

Çok Katlı Betonarme Yapılarda Yanal Rijitliği Arttırmada Kullanılan Yöntemler

Selda Sivritepe

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos,2011

The Methods Used for Increasing The Lateral Rigidity in Multi-Storey Reinforced
Concrete Buildings

Selda Sivritepe

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

August,2011

Çok Katlı Betonarme Yapılarda Yanal Rijitliği Arttırmada Kullanılan Yöntemler

Selda Sivritepe

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. Nevzat Kıraç

Ağustos, 2011

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Selda Sivritepe'nin YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Çok Katlı Betonarme Yapılarda Yanal Rijitliği Arttırmada Kullanılan Yöntemler" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Nevzat KIRAÇ

Üye : Prof. Dr. Hasan GÖNEN

Üye : Prof. Dr. Eşref ÜNLÜOĞLU

Üye : Doç. Dr. Necati MAHİR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mizan DOĞAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, yapıya gelen yatay yüklerin karşılanmasında önemli rol oynayan ve yapının daha rijit olmasını sağlayan betonarme perdeler ile çelik çaprazlı sistemler incelenmiştir.

Bu çalışmada; iki katlı perdeli, salt kolonlu ve çelik çapraz ilaveli betonarme yapılar tasarlanıp, bu yapılarda yatay yük etkisinde oluşan deplasman değerleri incelenmiştir. Çelik çapraz kesitlerin boyutları artırılarak, sistemlerde değişen deplasman değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca ikinci bir çalışma olarak; mevcut olan 9 katlı betonarme perdeli-kolonlu bir yapının, perdeleri kaldırılıp yerlerine farklı şekillerde çelik çapraz elemanlar eklenmiş ve analizleri yapılmıştır. Perdeli, salt kolonlu ve çelik çaprazlı betonarme sistemlerin; yatay yük etkisinde oluşan yanıl ötelenme, devrilme momenti, taban kesme kuvveti ve temele aktarılan yapı ağırlık değerleri bulunmuştur. Bulunan sonuçlar, oluşturulan bu sistemler içerisinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme yapı, perde, perdeli-çerçevesel sistem, çelik çaprazlar, rijitlik.

SUMMARY

In this study as a master's thesis, reinforced concrete shear walls and steel bracing system used in reinforced concrete structures which play an important role in withstanding the horizontal loads and enable the structure to be more rigid are analysed.

In this study, two-storey reinforced concrete building with shear walls-columns and with only columns are designed and displacement values caused by the lateral loads were examined for these designed buildings. Changed displacement values were compared for the braced systems consisting of increased steel cross-section. In addition, an existing 9-story reinforced concrete building with shear walls-columns is taken into consideration. This 9-story reinforced concrete building is redesigned by using the steel bracing systems instead of reinforced concrete shear walls and then analysed again. The above mentioned buildings were analysed for the lateral forces and then the obtained values for displacements, moments, shear forces and the weights of the buildings are compared with each other.

Key words: Reinforced concrete structure, shear wall, shear wall- frame systems, steel bracing, rigidity.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan değerli danışmanım Doç. Dr. Nevzat Kıracı'ya, yardımlarını benden esirgemeyen Öğr. Gör. Hakan Özbaşaran'a, çalışmalarımda bana bilgilerini aktaran hocalarıma, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşıp yol gösteren Dr. Gökhan Tunç'a ve Yapı Proje Uygulama (YPU) inşaat şirketine teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca sevgi, güven ve desteklerini bana hissettiren ve her zaman yanımda olan başta annem, babam ve kardeşim olmak üzere tüm aileme, manevi desteklerini benden esirgemeyen İnş. Müh. Burak Özünü'ye ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Selda SİVRİTEPE

Ağustos, 2011

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLER	2
2.1 Yapı Malzemesi Olarak Betonarme	2
2.2 Betonarme Taşıyıcı Sistem Özellikleri	2
2.3 Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Tasarımı	4
3. PERDELİ ve PERDE-ÇERÇEVELİ SİSTEMLER	5
3.1 Perde Elemanı	5
3.2 Konsol Perdelerin Davranışı	6
3.3 Perde Kesitlerini Düzenleme Şekilleri	9
3.4 Perdelerin Planda Yerleştirilmesi	10
3.5 Yapı Özellikleri	13
3.6 Perde ve Çerçeve Karşılıklı Etkileşimi	17
3.7 Betonarme Perdelerle İlgili Sonuçlar ve Öneriler	20
3.8 Betonarme Perdelerle İlgili DBYBH 2007 Yönetmeliğinde Geçen Şartlar	21
3.8.1 Süneklik düzeyi yüksek perdeler (TDY2007-Bölüm 3.6)	21
4. DEPREME KARŞI DAYANIKLI ÇELİK YAPI TASARIMI	29
4.1 Deprem ve Çelik Yapılar	29
4.2 Malzeme Olarak Çelik	30
4.3 Deprem Tasarımı İçin Çeliğin Sahip Olması Gereken Özellikler	31
4.4 Taşıyıcı Sistem Elemanları	31
4.5 Ek ve Birleşim Bölgeleri	31

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.6 Çelik Çerçevesler	33
4.6.1 Moment Aktaran Rijit Çerçeve Sistemler	34
4.6.2 Çaprazlı Sistemler	35
4.6.2.1 Merkezi çaprazlı sistemler	35
4.6.2.2 Dış Merkez Çaprazlı Sistemler	41
4.6.3 Çelik Çaprazlı Perdelerle İlgili DBYBH 2007 Yönetmeliğinde Geçen Şartlar (Bölüm 4.5)	43
5. ÇOK KATLI YAPILARDA KULLANILAN MALZEME SİSTEMLERİ	47
5.1 Yapılarda Kullanılan Malzemelerin Gelişimi	47
5.2 Betonarme, Çelik ve Kompozit Yapıların Özellikleri	48
6. BETONARME ÇERÇEVELERİN ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ	53
6.1 Betonarme Çerçeveslere Eklenen Çelik Çaprazların Birleşim Detayları	53
6.2 Betonarme Yapıya Eklenen Çelik Çaprazlarla İlgili İncelenen Tezler ve Makaleler	56
7. YAPILAN ANALİTİK ÇALIŞMALAR.....	61
7.1 Tasarlanan 2 Katlı Betonarme Yapıda Yapılan Çalışmalar	61
7.2 Mevcut olan 9 Katlı Betonarme Bir Yapıda Yapılan Analitik Çalışmalar	67
7.2.1 Projenin SAP2000 programı ile çözülmesinde izlenen yol	69
7.2.2 Betonarme perdelerin kaldırılıp yerlerine çelik çapraz elemanların eklenmesi durumu	74
7.2.3 Betonarme yapıya farklı kesit boyutlarında çelik çapraz elemanların eklenmesi durumu	82
8. SONUÇ ve ÖNERİLER	84
9. KAYNAKLAR DİZİNİ	86

EKLER

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Konsol perde	6
3.2 Perde kesitinde eğilme momenti-eğrilik değişim grafiği	7
3.3 Perde başlığı bölgesi ve dik kesişen perdelerde etkili perde genişliği	8
3.4 Kesit boyutları yükseklikle değişen perdeler	9
3.5 Perde kesit şekilleri	10
3.6 Tünel kalıp sistemleri	11
3.7 Perdelerin planda düzenlenme şekilleri	12
3.8 N-M- Φ ilişkisi	13
3.9 a) Elasto plastik davranış, b) Deprem yükü azaltma katsayısı	14
3.10 a) Konsol perde üzerinde üzerindeki ötelenme rijitliğinin tanımlanması, b) moment-eğrilik ilişkisi eğilme rijitliği	15
3.11 Perde ve çerçevenin karşılıklı etkileşimi	18
3.12 Perde ve çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistem	19
3.13 Döşeme plağının esnekliğinin yatay yükün paylaşılmasındaki etkisi	19
3.14 Perdelerde donatı düzeni (TDY 2007-Şekil 3.11)	25
3.15 Moment diyagramı (TDY 2007- Şekil 3.12).....	27
4.1 Yapı çeliğinde çekme (basınç) gerilmesi-birim uzama (kısalma) ilişkisi	30
4.2 Çelik taşıyıcı sistem çeşitleri	33
4.3 Moment aktaran çerçeve sistemler	34
4.4 Yaygın olarak kullanılan çaprazlı çerçeveler	36
4.5 Yön değiştiren yük altında bir çapraz elemanın davranışı	37
4.6 Yön değiştiren yük altında değişik boydaki çapraz elemanların davranışı	38
4.7 Guse plakası birleşim detayı	39
4.8 V çaprazın guse plakasına birleşim detayı	40
4.9 X merkezi çaprazlı sistem	40
4.10 Dış merkez çaprazlı sistemler	41
4.11 Çapraz bağlantı detayı; a) Tipik dış merkez çapraz bağlantı detayı, b) Dış merkez ters V çaprazın birleşim detayları	42
4.12 Merkezi çelik çaprazlı perdeler (TDY 2007-Şekil 4.4)	43
4.13 Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler (TDY 2007-Şekil 4.5)	44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1 En yüksek 200 yapıda kullanılan malzeme sistemlerinin yıllara göre değişimi	47
6.1 Betonarme sisteme bağlanan çelik çapraz elemanın bağlantı detayları	53
6.2 V şeklindeki çapraz elemanın bağlantı detayı	54
6.3 a) X çapraz elemanın betonarme yapıya bağlantısı, b) Oluşan yumuşak katın merkezi çapraz sistem ile güçlendirilmesi	54
6.4 a) Binaya eklenen çelik çaprazın dıştan görünüşü, b) X çelik çaprazın bağlantı detayı	55
6.5 a) Kullanılan ana model çaprazlama, b) Bağlantı elemanlarında oluşan kuvvetler	56
6.6 a) Testte kullanılan bağlantı elemanları, b) Bağlantı elemanlarının test düzeneğine yerleştirilme durumları	57
6.7 (a), (b), (c) bağlantı tiplerinin yüke bağlı olarak değişen deplasmanların değerleri	57
6.8 a) Betonarme çerçevenin test modeli, b) Çerçeve eklenen çelik çapraz, c) Çapraz elemanın bağlantı detayı	58
6.9 İncelenen bağlantı şekilleri	59
6.10 Test düzeneği ve deney numunesi	59
6.11 Değiştirilebilir çelik çaprazlı sistem özellikleri	60
7.1 Betonarme perdeli sistem	62
7.2 Betonarme kolonlu sistem	62
7.3 Betonarme sisteme eklenen farklı şekillerdeki çelik çaprazlı sistemler	63
7.4 X çaprazlı sistemdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman değerleri	63
7.5 V çaprazlı sistemdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman değerleri	64
7.6 K çaprazlı sistemdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman değerleri	64
7.7 Farklı sistemlerdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman(mm)değerleri	65
7.8 Sabit kesit alınarak farklı sistemlerde oluşan deplasman değerleri	66
7.9 İncelenen projenin 3 boyutlu görünüşü	67
7.10 Esas olarak ele alınan statik projenin kalıp planı	68
7.11 Hesaplarda kullanılan azaltılmış ivme spektrumu fonksiyonu grafiği	72
7.12 SAP2000 programı ile analiz sonrasında bulunan deprem kuvveti etkisi altında x yönündeki en üst kat deplasman değeri (mm)	73
7.13 Yerel paket programında bulunan deprem kuvveti etkisi altında x yönündeki en üst kat deplasman değeri (mm)	73

