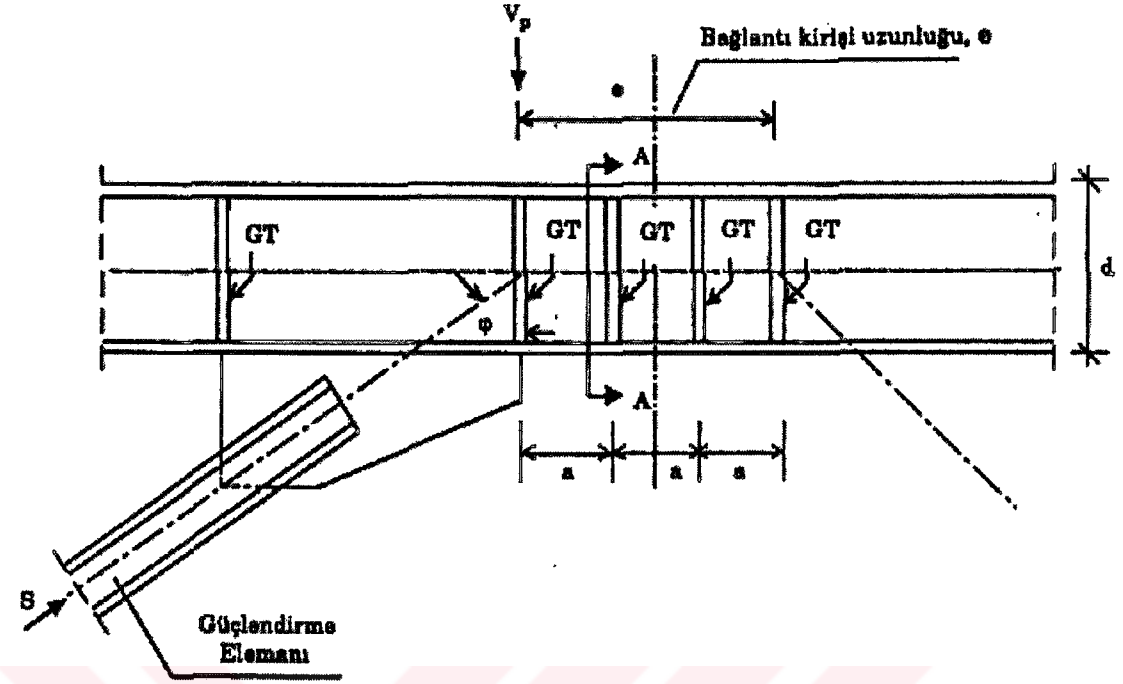
C_B, sabiti Çizelge 13.1'den alınır.

γ_u Şekil 3.11' de görülen tasarım için gerekli görülen en büyük bağlantı kirişi dönmesidir. Bu tablodaki ara değerler için lineer interpolasyon yapılabilir.

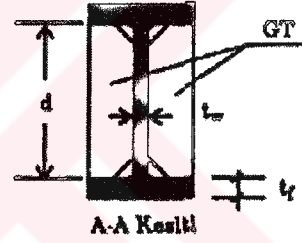
Güçlendirme diyagonali, burkulma oluşmayacak şekilde dizayn edildiğinde, California Berkeley'de E.P. Popov tarafından yapılmış olan araştırmalar göstermiştir ki, uygun şekilde dizayn edilmiş bir bağlantı kirişinin oldukça yüksek enerji sarf etme kapasitesi vardır. Şekil 3.8 ve 3.13' den görüldüğü gibi, diyagonal elemanı üzerine V_p' den dolayı gelen yük;

$$S = \frac{V_p}{\cos \varphi} \quad (3.11)$$

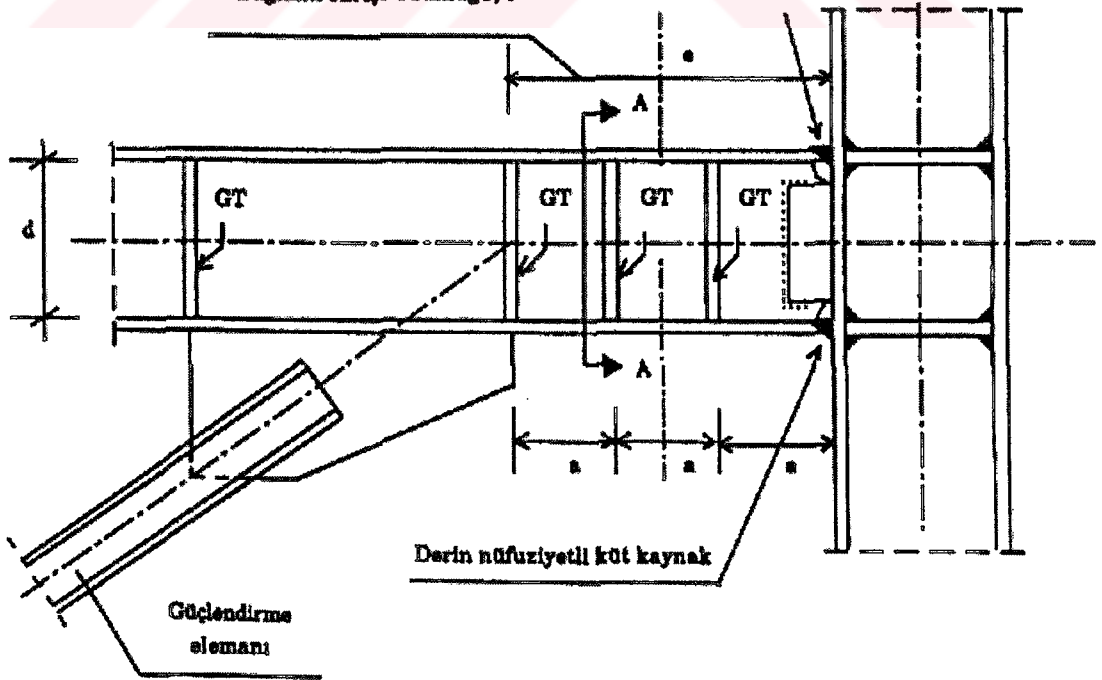
olarak hesaplanır. Güçlendirme diyagonali bu kuvvete göre burkulmayacak şekilde boyutlandırılmalıdır. Burada φ=güçlendirme diyagonalinin bağlantı kirişine saplanma açısıdır.



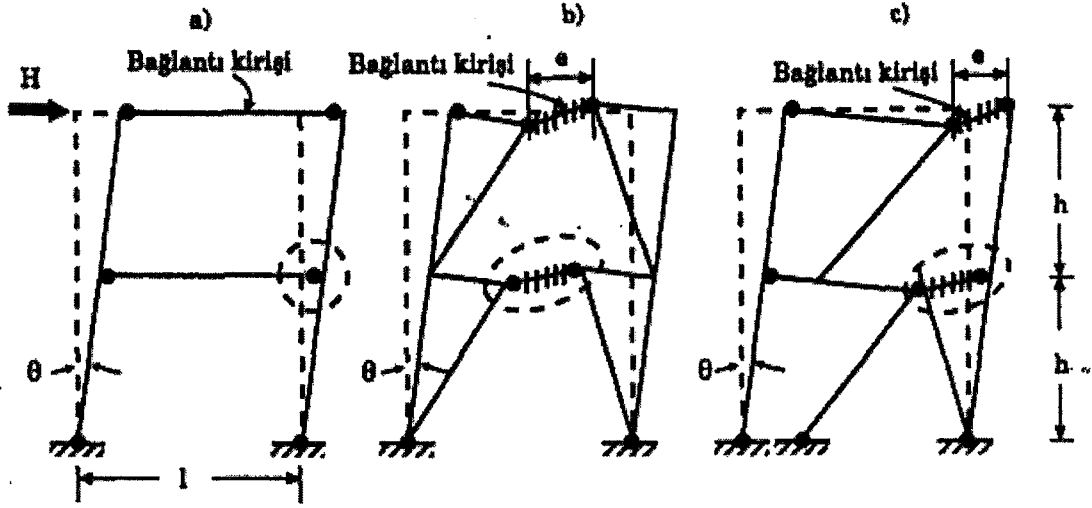
GT : Gövde takviye levhaları (Gövde ve başlıklara köşe kaynaklarla bağlı)



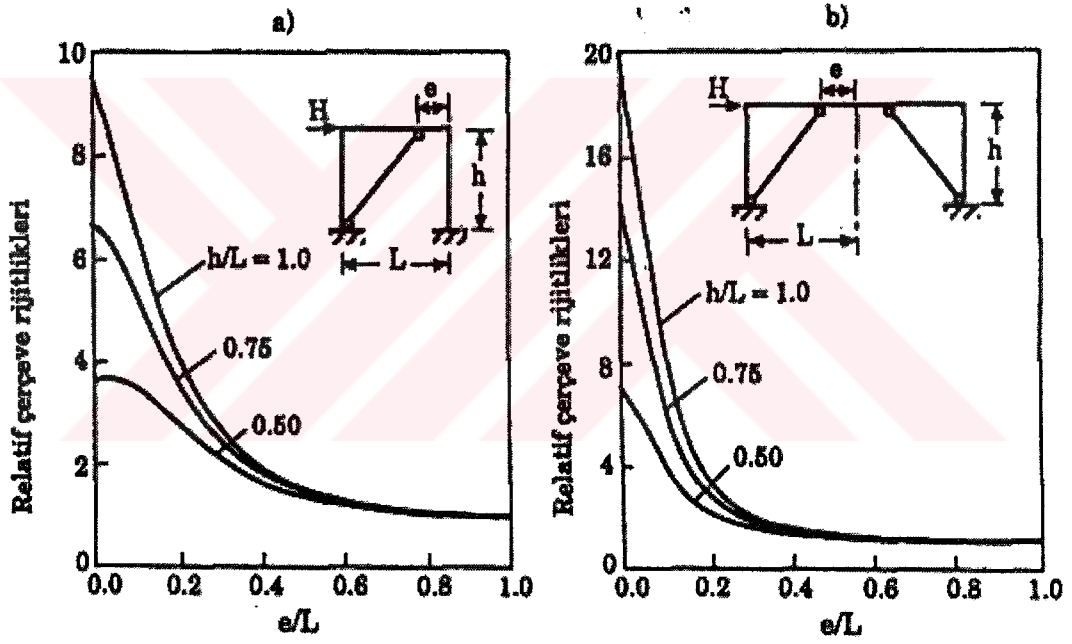
Bağlantı Kirişi Uzunluğu, e Derin nüfuziyetli küt kaynak



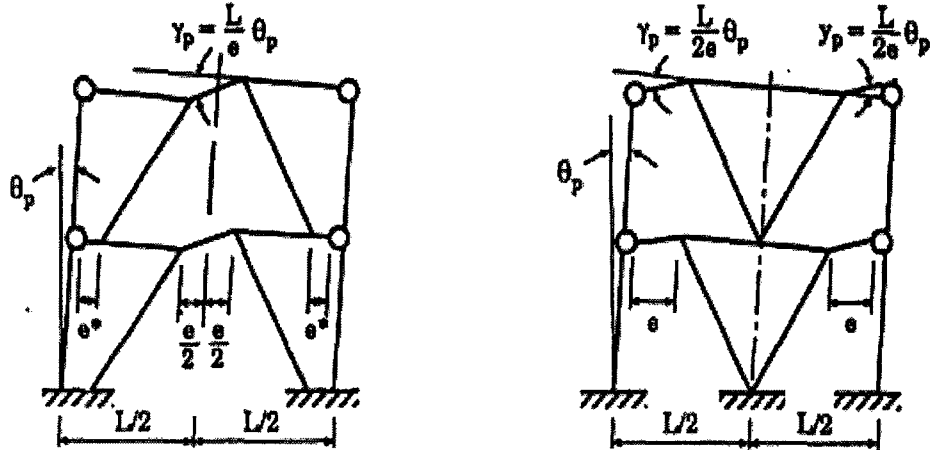
Şekil 3.8 DKÇ' de bağlantı kirişleri'nin gövde takviye levhaları(GT) (Uzgidir vd., 2002)