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.14 Perdelerin kaldırılmasından sonra oluşturulan salt kolonlu yapının kalıp planı	75
7.15 Betonarme yapıya eklenen farklı şekillerdeki çelik çaprazlar: a) X şeklindeki çelik çapraz, b) Ters V şeklindeki çelik çapraz, c) K şeklindeki çelik çapraz	76
7.16 Zemin kat 1-1 aksında bulunan kolonların durumu	77
7.17 Farklı sistemlerde zemin kat kolonlarında bulunan moment değerlerinin(kN.m)grafığı...	77
7.18 Farklı sistemlerin zemin kat 1-1 aksındaki kolonlarının taban kesme kuvvetleri (kN) grafığı	79
7.19 Farklı sistemlerin deprem kuvveti (Ex) etkisinde oluşan en üst kat deplasman değerleri..	80
7.20 Farklı sistemlerdeki yapıların toplam ağırlıkları (Tonf)	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1 Deprem yükü azaltma katsayısı, R (Afet Yönetmeliği)	34
7.1 Farklı sistemlerdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman değerleri	65
7.2 Sabit kesit alınarak farklı sistemlerde G+Q+Ex kombinasyonunda oluşan deplasmanlar	66
7.3 Oluşturulan azaltılmış ivme spektrumunu değerleri	71
7.4 Zemin kat 1-1 aksındaki kolonların moment değerleri (kN.m)	78
7.5 Zemin kat 1-1 aksındaki kolonların taban kesme kuvveti değerleri (kN)	79
7.6 Yapıların toplam ağırlıkları (tonf)	81
7.7 Farklı kesitlerdeki çelik çaprazlı sistemlerin Ex kuvvetindeki deplasman değerleri	82
7.8 Farklı kesitlerdeki çelik çaprazlı sistemlerin yapı ağırlığı değerleri	83

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
a	Kolonda veya perde uç bölgesinde etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık
A_{ch}	Perde kesit alanı
A_o	Etkin yer ivme katsayısı
b_w	Perdenin gövde kalınlığı
e	Dış merkezlik
E	Deprem kuvveti
EI	Eğilme rijitliği ölçüsü
E_s	Çeliğin elastisite modülü
F	Kuvvet
f_{cd}	Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{ywd}	Enine donatının tasarım akma dayanımı
g	Yerçekimi ivmesi
G	Sabit yük etkisi
H_{cr}	Kritik perde yüksekliği
H_w	Temel üstünden veya zemin kat döşemesinden itibaren ölçülen toplam perde yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
k	Burkulma boyunu belirleyen bir katsayı
k	Rijitlik
l_w	Yatay perde boyu
M	Moment
$(M_p)_t$	Kapasite momenti
$(M_r)_t$	Taşıma gücü momenti
n	Hareketli yük katılım katsayısı
N	Eksenel kuvvet

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
P	Yük
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
s	Enine donatı aralığı
S(T)	Spektrum katsayısı
t	Kalınlık
T	Bina doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	Spektrum karakteristik periyotları
u	Deplasman değeri
V_e	Tasarım kesme kuvveti
V_d	Yük katsayıları ile çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan kesme kuvveti
V_r	Kolon, kiriş veya perde kesitinin kesme dayanımı
V_t	Eşdeğer deprem yükü yönteminde göz önüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)
Z	Yerel zemin sınıfı
Q	Hareketli yük etkisi
W	Binanın hareketli yük katılım katsayı değeri kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
$\sum A_g$	İlgili doğrultudaki perdelerin alanı
$\sum A_p$	Binanın tüm katlarının plan alanlarının toplamı
β_y	Kesme kuvveti dinamik büyütme katsayı
ϵ_y	Donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesi
ϵ_s	Çeliğin pekleşme başlangıcındaki birim şekil değiştirmesi
Φ_y	Çekme donatısının akması
Φ_u	Basınç altında betonun ezilmesi
Δ	Ötelenme (Toplam yer değiştirme)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
μ	Süneklik oranı
\emptyset	Donatı çapı
ρ_{sh}	Perdede yatay gövde donatılarının hacimsel oranı
δ	Boy kısalması

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
cm	Santimetre
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TDY)
et al	Ve diğerleri
GPa	Gigapascal
kN	Kilonewton
kNm	Kilonewton metre
m	Metre
mm	Milimetre
min	Minimum
MPa	Megapascal
t	Ton
TS	Türk Standardı
vd	Ve diğerleri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yatay yükten meydana gelen yer değiştirmelerin sınırlandırılması önemli bir sorun olan yüksek yapılarda, sağladıkları rijitlik dolayısıyla perdelerin veya çelik çaprazların kullanılması gerekir. Betonarme bir yapının rijitliği perde elemanlarla arttırılabildiği gibi, çelik çapraz elemanlar eklenerek de arttırılabilir. Bu nedenlerle son zamanlarda betonarme ve çeliğin avantajlarını birleştiren, çelik ve betonarme taşıyıcı sistemlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan karma taşıyıcı sistemler gündeme gelmiştir. Bu tür taşıyıcı sistemlerin, sadece betonarme veya çelik yapı taşıyıcı sistemlerine göre hem daha etkin hem de daha ucuz olduğu belirtilmektedir.

Yüksek lisans tezi olarak yapılan bu çalışmada, yapıya gelen yatay yüklerin karşılanmasında önemli rol oynayan ve yapının daha rijit olmasını sağlayan betonarme perdeler ile betonarme yapıya eklenen çelik çaprazlı sistemler incelenmiştir. Yedi bölümden oluşan bu çalışmanın ikinci bölümünde, betonarme taşıyıcı sistemlerin özelliklerinden; üçüncü bölümünde, betonarme binalarda deprem perdelerinin yerleşimi ve tasarımından, ayrıca TDY-2007 yönetmeliğinde perdelerle ilgili uygulanması gereken kurallardan bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, çelik yapı tasarımı, çelik taşıyıcı sistem tipleri ve özellikle çelik çaprazlı sistemler incelenmiş; ayrıca TDY-2007 yönetmeliğinde çelik çaprazlı perdelerle ilgili şartlardan bahsedilmiştir. Beşinci bölümde, çok katlı yapılarda kullanılan malzeme sistemleri ve bu sistemlerin gelişimi anlatılmış; betonarme, çelik ve kompozit yapıların özelliklerinden bahsedilmiştir. Altıncı bölümde, betonarme yapıların çelik çaprazlı sistemlerle güçlendirilmesi anlatılmış; konuyla ilgili yazılan tez ve makaleler incelenmiştir. Son bölümde ise; 2 katlı betonarme perdeli ve betonarme yapıya eklenen çelik çaprazlı sistemler tasarlanmış ve bu sistemlerin deplasman değerleri incelenmiştir. Ayrıca mevcut olan 9 katlı betonarme perdeli-kolonlu bir yapının, perdeleri kaldırılıp yerlerine farklı tipte çelik çapraz elemanlar ilave edilmiş ve bu sistemlerin analizleri yapılmıştır. Oluşturulan sistemlerin yapı ağırlık değerleri; yatay yükten meydana gelen deplasman, moment ve kesme değerleri incelenmiş ve bulunan değerler karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2

BETONARME TAŞIYICI SİSTEMLER

2.1 Yapı Malzemesi Olarak Betonarme

Betonarme, betonun içine, beraber çalışması sağlanacak şekilde çelik çubukların yerleştirilmesi sonucu elde edilen malzemedir. Betonun yüksek basınç dayanımı; çeliğin ise yüksek basınç ve çekme dayanımı birleştirilerek ideal denebilecek bir yapı malzemesi elde edilir. Çok katlı yapılar, köprüler, yol ve alan kaplamaları, barajlar, istinat duvarları, tüneller, viyadükler, su getirme ve kullanılmış suların uzaklaştırılması için gerekli olan boru ve tesisler, sıvı hazneleri betonarmenin uygulama alanlarının en önemlileridir.

2.2 Betonarme Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Betonarme bir yapının taşıyıcı sistemi, söz konusu yapının işlevine bağlı olarak, değişik türde olabilir. Her taşıyıcı sistemden, kendi ağırlığı başta olmak üzere, etkiyen yükleri karşılayarak; bunları mesnetlendiği zemine güvenli bir şekilde iletilmesi beklenir. Bir yapının, güvenli olmasının yanı sıra, ekonomik, kullanım amacına uygun, çevre ile uyumlu ve estetik olma koşulları da göz önüne alınarak; taşıyıcı sistemin bu koşulları önleyici olmamasına dikkat edilmelidir.

Yüksekliği fazla olmayan binalar daha sünek bir sistem olduklarından, kolonlardan oluşan çerçevelerin tercih edilmesi gerekir. Buna karşılık; yatay yükten meydana gelen yer değiştirmelerin sınırlandırılması önemli bir sorun olan yüksek yapılarda, sağladıkları rijitlik dolayısıyla perdelerin kullanılması gerekir. Çoğunlukla yüksek binalarda da kolonlar ve perdeler birlikte kullanılır. Düşey taşıyıcıları yalnız perdelerden oluşan sistemler, tünel kalıp kullanılarak, üretim hızı ve kalıptan ekonomi sağlanması amacıyla seçilebilirler.