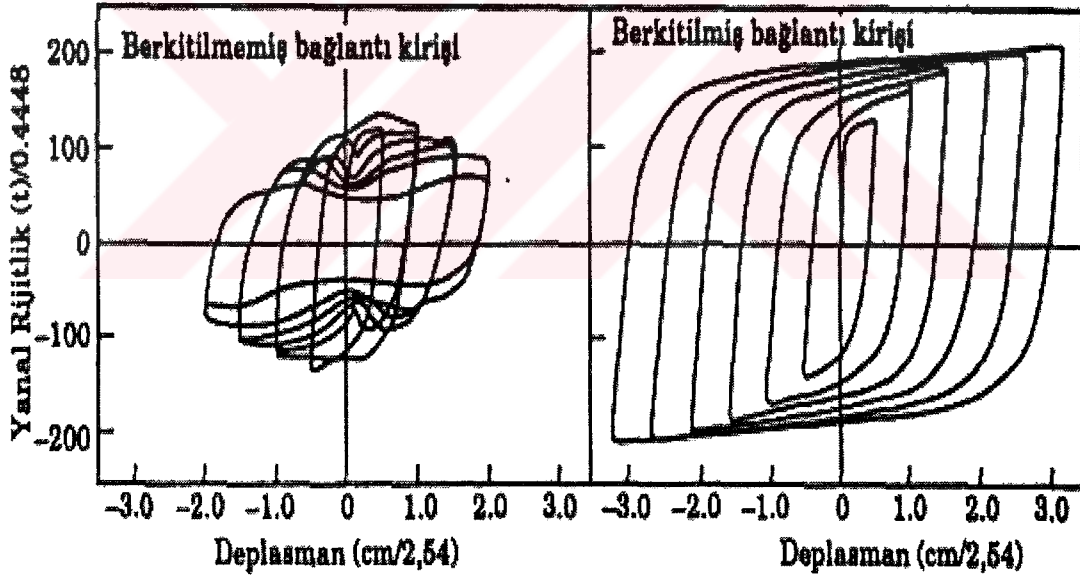
Şekil 3.9 DKÇ ve kuşatılmamış çerçevelerin elastik olmayan davranışı (Uzgider vd., 2002)



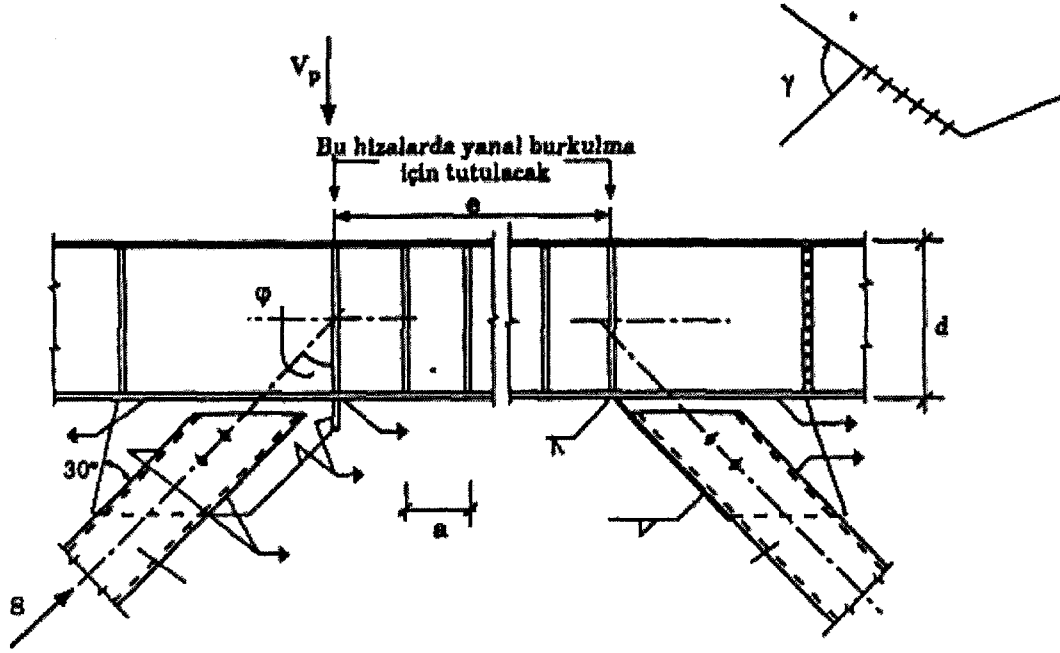
Şekil 3.10 e/L Oranına göre çerçeve rijitlikleri (Uzgider vd., 2002)



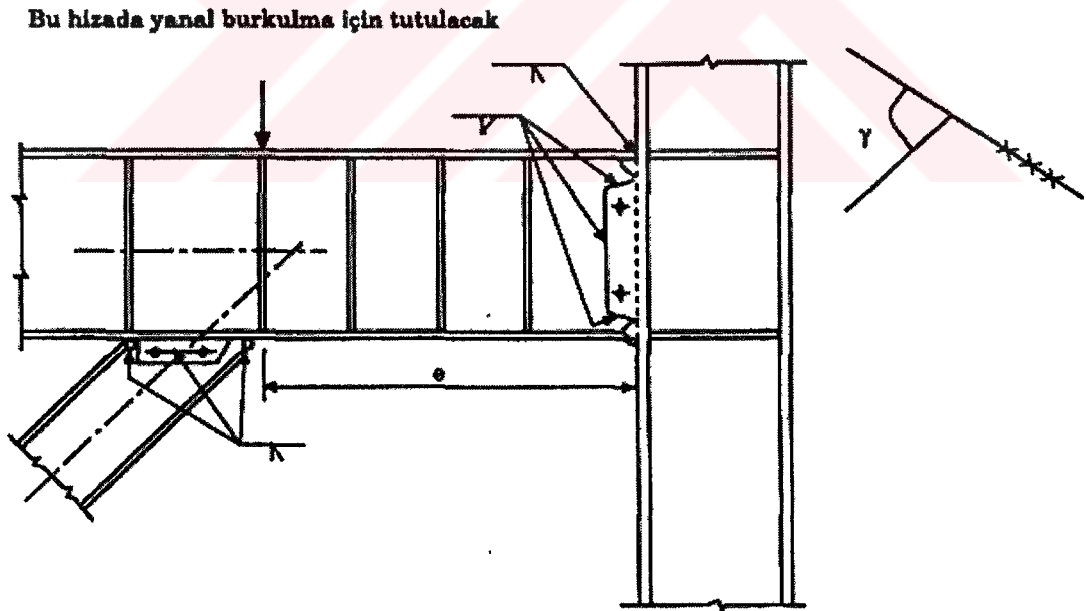
Şekil 3.11 DKÇ' de kısa bağlantı kirişlerinin plastik mafsal dönmeleri (Uzgider vd., 2002)



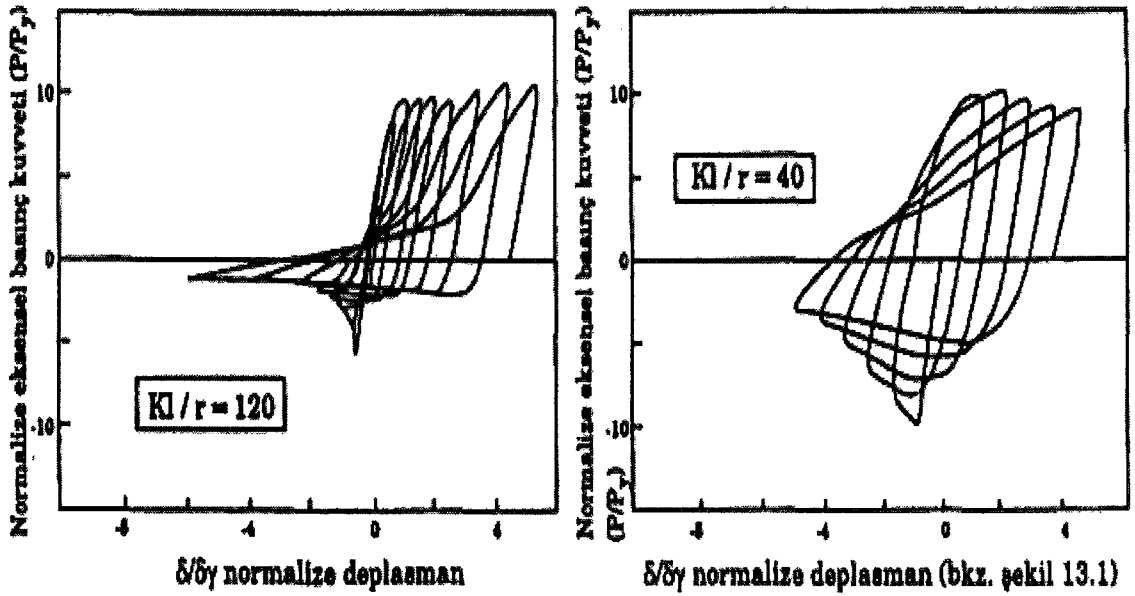
Şekil 3.12 DKÇ' de tekrarlı yükler etkisinde berkitmeli ve berkitmesiz bağlantı kirişlerinin yanıl rijitlikleri (Uzgider vd., 2002)



Şekil 3.13 DKÇ' de berkitilmiş bağlantı kirişi (Uzgider vd., 2002)



Şekil 3.14 DKÇ' berkitilmiş kolonla birleşen bağlantı kirişi (Uzgider vd., 2002)



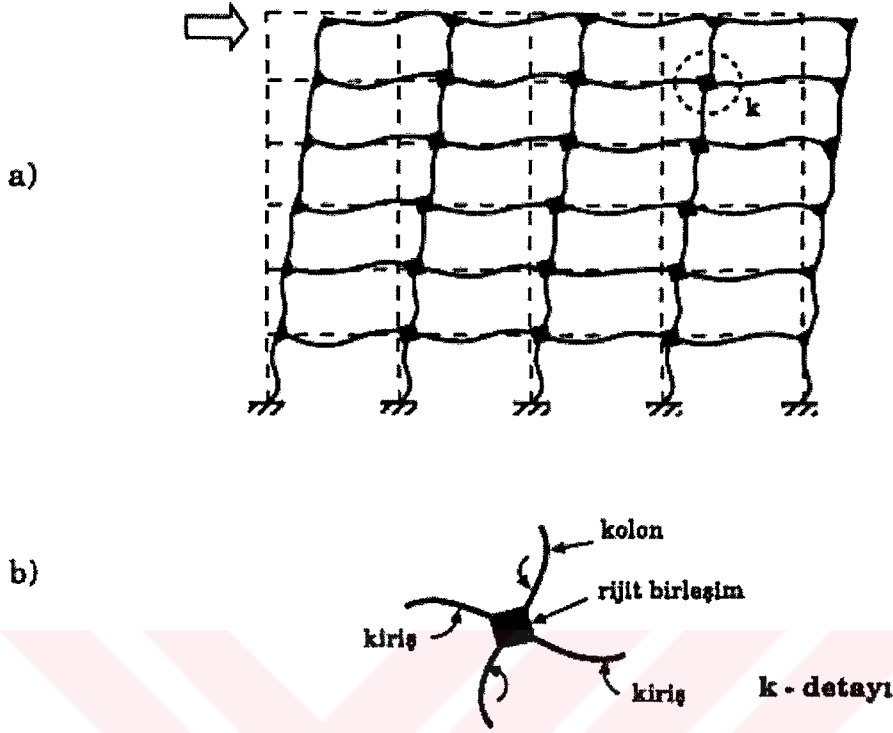
Şekil 3.15 DKÇ' de gövde takviye levhalarının narinliklerine göre deplasmanlar (Uzgider vd., 2002)

3.4.2 Kuşatılmamış Rijit Çerçeve Sistemlerinin Deprem Davranışı

Kuşatılmamış çerçeve sistemleri, birbirlerine rijit olarak bağlanmış kolon ve kiriş elemanlarından oluşur (Şekil 3.16). Yanal yüklere direnç, esas olarak çerçeve elemanlarında ve birleşimlerinde moment ve kesme kuvvetlerinin oluşumu ile gelişir.

Çelik sünek kuşatılmamış çerçeve sistemleri bir çok yüksek sismik aktiviteli bölgede yaygın şekilde kullanılmıştır (Şekil 3.16 ve). Bunun nedeni, bu çerçeve sistemlerinin yüksek süneklik kapasiteleridir. Ancak, çelik çerçeve sistemlerinin deprem etkisi altında gösterdikleri performansa duyulan güven, 1994'te meydana gelen Northridge (Los Angeles, A.B.D.) ve 1995'te meydana gelen Kobe, Japonya depremlerinden sonra bir miktar zedelenmiştir. Çelik çerçeve sistemleri, her iki depremde de beklenen performansı gösterememiş ve kolon-kiriş birleşimlerinde gevrek kırılmalar oluşmuştur. Yüksek süneklik kapasitelerine rağmen gözlemlenen bu performans düşüklüğü, bu çerçeve sistemlerin davranışları hakkında bildiklerimizin yeterli olmadığı sonucunu doğurmuştur.