Hangi türden olursa olsun, betonarme taşıyıcı sistemin düzenlenmesi sırasında dikkat edilmesi gereken özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a- Düşey taşıyıcı olan kolon ve perdelerin temellerine önem verilmeli, özellikle zeminin durumu göz önüne alınarak temellerin belirlenmesi, kolonların temellere kadar kesintisiz devam etmesi gerekmektedir.
- b- Yatay yüklerin güvenli bir biçimde taşınabilmesi için her iki doğrultuda yatay yükleri karşılayacak çerçeveler oluşturulmalıdır. Taşıyıcı sistemin, yükleri en kısa yoldan zemine aktaracak şekilde düzenlenmeli ve burulma gibi bazı ek etkilerin oluşmaması için çaba harcanmalıdır.
- c- Depremde en çok zorlanan yerlerden birisi kolon-kiriş birleşim bölgeleri olduğundan; bu bölgelerde donatının yerleştirilmesine, kenetlenmesinin sağlanmasına ve kolon etriyelerinin devam ettirilmesine önem verilmelidir.
- d- Betonun yeterince sünekliğe sahip olabilmesi ve öngörülen dayanımda olması gerekir.
- e- Taşıyıcı sistemde rijitliğin ve bununla uyumlu taşıma kapasitesinin düzgün bir şekilde dağıtılmasının, depremden sonra ortaya çıkan hasarların bazı bölgelerde yoğunlaşmadan tüm yapıda dağılmasını sağlamalıdır.
- f- Kolon ve perde kesitlerinin, taşıyıcı sistemin iki doğrultudaki rijitliğini birbirine yakınlaştıracak şekilde belirlenmesi, her iki doğrultudaki deprem zorlanmasının uyumlu olarak taşınmasını sağlar.
- g- Taşıyıcı sistemin planda simetrik olarak düzenlenmesi depremle birlikte ortaya çıkacak etkilerin gereksiz yere artmasını önler. Perdelerin, planda dış kenarlara yakın yerleştirilmesi, yapının tüm plan kesitinin burulma rijitliğini arttırarak, depremden doğacak kesit etkilerinin daha düşük düzeyde kalmasını sağlar.
- h- Kolon ve kirişlerdeki birleşim noktalarına yakın bölgeler, yani sarılma bölgeleri, deprem etkisi altında fazla zorlanacağından, sargı donatısı ile betonun enine şekil değiştirmelerini sınırlandırmasından dolayı dayanımın ve sünekliğin artması hedeflenir. Bu sayede deprem etkilerinin neden olacağı hasar daha düşük bir seviyeye indirgenebilir.

- i- Kirişsiz döşemeli yapılarda, döşeme ve kolonların oluşturduğu çerçeveler yatay yüklere karşı çoğunlukla yeterli rijitlik sağlayamadığı için, perdeler ile yapının rijitliğinin sağlanması gerekir.
- j- Temel bağ kirişlerinin, temelleri bağlayıp birbirlerine göre yer değiştirmelerini önleyecek şekilde düzenlenmeli ve donatılarının kenetlenme işlemi temel bloğunun içinde yapılmalıdır (Celep, 2009).

2.3 Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Tasarımı

Yapıların ömürleri içindeki en büyük etkiler genelde deprem ile oluşmaktadır. Ülkemiz alanının % 92'si, nüfusun % 95'i, büyük sanayi merkezlerinin % 98'i ve barajların %93'ü sismik hareketler açısından oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır (Öztürk, 2005; Celep ve Kumbasar'dan, 2004). Sosyal ve ekonomik sorunlar büyük şehirlere göçü arttırmış ve buralarda yüksek yapı yapma zorunluluğunu doğurmuştur.

Ülkemizde ve dünyada son yıllarda meydana gelen şiddetli depremlerin ardından binalarda yapılan incelemeler doğrultusunda, perdeli binaların depreme karşı olan direncinin çerçeveli sistemlere oranla çok daha iyi olduğu ve daha az hasar gördüğü tespit edilmiştir.

Perdeler, yatay kuvvetler doğrultusunda rijitlikleri göz önüne alındığında yatay yer değiştirme sınırlandırmaları açısından en uygun yapı elemanı olarak görülmektedir. Tünel kalıp sistemli binalar ve prefabrik betonarme panolu yapılarda perdeli sistemler tek başına uygulanmaktadır. Perdeler, çerçevelerle birlikte kullanılarak perde-çerçeve karşılıklı etkileşimi ile yapıya özellikle süneklikle birlikte kazandırılan dayanım sebebi ile tercih edilmektedir. Ayrıca perdeler depremden hasar gören yapıların onarımı için en uygun ve ucuz bir yapı elemanıdır (Öztürk, 2005).

BÖLÜM 3

PERDELİ ve PERDE-ÇERÇEVELİ SİSTEMLER

3.1 Perde Elemanı

Yatay yüklerin taşınmasında etkili olarak kullanılan perdeler, plandaki uzun kenarının kısa kalınlığa oranı en az yedi olan, düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Bir yapıda tek başına olabilen perdeler, çerçeve sistemiyle birlikte kullanıldığında, rijitlikleri fazla olduğundan, deprem veya rüzgardan oluşan yatay yüklerin tamamına yakınına karşılarlar.

Yüksek yapılarda, yatay yükler etkisinde kat yer değiştirmelerinin sınırlandırılması açısından, perdelerin kullanılması gereklidir. Döşemeler düzlemlerinde çok rijit olduklarından perdelerin rölatif hareketlerini engeller. Perdelerin, yapının güvenliğini sağlaması ve kat yer değiştirmeleri sınırlandırarak yapısal hasarları önlemeleri açısından etkili davrandıkları belirlenmiştir (Öztürk, 2005).

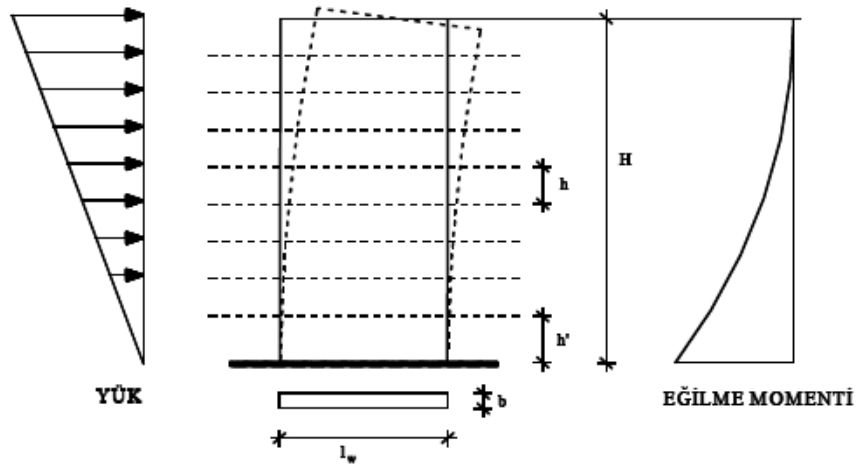
Perdeler tek başlarına düşünülüklerinde bir konsol kiriş oldukları halde, taşıyıcı sistem içinde bağ kirişleri veya bu işlevi yapan döşeme elemanı, varsa çerçeve kolonları ile etkileşimi ve moment diyagramları bir konsolunkinden farklıdır. Bu fark etkileşimi sağlayan elemanların rijitliğiyle değişir. Perdelerin birbirlerine bağ kirişleriyle birleştirilmesi sonucunda elde edilen yatay yük taşıyıcı elemanlar boşluklu perde olarak adlandırılır.

Bir yapının taşıyıcı sisteminde perdelerin de bulunması durumunda dikkat edilmesi gereken husus, perdelerin temelidir. Eksenel kuvvetleri yanında taşıdıkları eğilme momenti oldukça büyük olan perdelerin taşıdıkları bu kesit zorlamalarını zemine güvenli bir biçimde aktaracak temeli düzenlemek kolay olmayabilir. Bu yüzden, yapının taşıyıcı sistemi düzenlenirken, perde temelini komşu kolonları ile birleştirerek yerel bir plak temel oluşturulması gerekebilir.

Perdelerin plandaki yerlerinin belirlenmesinde binanın fonksiyonu ve mimari nedenler etkili olur. Planda perde yerlerinin simetriyi sağlayacak şekilde yerleştirilmesi gerekir. Taşıyıcı sistemin rijitliğini büyük ölçüde arttıran perdelerin iki doğrultuda dengeli bir biçimde yerleştirilmesi tercih edilmelidir (Celep ve Kumbasar, 2004).

3.2 Konsol Perdelerin Davranışı

Perdeler yatay yükler altında konsol kiriş gibi davranırlar (Şekil 3.1). Perdeler, kat seviyesinde döşemelerle rijit olarak bağlandığından, ince kesitlerine rağmen yanıl burkulma tehlikesi minimum seviyededir. Perdelerde burkulmaya neden olan kritik boy olarak perde yüksekliği yerine, kat yüksekliğinin kabul edilmesi uygundur. Konsol perdeler yatay yüklerden oluşan eğilme momenti yanında, düşey yüklerden gelen aksenal normal kuvvetin de etkisindedir (Öztürk, 2005).