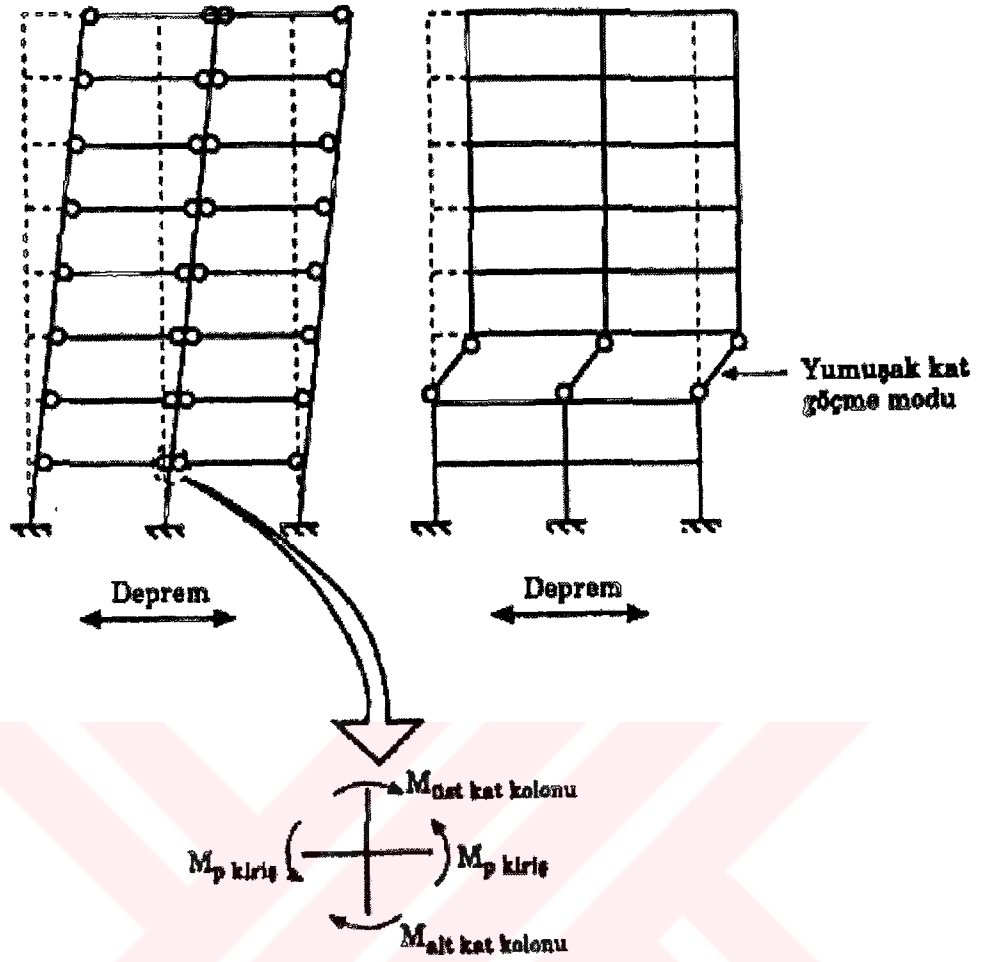
Süneklik düzeyi yüksek güçlendirilmemiş çerçeve



Şekil 3.16 Süneklik düzeyi yüksek güçlendirilmemiş rijit çerçeveler (Uzgider vd., 2002)

Şekil 3.17'den de görüleceği üzere çelik çerçeve sistemleri, aşırı deprem yükleri altında plastik mafsalların kolonlardan ziyade kirişlerde oluşması halinde daha çok histerik enerji sarf ederler. Plastik mafsalların kirişlerde oluşması sonucu ortaya çıkan göçme mekanizması, Şekil 3.17' de görülen yumuşak kat mekanizmasının oluşumunu önler. Plastik mafsalları kolonlardan ziyade kirişlerde oluşacak şekilde boyutlandırılan çerçeve sistemlerine "kuvvetli kolon-zayıf kiriş sistemleri" adı verilir.

Bir çok standardın yanı sıra ülkemizde kullanımı öngörülen ve 1997'de yayınlanan "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" de kuvvetli kolon-zayıf kiriş ilkesiyle çerçeve tasarımı için, bir çerçevede düğüm noktasında birleşen kolon plastik moment kapasitelerinin toplamı, kiriş plastik moment kapasitelerinin toplamından büyük olması koşulunu önermektedir.



Şekil 3.17 Plastik mafsalların kirişlerde ve kolonda oluşması durumu (Uzgider vd., 2002)

4. ÖRNEKLER ÜZERİNDE SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1 Taşıyıcı Sistemler

Örnekler 3 boyutlu 8 sistem olup X yönünde 5 aks Y yönünde 4 aks'tan ve 8 kattan oluşmaktadırlar. Kat yükseklikleri 3m'dir, X yönündeki 24 metre, Y yönündeki 16 metre uzunluğa sahiptirler.

Örnek sistemlerde kuşaklama elemanları, dış akslara ve bu aksların kenarlarına konulmuştur. Böylece iç akslar rijit çerçevesi, dış akslar da düşey kafes kirişli bir karma sistem olarak dizayn edilmiştir. Birleşimlerin rijit olduğu düşünülmüştür. Örnekler SAP2000 programıyla çözülecektir.

4.2 Taşıyıcı Eleman Tipleri

Örnek sistemler birbirleriyle mukayese edileceğinden tüm sistemler için kolonlarda, kirişlerde ve kuşaklama elemanlarında aynı kesitler kullanılacaktır. Böylece bu sistemlerin birbirleriyle kıyaslanmaları daha doğru olacaktır.

Kolonlar için IPE 600, kirişler için IPE 300 ve kuşaklama elemanları için L200*24 profilleri seçilmiştir.

4.3 Dinamik Bilgiler

Sistemlerin dinamik analizini yaptıracağımızdan, dinamik analiz bilgilerini doğru bir şekilde seçmeliyiz. Örnek sistemlerin dinamik bilgileri aşağıdaki gibidir.

Etkin yer ivmesi;

$$A_0 = 0,4 \text{ (1.Derece deprem bölgesi)}$$

Bina önem katsayısı:

$$I = 1$$

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı;

$$R = 7 \text{ (Yüksek sünek çerçeve)}$$

Sönüm oranı;

$$\xi = 0,05$$

Zemin sınıfı olarak Z2 zemin sınıfı seçilmiştir.

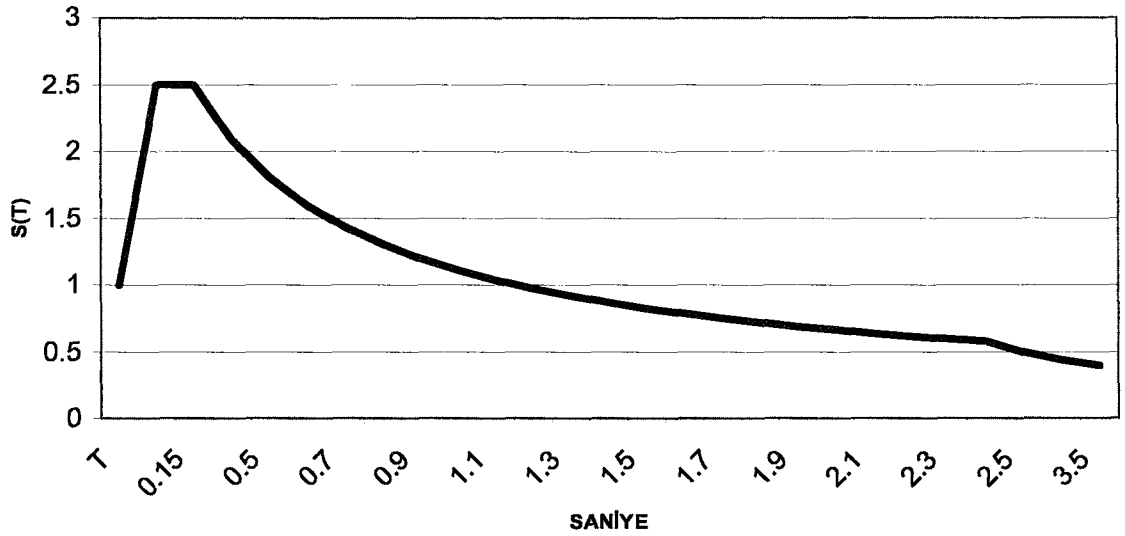
$$T_A = 0,15; T_B = 0,4$$

SAP2000 programında girilecek spektrum değerleri aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.1 Spektral spektrum değerleri

T	S(T)	T	S(T)	T	S(T)
0	1	1.2	1.038	2.2	0.639
0.15	2.5	1.3	0.974	2.3	0.617
0.4	2.5	1.4	0.918	2.4	0.596
0.5	2.091	1.5	0.868	2.5	0.577
0.6	1.807	1.6	0.825	3	0.499
0.7	1.598	1.7	0.786	3.5	0.441
0.8	1.436	1.8	0.751	4	0.396
0.9	1.307	1.9	0.719		
1	1.201	2	0.69		
1.1	1.113	2.1	0.663		

SPEKTRUM EĞRİSİ



Şekil 4.1 Spektrum eğrisi

4.4 Yükler

Deprem yükleri kat ağırlığıyla orantılı olarak artacağından hafif malzemeleri seçmek deprem yüklerinin daha az olması sebebiyle avantajlıdır. Bu düşünce ile plak olarak öngerilmeli boşluklu döşeme seçilmiştir. Birim hacim ağırlığı $1,4 \text{ t/m}^3$. Normal betonun birim hacim ağırlığı $2,5 \text{ t/m}^3$ 'tür. Döşeme kaplaması olarak karo kaplama ($0,211 \text{ t/m}^2$). Hareketli yük $0,350 \text{ t/m}^2$ alınmıştır.

Duvar malzemesi olarak ytonğ kullanılmıştır. Dış duvarlarda 19 cm'lik ytonğ tuğla (3 metre kat yüksekliği için $0,7 \text{ t/m}$), iç duvarlarda 13 cm'lik ytonğ tuğla kullanılmıştır (3 metre kat yüksekliği için $0,54 \text{ t/m}$).

4.5 Kombinasyonlar

Deprem yükünün düşey yüklerle beraber bulunduğu düşünülecek ve her iki X ve Y yönlerinde deprem yükü uygulanacaktır.Yapılan kombinasyonlar aşağıdaki gibidir;

$$\text{Combo1} = 1G + 1Q + 1EX$$

$$\text{Combo2} = 1G + 1Q - 1EX$$

$$\text{Combo3} = 1G + 1Q + 1EY$$

$$\text{Combo4} = 1G + 1Q - 1EY$$

$$\text{Combo5} = \text{ELV. X YÖNÜ} (\text{Combo1 veya Combo2})$$

$$\text{Combo6} = \text{ELV. Y YÖNÜ} (\text{Combo3 veya Combo4})$$

burada;

G = Zati yük

Q = Hareketli yük

EX = X yönündeki deprem yükü

EY = Y yönündeki deprem yükü

Combo5; 1. ve 2. kombinasyonlardaki en elverişsiz sonucu verir (X yönünde). Combo6; 3. ve 4. kombinasyonlardaki en elverişsiz sonucu verir (Y yönünde).

4.6 Çözüm Yöntemi

Deprem yönetmeliklerine girecek kadar kullanım alanı kazanmış çözüm yöntemleri sınırlıdır. Bunlardan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1997)'de yer alanları:

- 1) Eşdeğer Deprem Yüğü
- 2) Mod Birleştirme Yöntemi
- 3) Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri

Sistemlerimizin çözümünde “Modal Spektral Analiz” olarak da adlandırılan “Mod Birleştirme Yöntemini kullanacağız.

• Mod Birleştirme Yöntemi:

Sistem davranışının, her bir serbest titreşim modu için hesaplanan maksimum katkıların ayrı ayrı elde edilmesinden sonra istatikselsel olarak birleştirilmesi ile bulunabileceği esasına dayanır. Modal maksimumlarla çalışıldığı için “Modal Spektral Analiz” adı ile anılır. 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 üstte düşmemesinin etkisi de katılmış olur.

Bu yöntem “Eşdeğer Deprem Yüğü” yaklaşımına nispetle, yapının dinamik özelliklerini daha ağırlıklı olarak hesaba katar. Bizim amacımız sistemleri sistemlerin çözümünde dinamik analiz yapmak olduğundan bu yöntem seçilmiştir.

Bu yöntemdeki hassasiyette, modal maksimumların katkılarının birleştirilmesi önemli yer tutar. Bu maksimumların birleştirilmesi istatikselsel olarak yapılır. İki tür istatikselsel metod kullanılır.

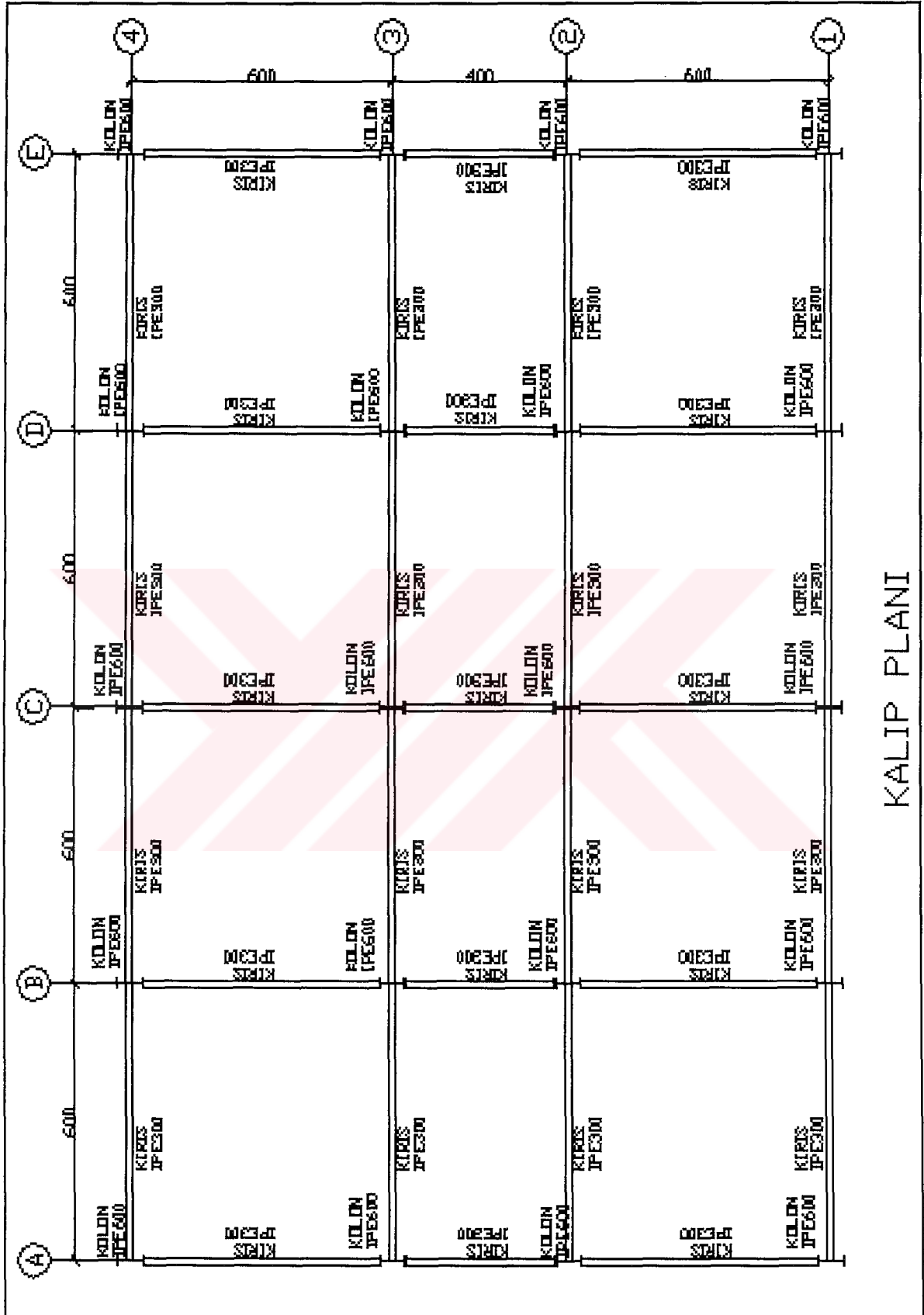
- 1) $T_s < T_r$; göz önüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal titreşim periyotlarının daima $T_s / T_r < 0,8$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için “ Karelerinin Toplamının Kare Kökü (SRSS) ” kuralı uygulanır.
- 2) Yukarıdaki koşulun sağlanmaması durumunda mod katkılarının birleşimi “ Tam Karesel (CQC) ” kuralı uygulanır.

Bu kuralların uygulanabilmesi için modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınabilir. Sistemlerimiz çözerken SAP2000 programında CQC ve SRSS seçeneklerini işaretleyerek çözüm yapılacaktır.

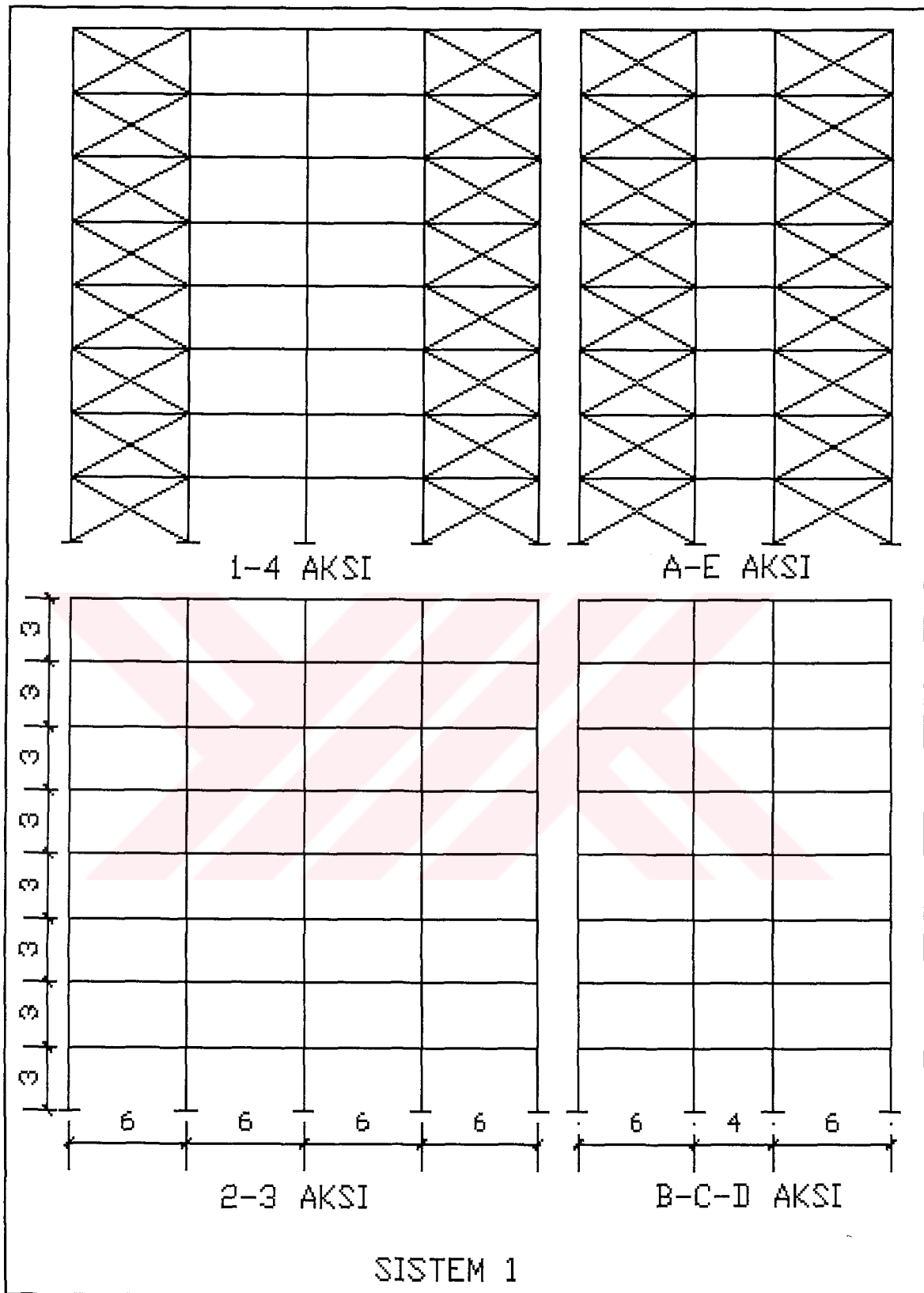
Mod sayısının belirlenmesi etkin kütle kavramına bağlanmıştır. Buna göre mod sayısının belirlenmesinde birbirine dik X ve Y yatay deprem doğrultularının her birinde her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının bina toplam kütlelerinin %90'ından az olmaması

gerekir. Sistemlerimiz çözülrken buna dikkat edilmiştir ve mod sayısı olarak 5 girilmiştir ve tüm sistemlerde etkin kütle oranları %90'dan büyüktür. Sistemlerimiz için 5 modun dikkate alınması yeterli katılımı sağlamıştır.