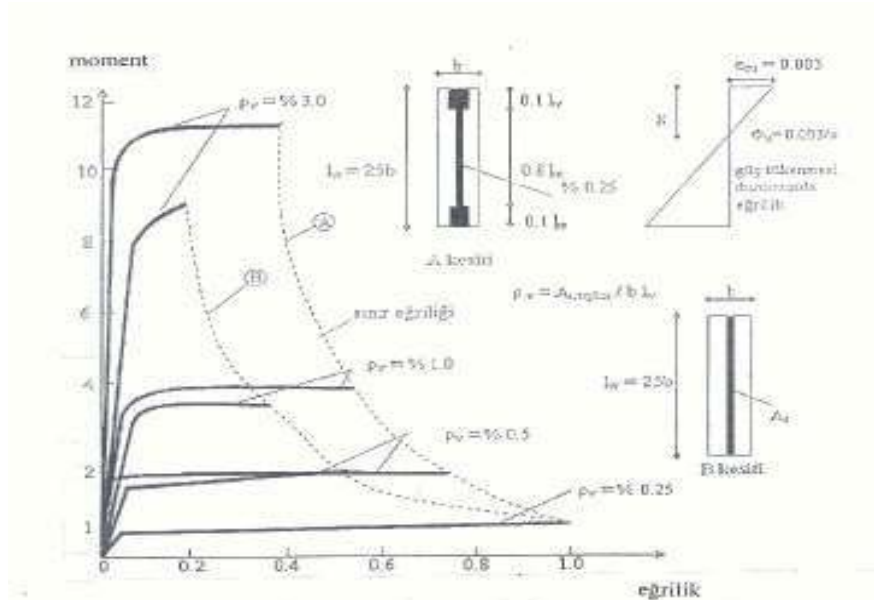


Şekil 3.1 Konsol perde (Öztürk, 2005)

Karşılıklı etki diyagramları ile perdelerin dayanımı bulunabilir (Öztürk, 2005: İTÜ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu, 2004). Kesitin taşıma gücü bulunurken gövdedeki düşey donatının da hesaba katılması ile ekonomi sağlanır. Perde çerçeveli sistemlerde, perdeler rijitlikleri nedeni ile önemli bir eğilme momenti taşıdıkları halde, normal kuvvetleri o kadar büyük değildir. Eğilme momentinin hakim olması perdenin

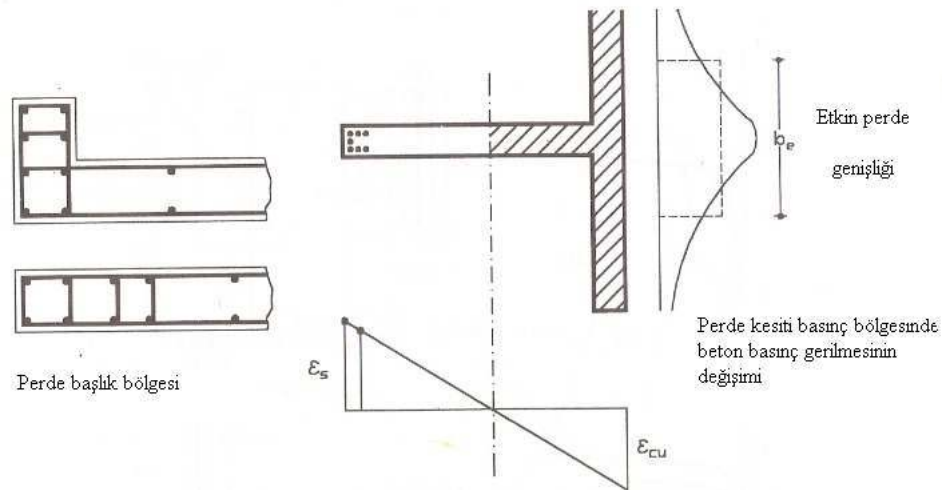
temellerinde bir problem olarak ortaya çıkar. Normal kuvvet küçük olduğu için, çekme gerilmelerinin oluşturduğu alanı azaltmak amacı ile büyük perde temeli yapılması veya komşu kolonları da içine alan ve bu suretle normal kuvveti arttıran bir temel yapılması gerekli olabilir. Perdelerin temelinde yeterli normal kuvvetin sağlanması ve her kat döşemesinden yatay kuvvetlerin alınabilmesi için döşeme ile perde arasında gerekli bağın oluşturulması önemlidir (Celep, 2009).

Yüksekliği az olan yapılarda deprem kuvvetleri küçük olduğundan ve mimari plana uygun olarak genelde perdeler gereğinden büyük yerleştirildiğinden aşırı zorlanmazlar. Bu durumda iki doğrultuda % 0.25 oranında bir konstrüktif donatı tavsiye edilir. Böylece perdenin moment taşıma özelliği sağlandığı gibi, sünekliği de önemli ölçüde artar. Gövdede bulunan donatının kuvvet kolu küçük olduğundan etkili bir şekilde kullanılamaz. Perdelerde gövde donatısının arttırılması ile taşınacak moment büyütülse de kesitin göçme durumunda ulaşabileceği eğrilik yani kesitin sünekliği azalır (Şekil 3.2).



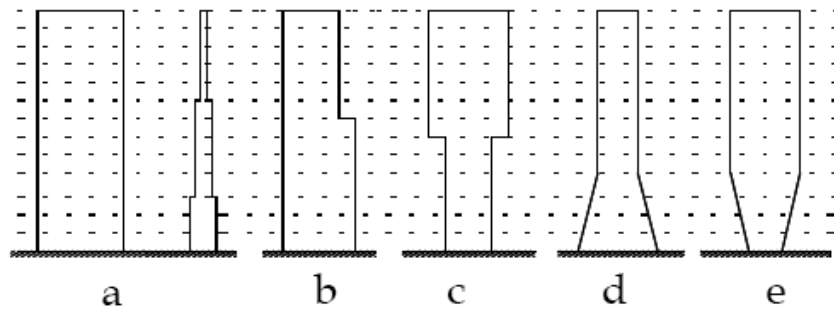
Şekil 3.2 Perde kesitinde eğilme momenti-eğrilik değişim grafiği (Celep, 2009)

Perdenin en çok zorlandığı mesnet kesitinde betonun en büyük kısılmasını büyütmek ve böylece kesitin sünekliğini arttırmak için, kolonlardaki gibi, mesnetten yukarı bölgede perdenin plandaki boyutuna yakın yükseklik boyunca etriyelerin sıklaştırılması uygundur. Bunun yanında perdelerde boyuna donatılarının burkulmasını önlemek için, kolonlardaki gibi, bütün yükseklik boyunca yatay donatılara ihtiyacı vardır. Perdelerin eleman olarak burkulmasını önlemek, uç bölgelerinde beton basınç bölgesini büyütmek ve zorlamayı hafifletmek için, özellikle binaların bodrum katlarında, perde başlık bölgesi düzenlenmesi tavsiye edilir. Bir perdenin dik doğrultuda başka bir perde ile birleşmesi durumunda başlık bölgesi doğrudan oluşturulmuş olur. Başlık bölgesi, yatay yükün belirli bir yönü için, tamamen basınç etkisi altında olacağından, bu bölgenin kolonlardaki konstrüktif kurallara uyularak donatılması yerinde olur. Başlık bölgesinin bulunması perdenin eğilme momenti kapasitesini önemli derecede artırır. Hatta, kesme kuvvetini eğilme momentinden daha kritik duruma getirebilir. Birbirine dik olarak bulunan perdelerde başlık bölgesine birleşen perdede basınç gerilmelerinin Şekil 3.3'te gösterildiği gibi azalacağı için tablalı kesitlerde olduğu gibi, etkili başlık genişliği tarif etmek ve bunu hesaplarda göz önüne almak uygundur (Celep, 2009).



Şekil 3.3 Perde başlığı bölgesi ve dik kesişen perdelerde etkili perde genişliği (Celep, 2009)

Bina yüksekliği boyunca perdelerin enkesit boyutları sabit olduğu gibi, perde boy ve genişliği üst katlara doğru azaltılabilir (Şekil 3.4a). Bu durumdaki rijitlikleri, karşılıklı etkileşimi olan perdelerin bulunması halinde hesaba katmak gerekir. Perde genişliklerinin ani (Şekil 3.4b) veya sürekli (Şekil 3.4d) değiştiği durumlarda, rijitliklerinde daha büyük değişiklikler meydana gelir. Yukarı doğru incelen perdeler yapısal açıdan etkili olmakla birlikte, oluşabilecek plastik mafsalların boylarını ve yerlerini belirlemede dikkatli olunmalıdır. Yükseklik boyunca kalınlaşan perdelerin (Şekil 3.4c,e) yapısal olarak çok etkili olmadığı bilinmektedir. Plastik mafsalın perdenin temelinde oluşması halinde, mafsal boyunu önemli derecede sınırlandırmak gerekecektir. Bu tip perdeler süneklik düzeyi yüksek çerçevelerle kullanılırsa, plastik mafsallı perde tabanında oluşması açısından bir avantaj sağlayacaktır (Öztürk, 2005: Paulay and Priestly, 1992).

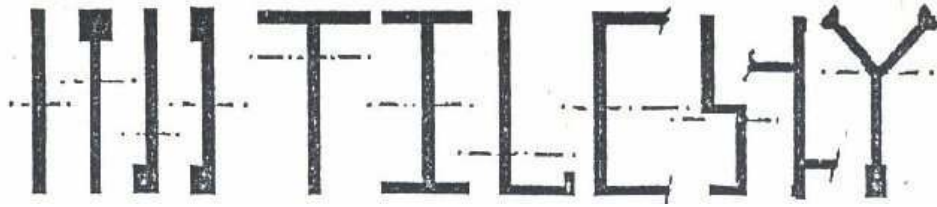


Şekil 3.4 Kesit boyutları yükseklikle değişen perdeler (Öztürk, 2005)

3.3 Perde Kesitlerini Düzenleme Şekilleri

Perde kesitleri, mimari kısıtlamalar ve deprem doğrultularında etkili çalışmasını sağlamak amacıyla I, T, L, H, C, U, Y gibi tasarlanabilir (Şekil 3.5). Perdenin minimum kalınlığı, beton ve donatı yerleşimini sağlamak, yangın riskini en aza indirmek için yönetmelikler tarafından belirlenmiştir. Deprem anında yatay kuvvetler perdeler üzerine etkili olmaya başladığında, kayma dayanımını ve stabilizeyi sağlamak için kalınlığı arttırmak gerekebilir. Ancak perde kesitinin iki ucunda gerilmeler büyük olacağı için, donatı perde uç bölgelerinde yoğunlaşır ve buralarda kalınlığın artmasıyla perde uç elemanları oluşturulur. Perde ucuna diğer doğrultuda başka bir perdenin

birleşmesi durumunda, uç elemanı bu perde içinde oluşturulabilir. Başlıklı perdeler, kiriş mesnetlenmesinde ve eğilme donatılarının yerleştirilmesinde kolaylık sağlar. Bunun yanında uç elemanlar perdenin yanal burkulma stabilitesini artırır ve potansiyel plastik mafsal bölgelerindeki basınca maruz betonun daha iyi sarılmasını sağlarlar. Böylece plastik mafsal bölgelerinde sıkışan betonun erken dağılması önlenmiş olur. Perdelerin dik açı ile birleşmesi sonucunda, kanatlı perde şekilleri oluşur. Bu perdeler, binanın iki ana doğrultusunda da dayanım sağlarlar. Kanatlar basınç etkisinde oldukça sünek davranırlarken, T ve L kesitli perdelerde kanatlar çekmeye zorlandığında oldukça sınırlı süneklığe sahiptirler (Öztürk, 2005).