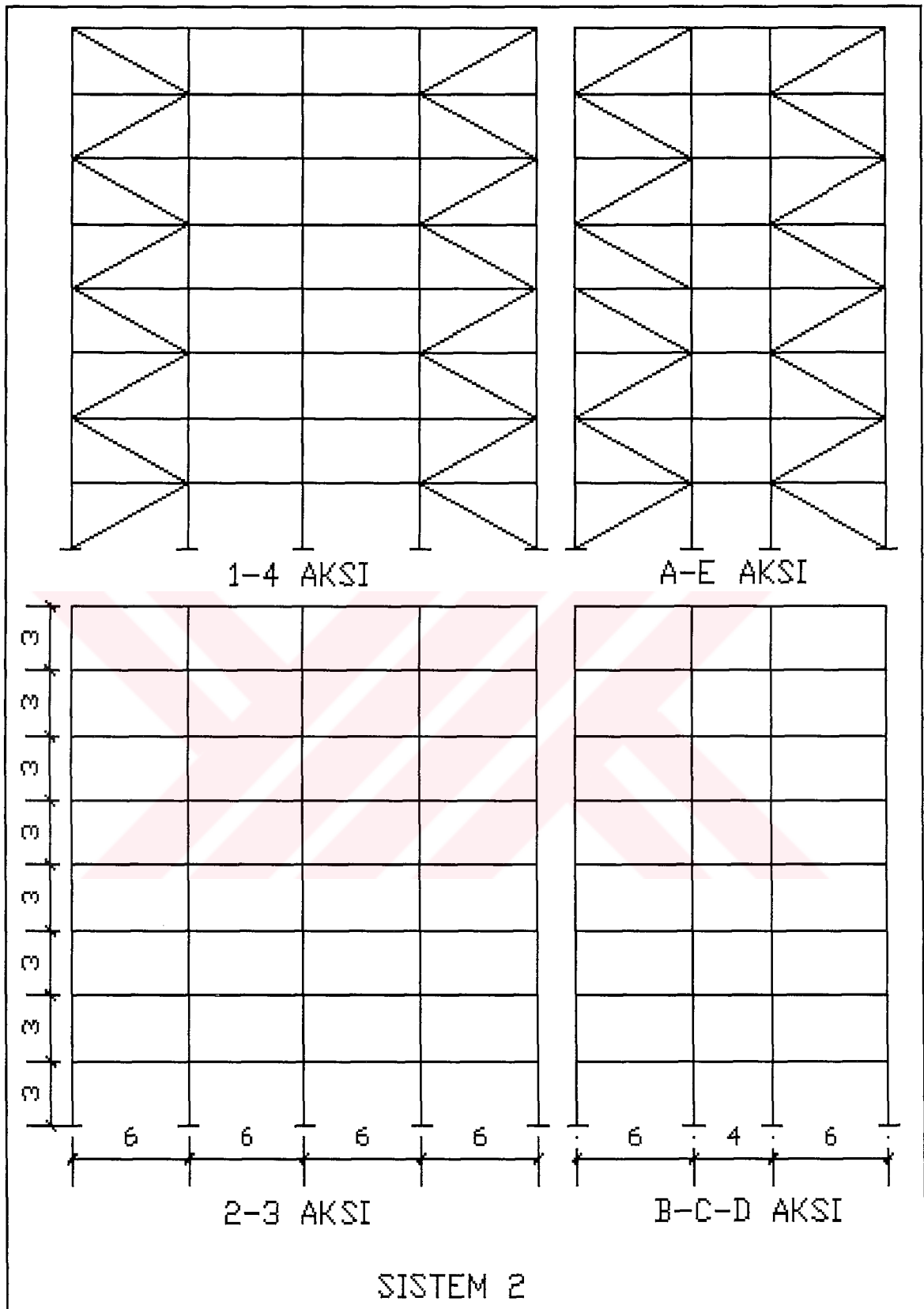




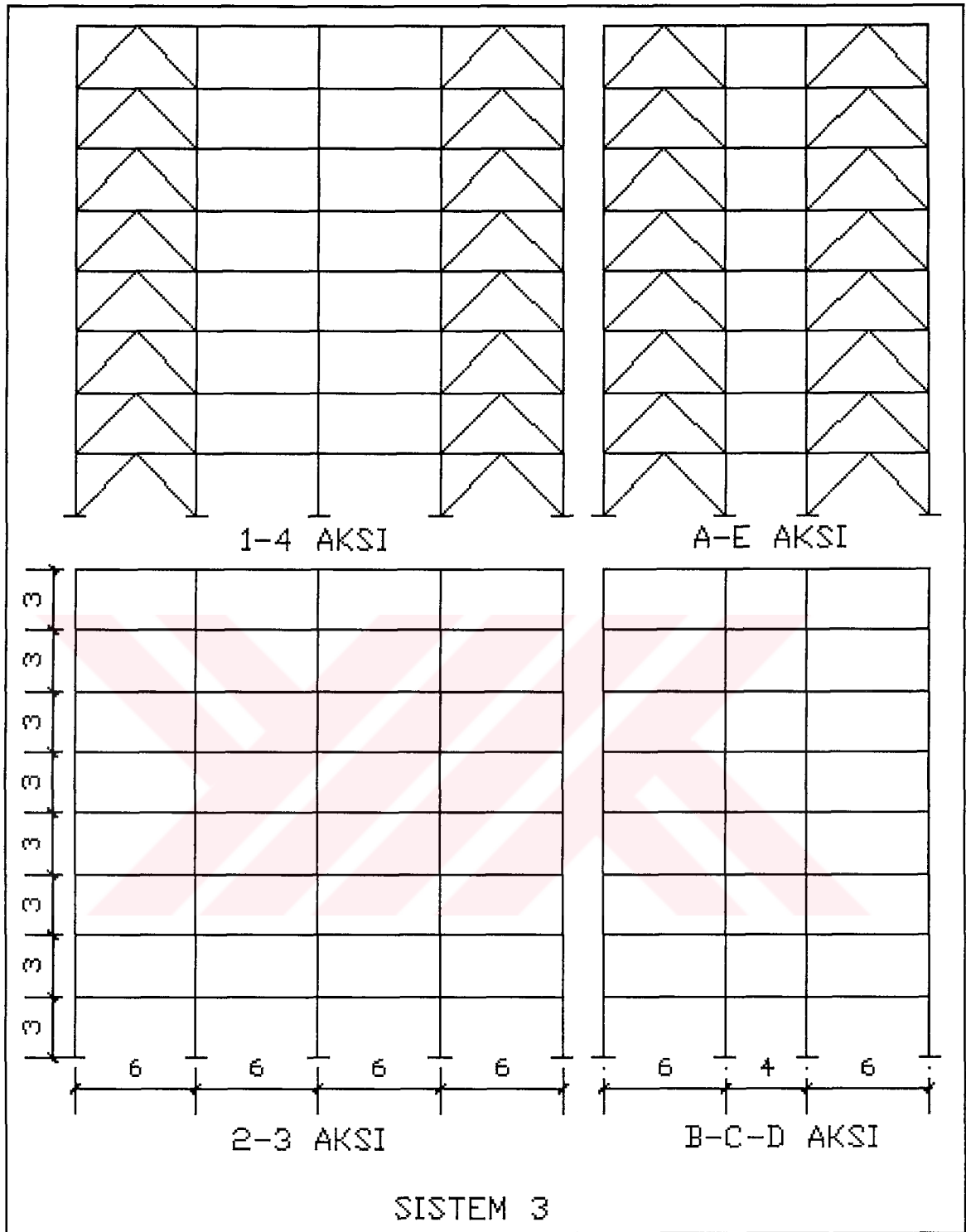
Şekil 4.2 Sistemlerin kalıp planı



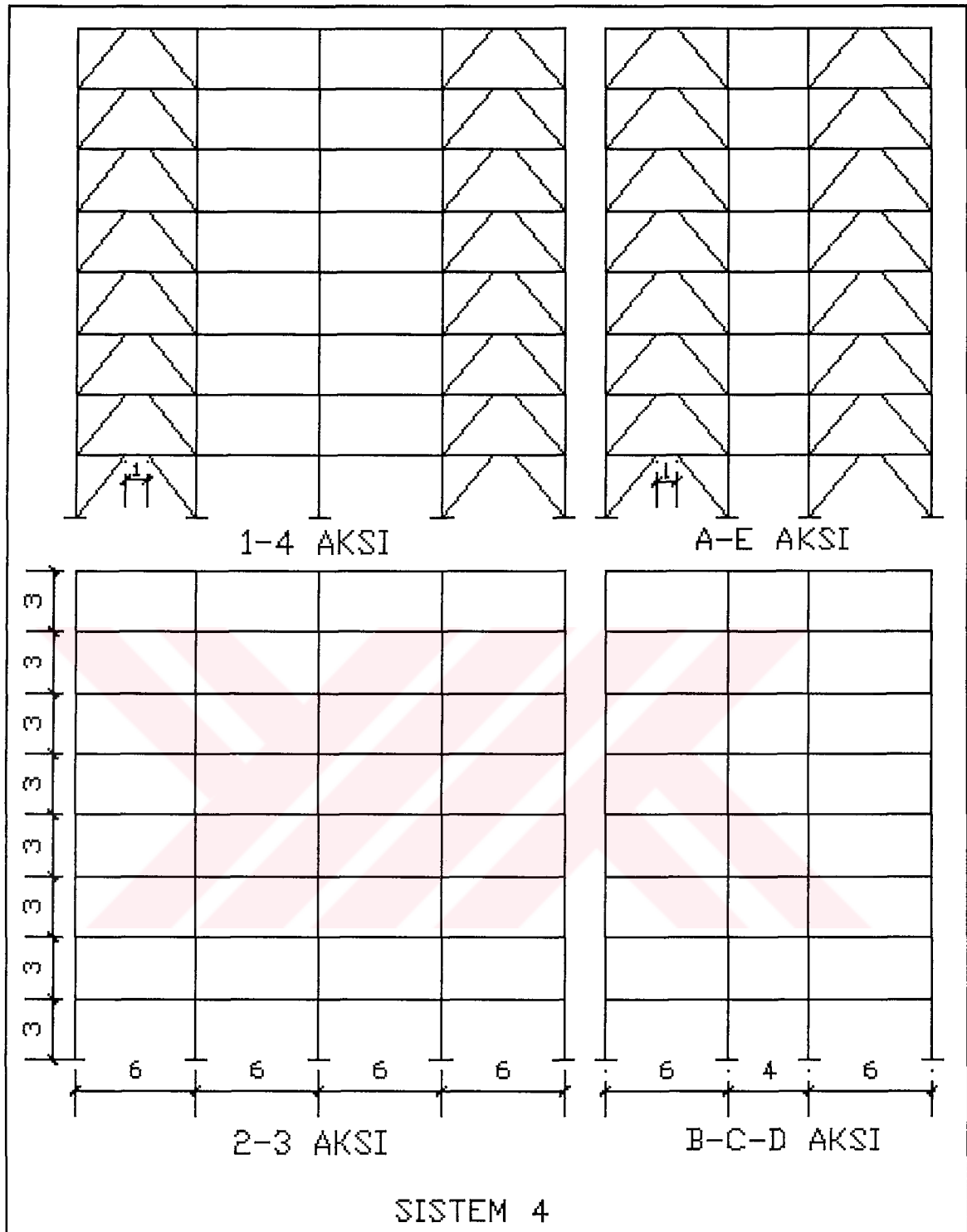
Şekil 4.3 Sistem 1



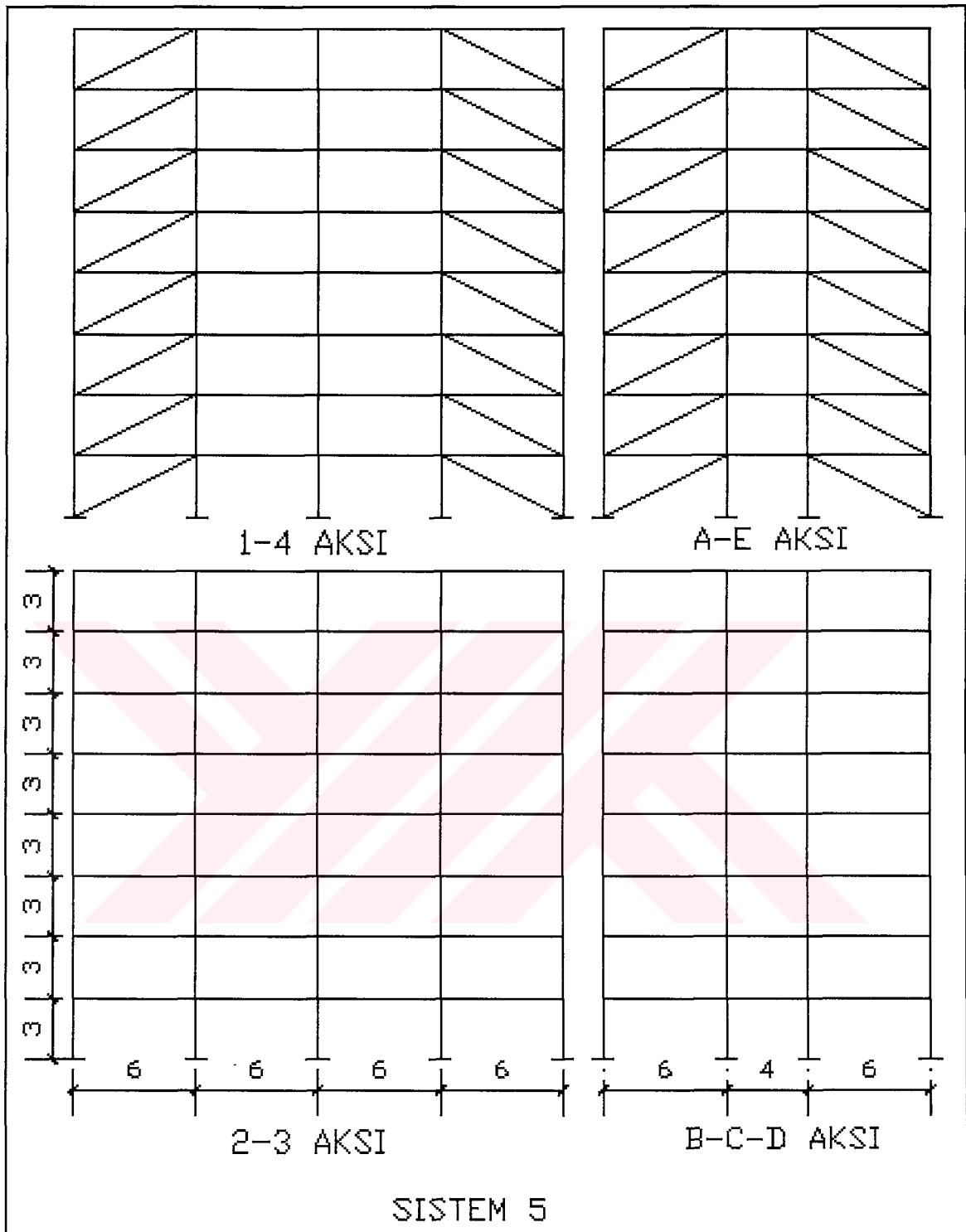
Şekil 4.4 Sistem 2



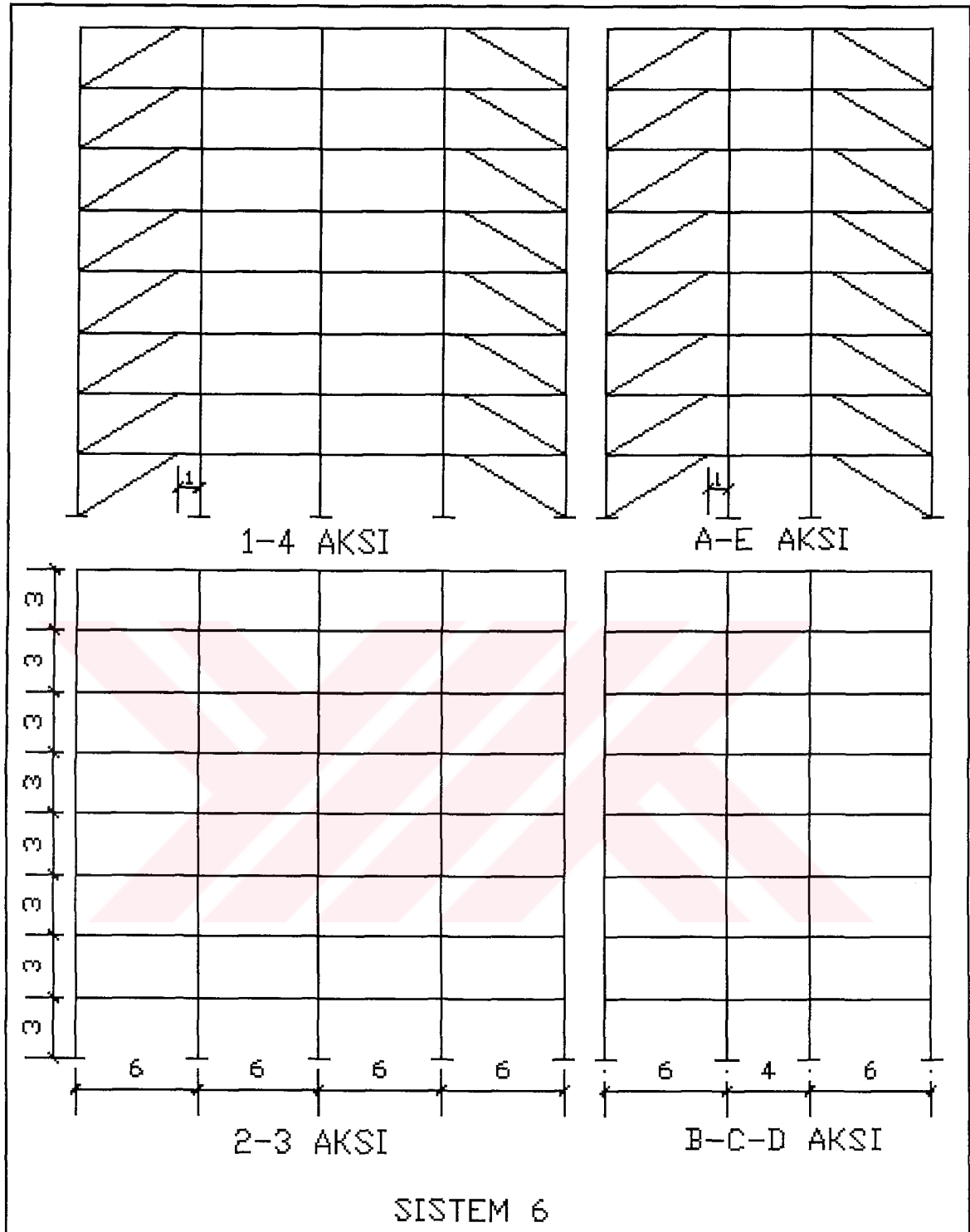
Şekil 4.5 Sistem 3



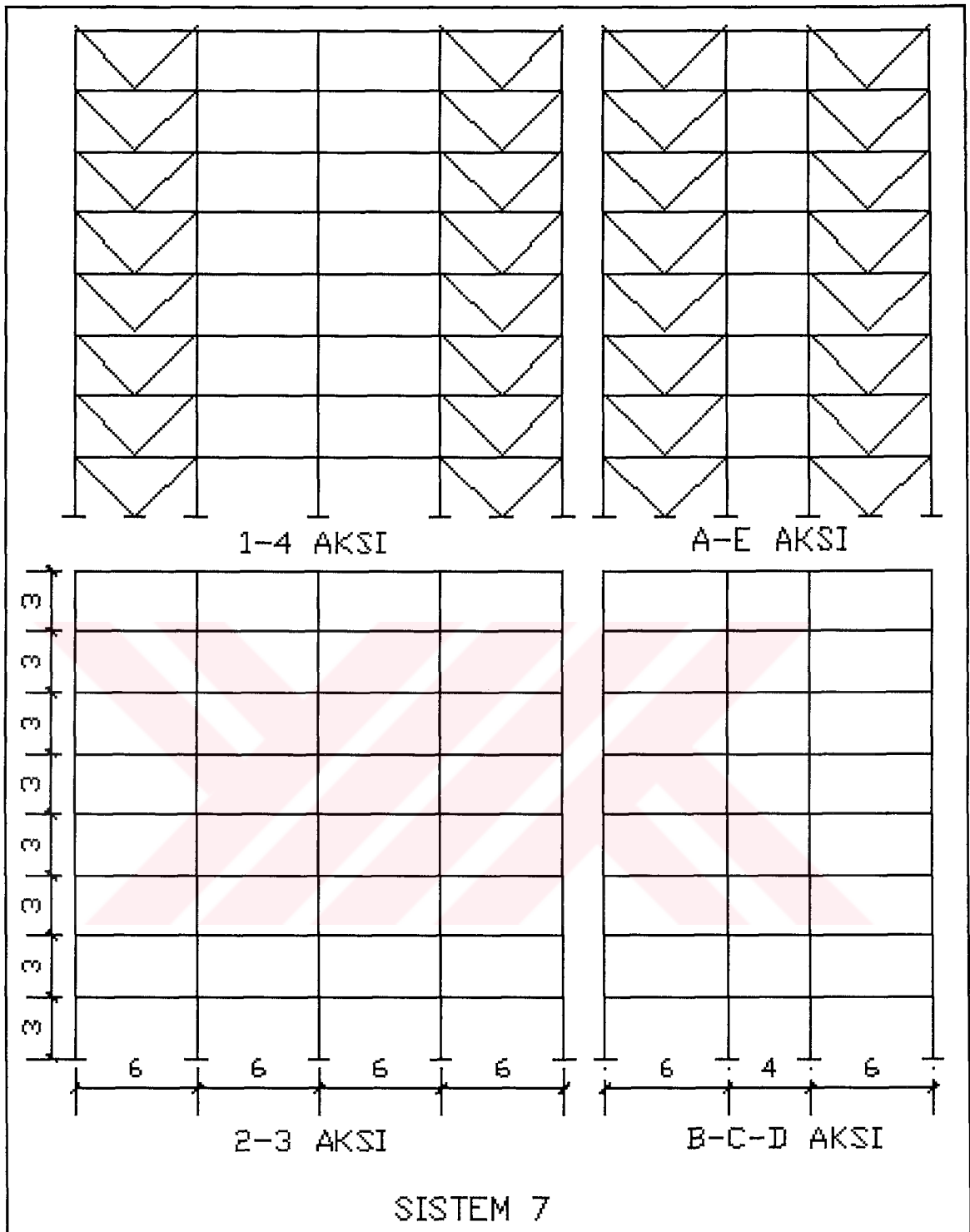