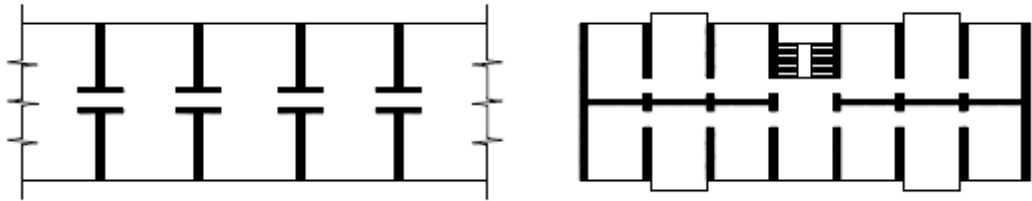
Şekil 3.5 Perde kesit şekilleri (Öztürk, 2005)

3.4 Perdelerin Planda Yerleştirilmesi

Perdeler yatay ve düşey yükler ile burulma etkisi altındadır. Perdenin kesitine ve plandaki yerine göre eğilme momenti ve burulma dayanımı değişir. Bu durumda bazen perdelerin yerleri taşıyıcı sistem açısından pek uygun olmayabilir. Mimari plan ve döşemelerin büyüklüğü perde yerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır.

Perdeler, burkulma stabilitesine sahip, rijitlikleri simetrik ve temelde devrilmeye karşı yeterli güvenlikte olmalıdır. Perdeleri planda yerleştirirken, beklenen plastik şekil değiştirmelerin bina planında düzgün bir şekilde dağılmasını sağlamak uygundur. Aksi durumda, bazı perdeler aşırı, bazıları da kapasitelerinin altında zorlanacaktır. Perdeleri bir yüksek yapıda yeterli rijitlik sağlanabilmesi için sistem çizgileri bir noktadan geçmeyen en az üç perde teşkil edilmelidir. Bazen yapılar, deprem yüklerinin fazla olması ve özellikle deplasman koşulunu sağlamak üzere yalnız perdelerden teşkil edilebilir. Tünel kalıp ile yapılan binalarda yatay ve düşey yükler perdeler tarafından

taşınır (Şekil 3.6). Yapının özellikle deprem etkisinde elastik davranışının sağlanması genellikle yönetmeliklerdeki minimum donatı şartlarına uyulması ile mümkündür (Öztürk, 2005).



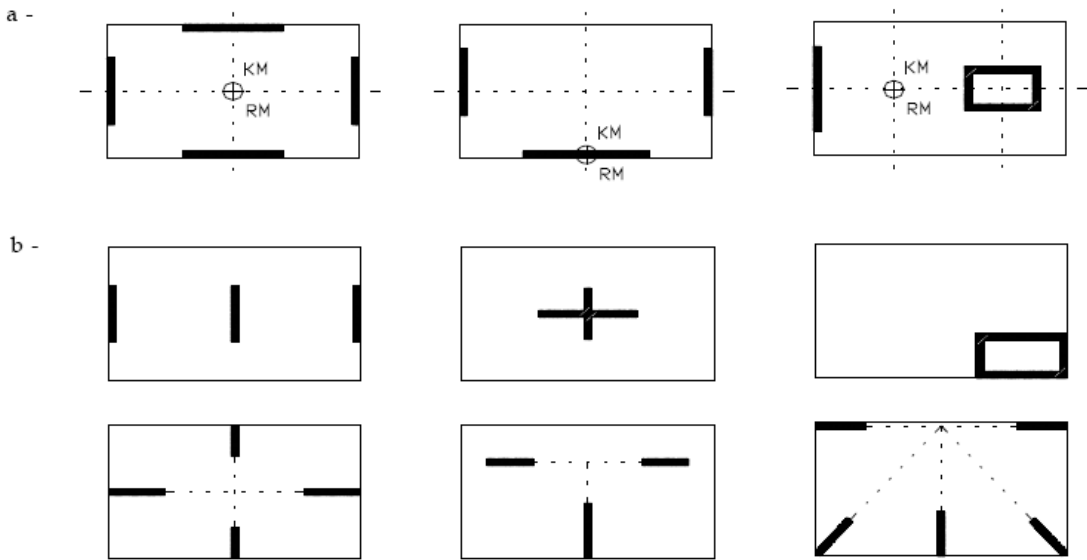
Şekil 3.6 Tünel kalıp sistemleri (Öztürk, 2005)

Yapının rijitlik merkezini belirlemede etkili olan perdelerin yerleşim düzeni son derece önemlidir. Rijitlik ve kütle merkezlerinin birbirine yakın olması sistemin stabilitesini geliştirmektedir. Perdelerin burulma rijitliğine dikkat edilmesi gerekir. Kattaki burulma etkisi, düşey elemanların üzerine etkiyen kesme kuvvetinin moment koluyla çarpılması olduğuna göre, moment kolu en büyük olan perde veya çerçevede burulma etkisi daha büyük olacaktır (Öztürk, 2005; Paulay and Priestly, 1992).

Perdelere gelen burulma etkilerini azaltmak için perde sistemlerinin ideal şekilde düzenlenmesi gerekmektedir (Şekil 3.7a). Buna göre;

- Yapıda en büyük burulma rijitliğinin sağlanması için, perde duvarlar yapının çevresine dağıtılmalıdır. Aynı düzlemdeki perdeler, tek başlarına konsol giriş gibi çalışabildikleri gibi, birbirlerine bağ girişleri ile bağlanarak perde çifti olarak düzenlenebilirler.
- Perde duvarlar kat planı içinde, döşeme yüklerinin olabildiğince büyük kısmını, aksenal kuvvet olarak temele aktaracak şekilde düzenlenmelidir. Bu şekilde perdede eğilme momenti için gereken donatı azalır.
- Çok katlı yapılarda deprem direncinin bir kaç perdede yoğunlaştırılması, temel sistemini bu noktalarda çok büyük deprem etkisine maruz bırakır. Bu durum, ekonomik olmayan ağır bir temel sistemini gerektirdiğinden kaçınılmalıdır.

- Perde duvarlar, çok katlı bir yapıda, her iki doğrultuda yerleştirilmelidir. Bu şekilde depremin güçlü yönde etkimesi durumunda bile, rijitlik merkezinin herhangi bir tarafında oluşabilecek olan mafsallaşmadan dolayı, rijitlik merkezinin kütle merkezi ile olan mesafesi artacak ve oluşacak burulmaya yardım edebilecek olan depreme dik yöndeki perdelerin yardımcı olması sağlanamayacaktır (Şekil 3.7b).
- Perdeler, simetrisi bozuk şekilde ve kat içinde belli bir bölgeye yoğunlaştırılmamalıdır. Perdelerin sistem çizgilerinin bir noktada kesişmeleri önlenmelidir (Şekil 3.7b) (Öztürk, 2005: Atımtay, 2000).



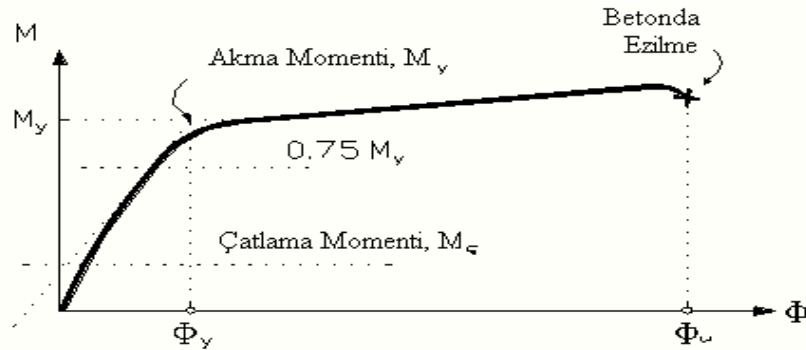
Şekil 3.7 Perdelerin planda düzenlenme şekilleri (Öztürk, 2005)

Mimari açıdan uygun bir seçim olan merdiven kovaları ve asansör şaftları betonarme çekirdekleri oluşturur. Çok katlı binalarda, yatay kuvvetlere karşı dayanımı sağlamak için, çoğu zaman bu çekirdeklerden faydalanılmıştır. Burulma etkisine karşı ilave perdeler veya bina çevresinde çerçevelerin oluşturulması gerekebilir. Perde kesitleri, buldukları yere ve isteğe göre değişik şekillerde düzenlenebilir. Yatay kuvvetlerin profil kesitli perdelerle taşınması halinde, özel yöntemlerle kesit hesabı yapmak gerekecektir (Öztürk, 2005).

3.5 Yapı Özellikleri

a) Süneklik: Perde duvarların dayanımı kadar sünekliği de önemlidir. Deprem etkileri altında, perdeler sünek olarak eğilme kırılması oluşturmalarıdır. Betonarme taşıyıcı sistemlerde eğrilik ve ötelenme sünekliklerinden söz edilebilir. Eğrilik sünekliği, taşıyıcı elemanın kesit özellikleriyle ilgilidir. Ötelenme sünekliği ise yapının eleman kesitleri kadar, plan ve boy kesit özellikleri, açıklıkları, yükseklikleri ve mesnet şartları ile ilgilidir.