Şekil 4.6 Sistem 4



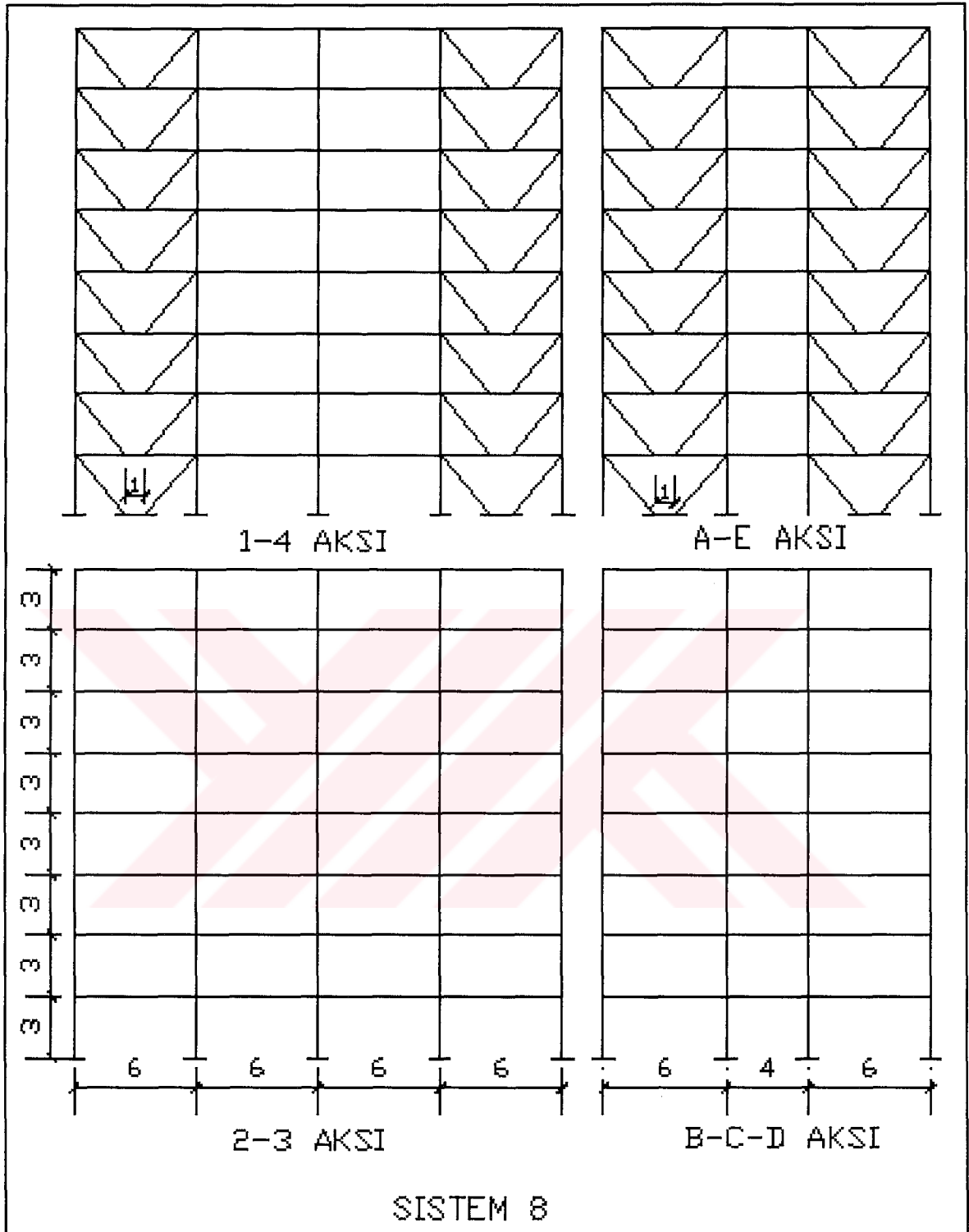
Şekil 4.7 Sistem 5



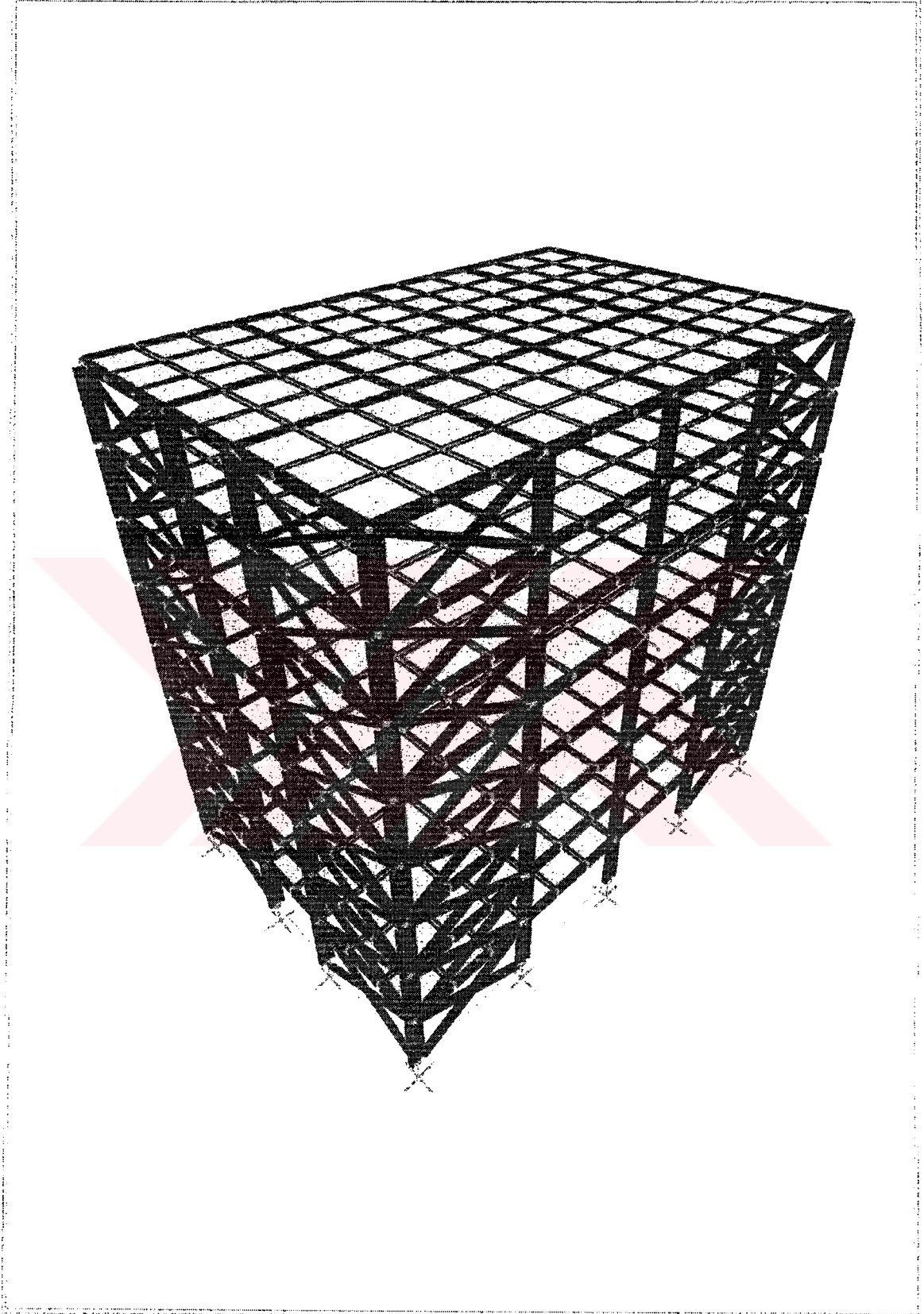
Şekil 4.8 Sistem 6



Şekil 4.9 Sistem 7

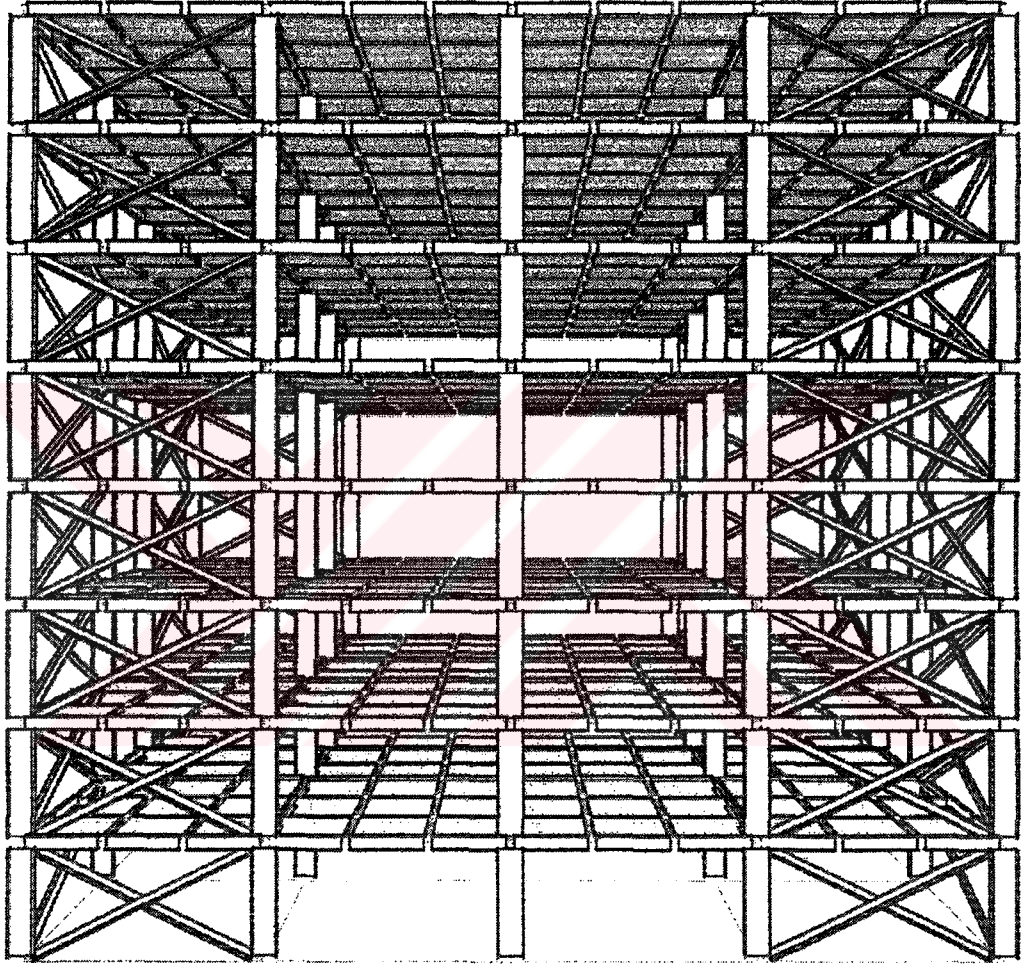


Şekil 4.10 Sistem 8



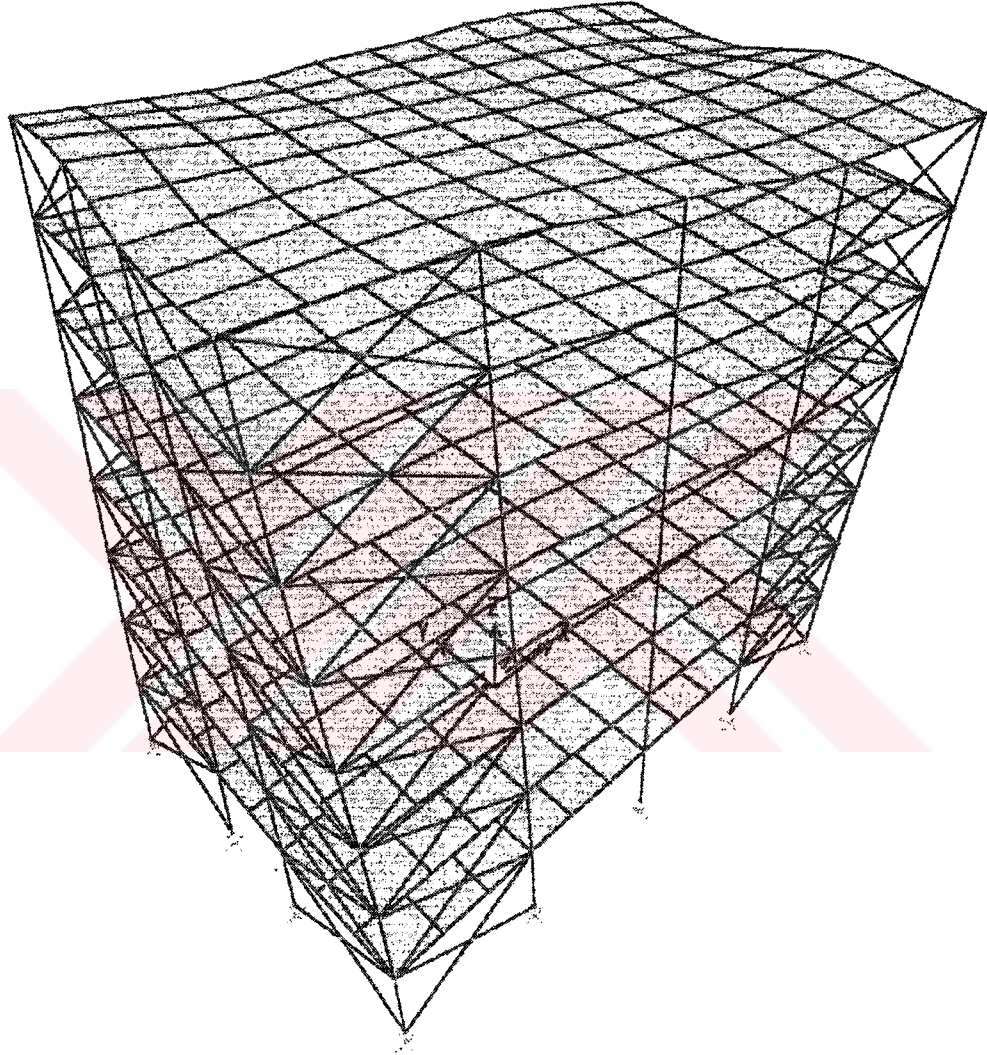
SAP2000 v7.44 - File:sistem1 - 3-D View - Ton-m Units