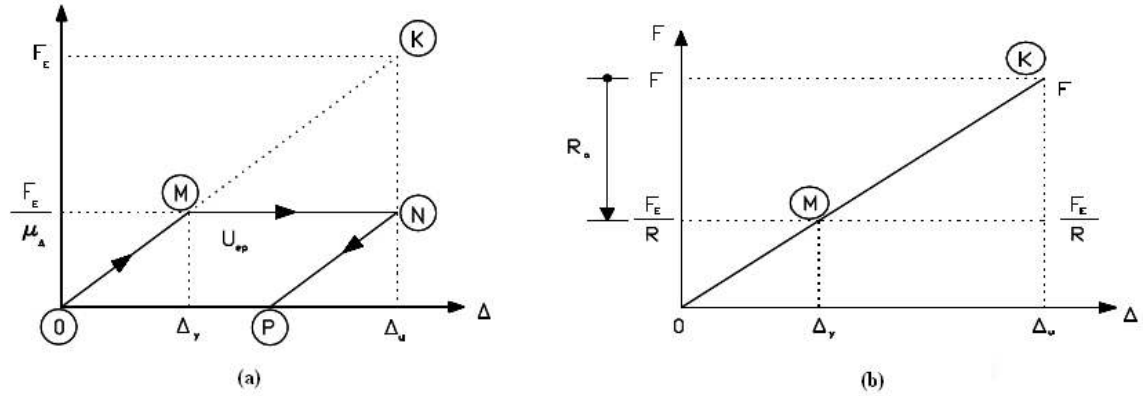
Eğrilik Sünekliği: Bu süneklik N-M- Φ ilişkisi üzerinde tanımlanabilir (Şekil 3.8). Bunun için, çekme donatısının akmasına karşılık gelen ϕ_y ve basınç altında betonun ezilmesine tekabül eden ϕ_u değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değerler çizilen N-M- Φ ilişkisinden aşağıdaki şekilde hesap edilir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 N-M- Φ ilişkisi (Öztürk, 2005)

Ötelenme Sünekliği: Elasto-plastik sistemde, plastik mafsallın olduğu M noktasına tekabül eden ötelenme Δ_y 'dir. Δ_u ile Δ_y arasındaki oran, taşıyıcı sistemin ötelenme sünekliği olarak tanımlanır. Deprem hesaplarında ötelenme sünekliği için μ_Δ 'nın yaklaşık 4~5 olması istenir. Başka bir deyişle, plastik mafsallının oluşması anında Δ_y , taşıyıcı sistemde tüm güç tükenmesinin olduğu Δ_u 'ya ulaşmaya kadar 4~5 kez büyümelidir. Elasto-plastik sistem M noktasında plastik konuma geldiği için kütleye

etki eden eylemsizlik kuvveti de M noktasında sınırlı kalır. Bu kuvvet, doğal olarak K noktasındaki F kuvvetinden defalarca küçüktür (Şekil 3.9a).



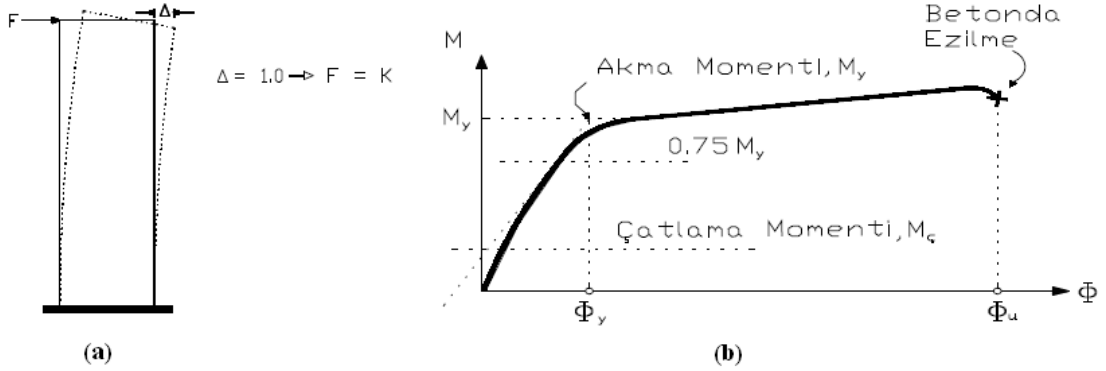
Şekil 3.9 a) Elasto plastik davranış, b) Deprem yükü azaltma katsayısı (Öztürk, 2005)

Elasto-plastik sistemde oluşan eylemsizlik kuvveti, elastik sistemdekinden μ_Δ kez daha küçük olup, bu katsayı deprem yükü azaltma katsayısı R_a olarak tanımlanır (Şekil 3.9b).

b) Rijitlik: Yatay yükten kaynaklanan deformasyon rijitlik ölçüsü olarak tanımlanır. Aynı yanal yük etkisindeki elemanlardan, az deformasyon yapan bir elemanın diğerine göre daha rijit olduğu belirtilebilir. Rijitlik ile binanın kullanılabilirlik sınır durumunda oluşacak ötelenmeler belirlenir. Rijitlik unsuru deprem etkisindeki davranışlarda, hafif ve orta şiddetteki depremlerde yanal ötelenmelerin kalıcı ve büyük olmamasını, şiddetli sismik etkiler altında ise rijitliğin azalabilmesi ve bina doğal periyodunun büyüyerek sismik kuvvet oluşumunu aza indirmesini amaçlar. Depreme dayanıklı bir yapı yeterli rijitliğe sahip olmalıdır. Bu kavram ötelenme ve eğilme rijitliği olarak düşünülebilir.

Ötelenme Rijitliği: Yapının tümüyle ilgili olan bu rijitlik, yapıya etkiyen kuvvet ile yapının bu kuvvet altında ötelenmesi arasında ilişki kurar. Ötelenme rijitliği kolon, kiriş ve perdelerin kesit özelliklerinin yanında elemanların açıklık / uzunluk ve mesnet

şartlarına da bağlıdır. $K_{\Delta}(\Delta)=F$ olarak tanımlanan rijitlikte, K_{Δ} rijitlik, F kuvvet, Δ ötelenmedir. $\Delta=1.0$ değerinde $K_{\Delta} = F$ olup, bu ötelenme rijitliği tanımıdır (Şekil 3.10a).



Şekil 3.10 a) Konsol perde üzerindeki ötelenme rijitliğinin tanımlanması
b) moment-eğrilik ilişkisi eğilme rijitliği (Öztürk, 2005)

Eğilme Rijitliği: Yapı elemanının kesit özellikleriyle ilgili olan eğilme rijitliği, eleman kesiti üzerinde geliştirilen moment-eğrilik ilişkisi olarak ifade edilebilir. Eğilme rijitliğinin ölçüsü olan EI bu eğri üzerinde tanımlanır (Şekil 3.10b). Kullanılabilirlik sınır durumu hesabındaki rijitlik, akma dayanımında kesitin taşıyabileceği momentin % 75'i oranındaki kuvvetin ölçüsüdür (Denk. 3.1).

$$K=0.75 F_y / \Delta_y \quad (3.1)$$

Elemanların rijitliğinin binada süreklilik arz etmesine önemle dikkat edilmelidir. Zemin katın rijitliği düşük tutularak (yumuşak zemin kat) yapının kuvvetli yer hareketinden az etkilenmesinin sağlanması düşünülebilir. Burada amaç yapıyı sünger üzerindeki rijit blok gibi, kısa periyotlu zemin hareketinden korumaktır. Ancak bunun gerçekleşmesi için kolon uçlarında ideal plastik mafsallar yanında büyük kat yer değiştirmesine ihtiyaç vardır. İlk koşulun tam gerçekleşmemesi ve ikinci koşulda normal kuvvetten önemli ikinci mertebe etkiler ortaya çıktığı için yumuşak zemin kat ilkesinin tam tersine kaçınılması gereken bir durum olduğu belirlenmiştir. Bu tür binaların depremlerde çok kötü davrandıkları, bazı durumlarda toptan göçmenin meydana geldiği belirlenmiştir. Temellerde yapılan özel düzenlerle binaların yer

hareketine karşı yalıtılması da esas olarak yumuşak zemin kat ilkesine dayanmakta ise de, yumuşak katlı binaların aksine bu tür düzenlerin başarı ile uygulandığı bilinmektedir.

Yapı elemanlarının rijitliğini uygun seçerek, titreşim periyodunu belirli aralığa getirip deprem etkilerini küçültmek mümkündür. Bunun için ilk yapılacak iş, spektrum eğrisinde bölgenin hakim periyodu ile yapınınkini uzak tutarak rezonans olayını önlemektir. Örneğin uzun zemin periyotlarının hakim olduğu bölgede, kısa periyotlu rijit az katlı yapılar uygundur. Genellikle bu tür bölgelerde derin tabakalar halinde yumuşak zemin bulunur ve yer hareketinin yüksek frekanslı bölümünü filtre ederek söndürür ve geriye düşük frekanslı uzun periyotlu kısım kalır. Kayalık sert zemin bölgelerinde ise yer hareketinin yüksek frekanslı kısmı hakim olur.

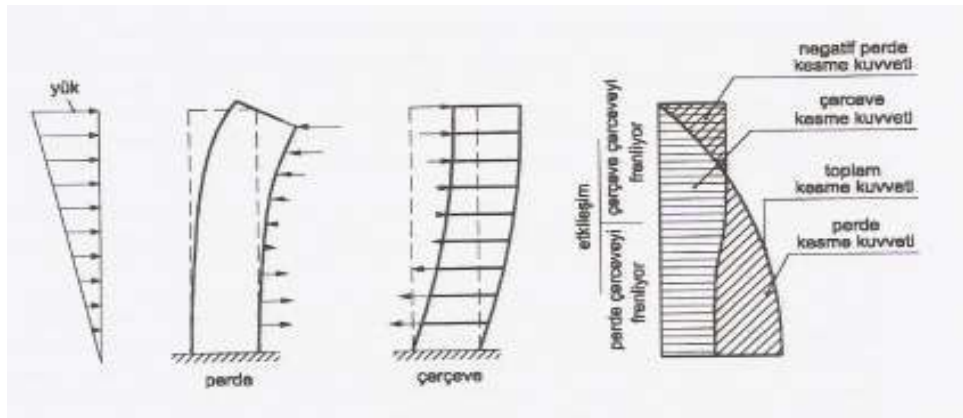
c) Dayanım: Bir yapı, kullanılabilirlik, hasarın sınırlandırılması ve yapı göçmesi sınır durumları olarak deprem etkisi altında boyutlandırılır. İlk durumunda, sık oluşan deprem etkilerinde yapıdaki kullanım durumunu etkileyecek sehim ve çatlakların oluşmaması istenir. Bunun için, bu deprem etkileri altında taşıyıcı sistem elastik davranacak şekilde boyutlandırılır. İkinci durumda, yapının orta şiddetteki depremleri güçlendirilebilecek hasarla karşılaşması istenir. Bu durumda kesitlerin yeterli dayanıma sahip olması gerekir. Bu dayanım hesabında malzemenin elastik olmayan davranışı göz önüne alınır. Ancak, yapının plastik davranışının çözümü zor olduğundan deprem yükü azaltma katsayısı kullanılarak elastik çözüm yaklaşımı uygulanır. Üçüncü sınır durumunda, yapının göçme durumu kontrol edilir (Öztürk, 2005).

3.6 Perde ve Çerçeve Karşılıklı Etkileşimi

Bir yapıda yatay yüklerin karşılanması yalnızca perdeler veya çerçeveler ile olabileceği gibi, her iki taşıyıcı birlikte de kullanılabilir. Çerçeve ve perdelerin birlikte kullanıldığı sistemlere karma sistemler denir. Yüksek yapıların çoğunluğu bu şekilde inşa edilmektedir.

Karma sistemlerde, perde ve çerçevelerin avantajları birleştirilmiş olur. Tabanda ankastre perdeler çok rijit olduklarından, deprem sırasında alt katlarda kat yer değiştirmelerinin küçük kalmasını sağlarlar. Ayrıca kolon mafsallarını içeren kat mekanizmasının oluşmasını, kolayca bertaraf edebilirler. Buna karşılık perdelerle birlikte teşkil edilen sünek çerçeveler ise üst katlarda enerji dağılımının büyük bir kısmını karşılar (Öztürk, 2005).

Perdeler ve çerçeveler yük taşıma durumunda birbirlerinden farklı davranırlar. Bu nedenle yatay yük paylaşılırak, perde ve çerçevenin bağımsız şekilde çözülmesi uygun değildir. Şekil 3.11’de aynı yükü taşıyan konsol bir perde ve çerçeve gösterilmiştir. Perdenin şekil değiştirmesinde eğilme momenti etkili olmakta ve yükün etkidiği seviyenin üstünde sahip bir eğim ortaya çıkmaktadır. Bu şekil değiştirmenin özelliğinden dolayı başlangıçta yatay olan her katta bir dönme olmaktadır. Çerçeve ise yatay ötelenmeler alt katlarda meydana gelmekte ve yükün üzerindeki katlar ise yukarı doğru düşey doğrultuya gelmektedir. Yer değiştirmenin bu şekilde farklı olması nedeniyle, üst katlarda perdenin yatay yer değiştirmesi çerçeve tarafından engellenir. Bu nedenle alt katlarda iki sistem yatay yükün taşınmasında birbirlerine yardım ederken, üst katlarda perdeye etkileyen yük işaret değiştirir (Celep, 2009).

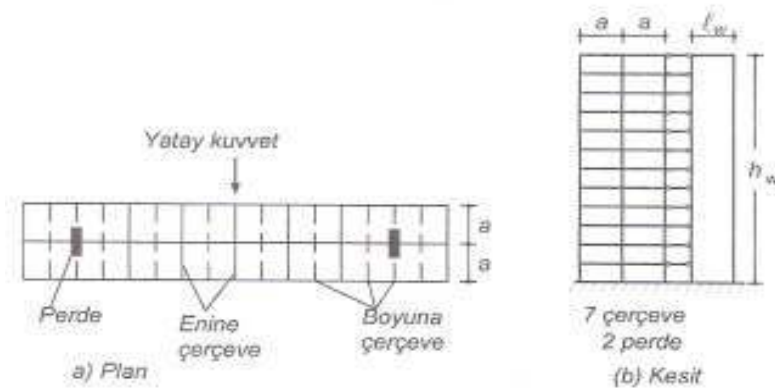


Şekil 3.11 Perde ve çerçevenin karşılıklı etkileşimi (Celep, 2009)

Faydalı özelliklerine ve sık uygulanmasına rağmen, karma sistemlerin sismik zorlamalar etkisinde hesap esasları hakkındaki çalışmalar yeterli değildir. Uygulanan hesap yöntemi, sistemin etkili elemanlarına bağlıdır ve bu nedenle karma bir taşıyıcı sisteme sahip yapı, sadece sünek çerçeveler veya perdelerle teşkil edilen taşıyıcı

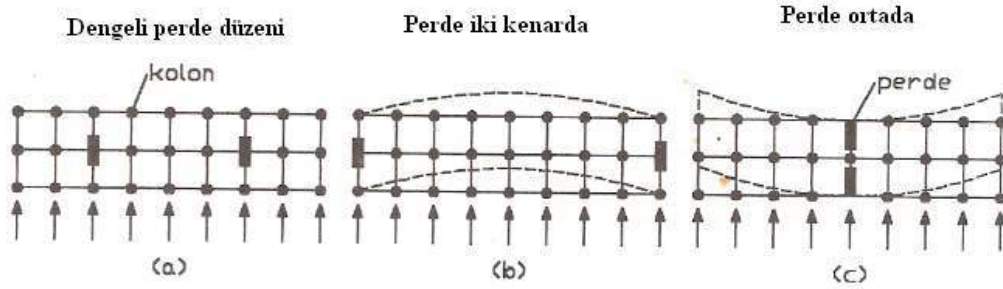
sistemler için verilen katsayılarından bağımsız değildir. Hesapların mümkün suretle basit olmasına dikkat edilirken sadece sünek çerçevesi bir sistemden, karma bir sisteme veya sadece perdeli bir sisteme geçişte sünekliğin sağlanmasına da dikkat edilmelidir (Öztürk, 2005).

Şekil 3.12a'da simetrik bir yapının planı gösterilmiştir. Her kat döşemesi, düzlemi içinde rijit davrandığı kabulü ile simetriden faydalanılarak, çerçeveler ve perdeler ayrı ayrı birleştirilerek Şekil 3.12b'de oluşturulan sistem elde edilir. Eğer uzun ve ince döşemeli sistemlerde yatay kuvvetin önemli bir kısmı perdeler tarafından taşınıyorsa, döşemelerin düzlemleri içerisindeki yer değiştirmelerinin de hesaba katılması gerekebilir (Celep, 2009).



Şekil 3.12 Perde ve çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistem (Celep, 2009)

Şekil 3.13a'daki sistemde döşeme yatay yer değiştirmesinin yük dağılımına olan etkisi ihmal edilebilecek düzeyde kabul edilebilir. Şekil 3.13b ve Şekil 3.13c'de yapılacak rijit döşeme kabulü çerçevenin taşıdığı yatay yükü düşük verirken, perdeninkini olduğundan fazla çıkaracaktır. Döşemenin esnekliğine veya rijitliğine karar vermek için, rijit döşeme kabulüyle elde edilen kesme kuvvetleri kullanılarak aynı kattaki kolon yatay yer değiştirmeleri hesap edilir. Daha sonra rijit kabul edilen döşemenin üzerine etki eden yükler altında yatay yer değiştirmeleri hesap edilerek kolonlar için bulunanlarla kıyaslanır. Eğer bunlar birbirinden önemli derecede fark etmiyorsa kabulün yeterli doğrulukta olduğu anlaşılır. Toplam yatay yer değiştirmenin büyük olduğu durumlarda daha büyük farklılara da müsaade edilebilir (Celep, 2009).



Şekil 3.13 Döşeme plağının esnekliğinin yatay yükün paylaşılmasındaki etkisi (Celep, 2009)

3.7 Betonarme Perdelerle İlgili Sonuçlar ve Öneriler

- ✓ Depreme dayanıklı betonarme yapıların perde duvarlı yapılması gerekmektedir. Alçak yapılarda perde duvarlar kesmeden, yüksek yapılarda ise perde duvarlar eğilmeden kırılmaktadır. Bu nedenle alçak yapılarda kesme dayanımı yeterli, yüksek yapılarda eğilme dayanımı yeterli perde boyut ve donatıları seçilmelidir.
- ✓ Perde duvarların etkili olabilmesi için oldukça büyük oranlarda olması gerekir. Bu oran 7-20 kat arası yapılarda kat alanı $\times 0.002 \times$ kat sayısı olarak önerilmektedir. Çok katlı yapılarda perdelerin gerçekten etkin olması için bu oranların biraz daha büyük miktarlarda olması (0.0025-0.003 gibi) gerekir.
- ✓ Perdelerin düzlem dışına devrilme tehlikesinin önlenmesi için “uç elemanlı” ya da uçlarına dik yönde saplanan “kanat elemanlı” I, H, L, T ve J gibi biçimlerde olması gerekir.
- ✓ Perde duvarların yapı yüksekliği boyunca sürekli olması gerekir. Perde duvarın kesildiği katta büyük yanal ötelenmeler başlamakta ve depremlerde bu katta büyük hasar hatta yıkım olmaktadır.
- ✓ Perde duvar yapımı sırasında perdenin alt ucundaki betonun kat betonu ile çok iyi kaynaşması, kalıpların kaynaşmayı önleyecek tahta parçası, talaş gibi maddelerden arındırılmış olması çok önemlidir.
- ✓ Perde alt ucu “mafsallı” bir mesnet niteliğinde olmamalıdır. Perde duvarlar her katta yapının diğer bölümlerine kat kirişleri ile bağlı olmalı ve depremde katlarda yığılan atalet kuvvetleri perdeye aktarılmalıdır (Bayülke, 2004).

3.8 Betonarme Perdelerle İlgili DBYBH 2007 Yönetmeliğinde Geçen Şartlar

3.8.1 Süneklik düzeyi yüksek perdeler (TDY2007-Bölüm 3.6)

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmelikte süneklik düzeyi yüksek perdelerle ilgili geçen koşullar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

‘‘3.6.1 Enkesit koşulları

3.6.1.1 – *Perdeler, planda uzun kenarının kalınlığına oranı en az yedi olan düşey taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Madde 3.6.1.2 ve Madde 3.6.1.3'te belirtilen özel durumlar dışında, gövde bölgesindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin 1/20'sinden ve 200 mm'den az olmayacaktır. Bu perdelerde, uç bölgesindeki perde kalınlığı sınırları Madde 3.6.2.1'de verilmiştir.*

3.6.1.2 – *Taşıyıcı sistemi sadece perdelerden oluşan binalarda, Denk.(3.14) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlanması durumunda perde kalınlığı, binadaki en yüksek katın yüksekliğinin 1/20'sinden ve 150 mm'den az olmayacaktır.*

$$\Sigma A_g / \Sigma A_p \geq 0,002 \quad (3.14)$$

$$V_t / \Sigma A_g \leq 0,5 \cdot f_{ctd}$$

Denk.(3.14), bodrum katlarının çevresinde çok rijit betonarme perdelerin bulunduğu binalarda zemin kat düzeyinde, diğer binalarda ise temel üst kotu düzeyinde uygulanacaktır.