Şekil 4.11 Taşıyıcı sistem üç boyutlu görünüşü 1



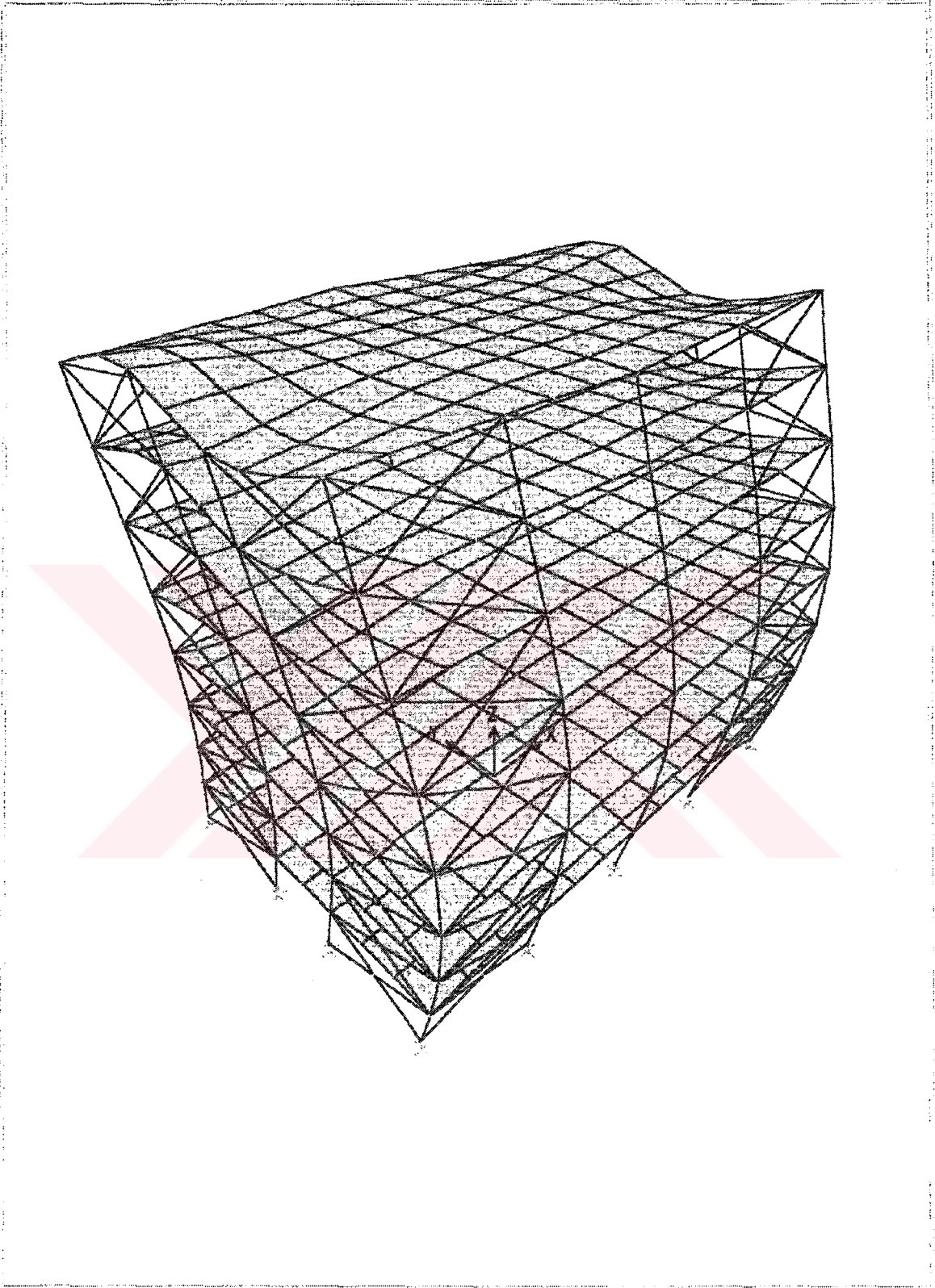
SAP2000 v7.44 - File:sistem1 - 3-D View - Ton-m Units

Şekil 4.12 Taşıyıcı sistemin üç boyutlu görünüşü 2



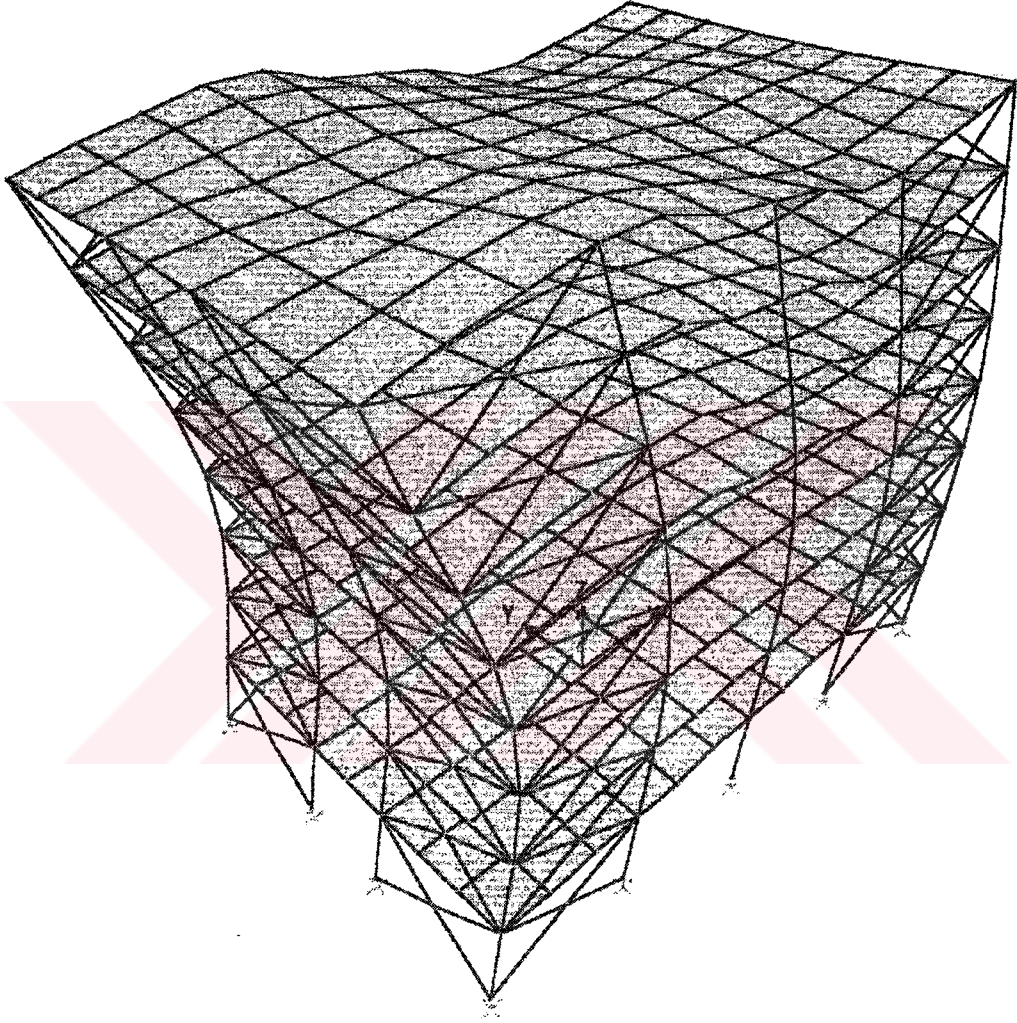
SAP2000 v7.44 - File:sistem1 - Mode 3 Period 0.2924 seconds - Ton-m Units

Şekil 4.13 Üçüncü mod şekli



SAP2000 v7.44 - File:sistem1 - Mode 4 Period 0.1526 seconds - Ton-m Units

Şekil 4.14 Dördüncü mod şekli

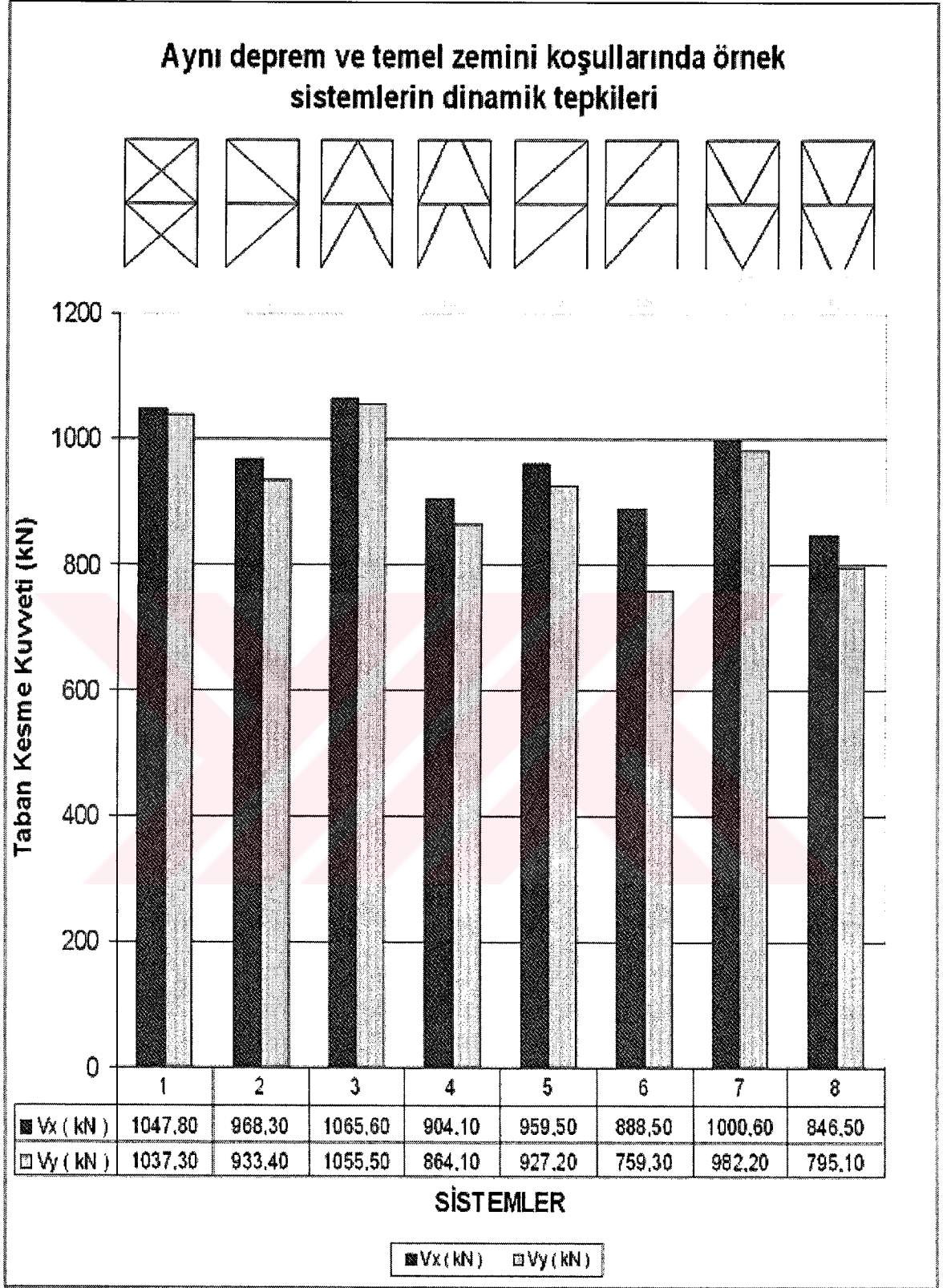


SAP2000 v7.44 - File:sistem1 - Mode 5 Period 0.1445 seconds - Ton-m Units

Şekil 4.15 Beşinci mod şekli

Çizelge 4.2 Modal kütle katılım oranları

ŞEKİL	SİSTEM	MOD	PERİYOT	Modal Katılım (%)		Kümülatif Toplam (%)	
			(s)	UX	UY	UX	UY
	1	1	0,5392	0,0000	73,7080	0,0000	73,7080
		2	0,5216	72,7572	0,0000	72,7572	73,7080
		3	0,2924	0,0000	0,0000	72,7572	73,7080
		4	0,1526	0,0000	18,4711	72,7572	92,1791
		5	0,1445	18,3237	0,0000	91,0809	92,1791
	2	1	0,6283	0,0000	77,2468	0,0000	77,2468
		2	0,5824	75,7551	0,0000	75,7521	77,2468
		3	0,3475	0,0000	0,0000	75,7521	77,2468
		4	0,1925	0,0000	16,0766	75,7521	93,3234
		5	0,1735	15,8668	0,0000	91,6219	93,3234
	3	1	0,5025	0,0000	72,3832	0,0000	72,3832
		2	0,4886	71,5746	0,0000	71,5746	72,3832
		3	0,2735	0,0000	0,0000	71,5746	72,3832
		4	0,1518	0,0000	19,3359	71,5746	91,7190
		5	0,1446	18,6529	0,0000	90,2275	91,7190
	4	1	0,7209	0,0000	80,3301	0,0000	80,3301
		2	0,6537	77,8076	0,0000	77,8076	80,3301
		3	0,4184	0,0000	0,0000	77,8076	80,3301
		4	0,2442	0,0000	13,2376	77,8076	93,5668
		5	0,2113	13,2800	0,0000	91,0876	93,5668
	5	1	0,6326	0,0000	77,0008	0,0000	77,0008
		2	0,5877	75,5742	0,0000	75,5742	77,0008
		3	0,3579	0,0000	0,0000	75,5742	77,0008
		4	0,1930	0,0000	16,2628	75,5742	93,2628
		5	0,1738	15,9983	0,0000	91,5725	93,2628
	6	1	0,8538	0,0000	79,8932	0,0000	79,8932
		2	0,6619	77,4542	0,0000	77,4542	79,8932
		3	0,4758	0,0000	0,0000	77,4542	79,8932
		4	0,2750	0,0000	13,7824	77,4542	93,6755
		5	0,1552	13,8735	0,0000	91,3277	93,6755
	7	1	0,5748	0,0000	74,8260	0,0000	74,8260
		2	0,5512	73,8128	0,0000	73,8128	74,8260
		3	0,3077	0,0000	0,0000	73,8128	74,8260
		4	0,1562	0,0000	17,8086	73,8128	92,6346
		5	0,1471	17,6332	0,0000	91,4460	92,6346
	8	1	0,7486	0,0000	76,0877	0,0000	76,0877
		2	0,6837	75,5481	0,0000	75,5481	76,0877
		3	0,4233	0,0000	0,0000	75,5481	76,0877
		4	0,2250	0,0000	15,2888	75,5481	91,3765
		5	0,2002	15,7402	0,0000	91,2883	91,3765



Şekil 4.17 Aynı deprem ve temel zemini koşullarında örnek sistemlerin dinamik tepkileri

5. SONUÇLAR

Ülkemizin %90'ı deprem bölgesi kuşağı içindedir. Deprem ile iç içe yaşamak kaçınılmazdır. Mal ve can kaybını en aza indirmek için günümüzde en akılcı çözüm depreme dayanıklı yapı yapmaktır.

Çok katlı çelik yapıların yatay stabilitesini sağlamak için genelde kuşaklı (braced frame) çerçeveler kullanılır; bu elemanların davranışı betonarme yapılardaki perde davranışına benzer. Kuşaklı çelik çerçeve ise değişik örgülerle yapılabilir; bunlar arasındaki en temel fark ise, kuşakların merkez (concentric) ve dışmerkez (eccentric) yapılmasıdır.

Bu çalışmada; değişik örgülü kuşaklı çerçevelerin, aynı deprem ve temel zemini koşullarında dinamik tepkileri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, uygulamada başvuru başlıca sekiz ayrı örgü için, aynı boyutlardaki yapının dinamik çözümü yapılarak, taban kesme kuvvetleri belirlenmiştir. Çözümler lineer-elastik koşullarda yapılmış ve aynı azalım ilişkileri (R) kullanılmıştır. Bununla birlikte; elde edilen sonuçlar; dışmerkez kuşaklı çerçeveli çözümlerin dinamik tepkilerinin, konsantrik kuşaklı çözümlerdekine nispetle, hissedilir ölçüde düşük kaldığını göstermektedir.

Çözümlerin elastik ötesi noktalara taşınması halinde, elde edilen sonuçların aynı doğrultuda fakat daha vurgulayıcı olması beklenebilir. Bunun için statik itme (pushover) analizi ile sistem kapasitelerinin ve elastik ötesi yapı isteminin (talep) belirlenmesi gerekmektedir. Böyle bir araştırma, bu çalışmanın bir ileriki adımını oluşturabilir.

KAYNAKLAR

Arda, T. S., (1987), “Çelik Yapılarda Yangın ve Yangın Mukavemeti”, 3. Çelik Yapılar Semineri, İ.T.Ü. Vakfı, İnşaat Fakültesi, İstanbul.

Arda, T. S., Yardımcı, N., (2000), “Çelik Yapıda Karma Elemanların Plastik Hesabı”, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Celep, Z., Kumbasar, N., (2000), “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, 2. Baskı, İstanbul.

Ersoy, U., Çıtıptıoğlu, E., (1988), “Yüksek Yapıların Tasarımında ve Yapımında İzlenecek Temel İlkeler”, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi 1.Baskı, Ankara

Karaduman, M., (1999), “Çelik Yapılar Cilt 1”, Nobel Yayın ve Dağıtım, 3. Baskı, Ankara.

Odabaşı Y., (1997), “Çelik ve Ahşap Yapı Elemanları”, Beta Basım Yayım, 2. Baskı, İstanbul.

Özgen, A., Bayramoğlu, G., (2002), “Çok Katlı Çelik Yapılar”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Gebze Temsilciliği, Çelik Yapılar Semineri, Kocaeli.

Polat, Z., “Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Ders Notları”, Yayınlanmamıştır.

SAP2000 v7.44 Yapı Analizi Programı.

(1983), “Structural Trends in New York City Buildings”, Civil Engineering Magazine , New York.

Tarhan, M. R., (2002), “Çelik Yapı Elemanlarının Yangına Karşı Mukavemetleri ve Alınacak Önlemler”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yapı Anabilim dalı Seminer, İstanbul

Uzgider, E., Deren, H., Piroğlu, F., (2002), “Çelik Yapılar”, Çağlayan Yayınevi 1. Baskı.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 26.01.1978

Doğum yeri Ünye

Lise 1992-1995 Ünye Lisesi

Lisans 1997-2001 Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

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

Çalıştığı kurum

2003-6 Ay Tekno-Test Yapı Malz. Ve Beton Lab