3.6.1.3 – *Kat yüksekliği 6 m'den daha büyük olan ve kat yüksekliğinin en az 1/5'ine eşit uzunluktaki elemanlarla yanal doğrultuda tutulan perdelerde, gövde bölgesindeki perde kalınlığı, yanal doğrultuda tutulduğu noktalar arasındaki yatay uzunluğun en az 1/20'sine eşit olabilir. Ancak bu kalınlık 300 mm'den az olamaz.*

3.6.2 Perde uç bölgeleri ve kritik perde yüksekliği

3.6.2.1 – $H_w / l_w > 2.0$ olan perdelerin planda her iki ucunda perde uç bölgeleri oluşturulacaktır (Şekil 3.11). Madde 3.6.1.2’de tanımlanan binalar dışında, perde uç bölgelerindeki perde kalınlığı kat yüksekliğinin $1/15$ ’inden ve 200 mm’den az olmayacaktır. Perde uç bölgelerinin, kat yüksekliğinin en az $1/5$ ’ine eşit uzunluktaki elemanlarla yanal doğrultuda tutulduğu durumlarda, uç bölgesindeki perde kalınlığı, yanal doğrultuda tutulan noktalar arasındaki yatay uzunluğun en az $1/20$ ’sine eşit olabilir. Ancak, bu kalınlık kat yüksekliğinin $1/20$ ’sinden veya 300 mm’den az olamaz. Perde uç bölgeleri, perde uç bölgesinin kendi kalınlığı içinde oluşturulabileceği gibi, perdeye birleşen diğer bir perdenin içinde de düzenlenebilir.

3.6.2.2 – Temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20 den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren kritik perde yüksekliği, $2l_w$ değerini aşmamak üzere, Denk.(3.15)’de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlayacak biçimde belirlenecektir.

$$H_{cr} \geq l_w \quad (3.15)$$

$$H_{cr} \geq H_w / 6$$

Burada H_w , temel üstünden veya perdenin plandaki uzunluğunun %20’den daha fazla küçüldüğü seviyeden itibaren ölçülen perde yüksekliğidir. Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, H_w ve H_{cr} büyüklükleri zemin kat döşemesinden itibaren yukarıya doğru göz önüne alınacaktır. Bu tür binalarda kritik perde yüksekliği, en az zemin katın altındaki ilk bodrum katının yüksekliği boyunca aşağıya doğru ayrıca uzatılacaktır.

3.6.2.3 – Dikdörtgen kesitli perdelerde, yukarıda tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %20’sinden ve perde

kalınlığının iki katından daha az olmayacaktır. Kritik perde yüksekliğinin üstünde kalan perde kesimi boyunca ise, perde uç bölgelerinin her birinin plandaki uzunluğu, perdenin plandaki toplam uzunluğunun %10'undan ve perde kalınlığından az olmayacaktır (Şekil 3.11).

3.6.2.4 – Perde uç bölgelerinin, perdeye birleşen diğer bir perdenin veya perdenin ucunda genişletilmiş bir kesitin içinde düzenlenmesi durumunda; her bir perde uç bölgesinin en kesit alanı, en az dikdörtgen kesitli perdeler için Madde 3.6.2.3'te tanımlanan alana eşit olacaktır.

3.6.3 Gövde donatısı koşulları

3.6.3.1 – Perdenin her iki yüzündeki gövde donatılarının toplam enkesit alanı, düşey ve yatay donatıların her biri için, perde uç bölgelerinin arasında kalan perde gövdesi brüt enkesit alanının 0.0025'inden az olmayacaktır.

$H_w / l_w \leq 2.0$ olması durumunda perde gövdesi, perdenin tüm kesiti olarak gözönüne alınacaktır. Perde gövdesinde boyuna ve enine donatı aralığı 250 mm'den fazla olmayacaktır (Şekil 3.11).

3.6.3.2–3.6.1.2'de Denk.(3.14) ile verilen koşulların her ikisinin de sağlandığı binalarda, düşey ve yatay toplam gövde donatısı oranlarının her biri 0.0015'e indirilebilir. Ancak bu durumda donatı aralığı 300 mm'yi geçmeyecektir.

3.6.3.3 – Uç bölgeleri dışında, perde gövdelerinin her iki yüzündeki donatı ağırları, beher metrekare perde yüzünde en az 4 adet özel deprem çirozu ile karşılıklı olarak bağlanacaktır. Ancak Madde 3.6.2.2'de tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca, uç bölgeleri dışındaki beher metrekare perde yüzünde en az 10 adet özel deprem

çirozu kullanılacaktır. Çirozların çapı, en az yatay donatının çapı kadar olacaktır.

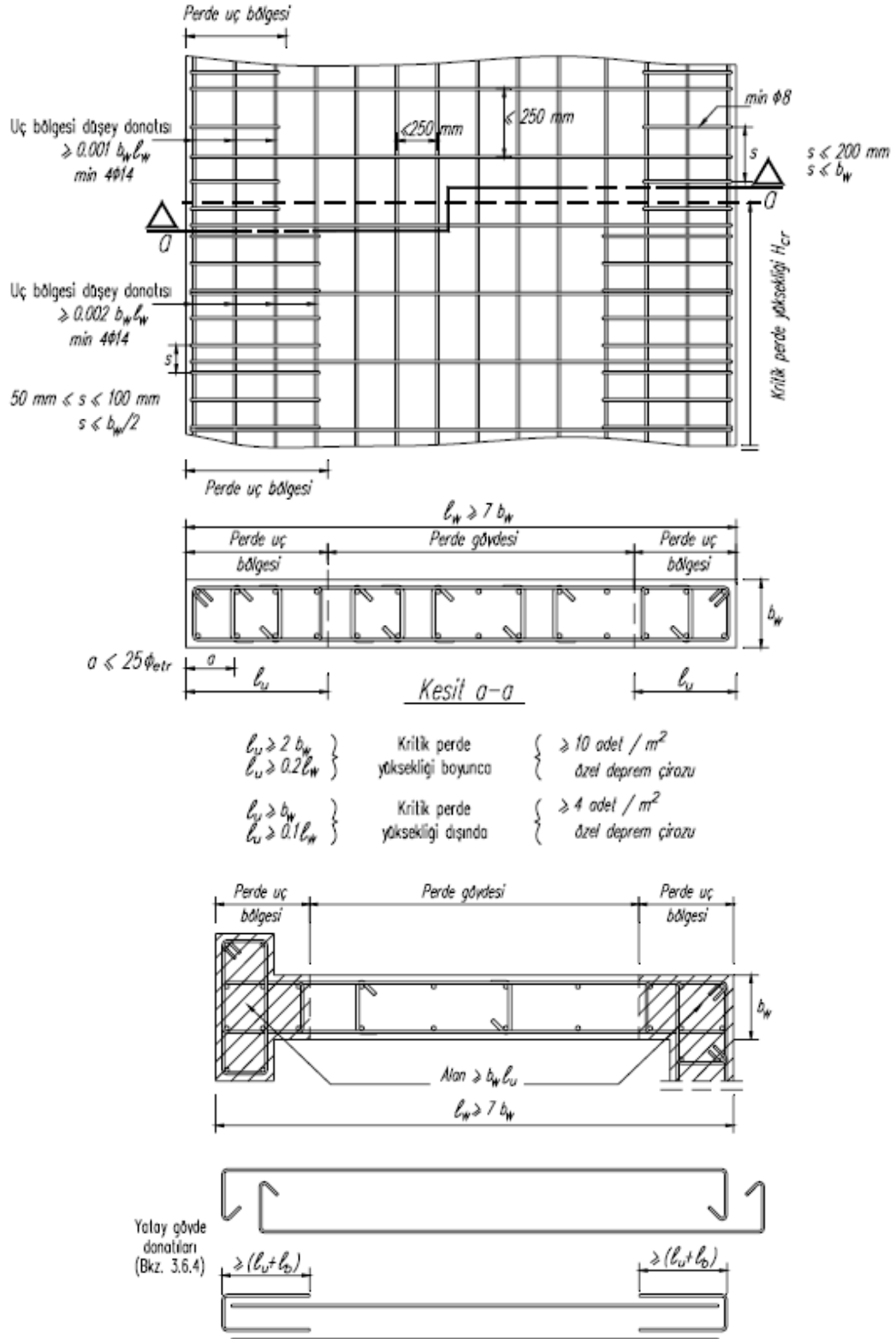
3.6.4 Gövde donatılarının düzenlenmesi

Perdelerin yatay gövde donatıları, Madde 3.6.4.1'de veya Madde 3.6.4.2'de belirtildiği şekilde düzenlenebilir (Şekil 3.11). Bu şekilde düzenlenen yatay gövde donatıları, kritik perde yüksekliği boyunca 3.6.5.2'ye göre perde uç bölgelerine konulacak sargı donatısının belirlenmesinde hesaba katılabilir.

3.6.4.1 – Yatay gövde donatıları etriyelerle sarılı perde uç bölgesinin sonunda 90 derece kıvrılarak karşı yüzde köşedeki düşey donatıya 135 derecelik kanca ile bağlanacaktır.

3.6.4.2 – Yatay gövde donatılarının perde ucunda 90 derece kıvrım yapılmaksızın bitirilmesi durumunda, perdenin her iki ucuna gövde donatısı ile aynı çapta olan \supset biçiminde yatay donatılar yerleştirilecektir. Bu donatılar, perde uç bölgesinin iç sınırından itibaren perde gövdesine doğru en az kenetlenme boyu kadar uzatılacaklardır. Ancak, gövde donatısının kenetlenme boyunun perde uç bölgesi uzunluğundan daha küçük veya eşit olması durumunda \supset biçimindeki donatılar konmayabilir. Bu durumda perde uç bölgelerindeki enine donatının birim boydaki toplam alanı, perde gövdesindeki yatay donatının birim boydaki toplam alanından az olmayacaktır.

3.6.5 Perde uç bölgelerinde donatı koşulları



Şekil 3.14 Perdelerde donatı düzeni (TDY 2007-Şekil 3.11)

3.6.5.1 – Perde uç bölgelerinin her birinde, düşey donatı toplam alanının perde brüt en kesit alanına oranı 0.001'den az olmayacaktır. Ancak, Madde 3.6.2.2'de tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca bu oran 0.002'ye çıkarılacaktır. Perde uç bölgelerinin her birinde düşey donatı miktarı $4\Phi 14$ 'ten az olmayacaktır (Şekil 3.11).

3.6.5.2 – Perde uç bölgelerindeki düşey donatılar, aşağıdaki kurallara uyularak, kolonlarda olduğu gibi etriyeler ve/veya çirozlardan oluşan enine donatılarla sarılacaktır.

(a) Uç bölgelerinde kullanılacak enine donatının çapı 8 mm'den az olmayacaktır. Etriye kollarının ve/veya çirozların arasındaki yatay uzaklık, a , etriye ve çiroz çapının 25 katından fazla olmayacaktır.

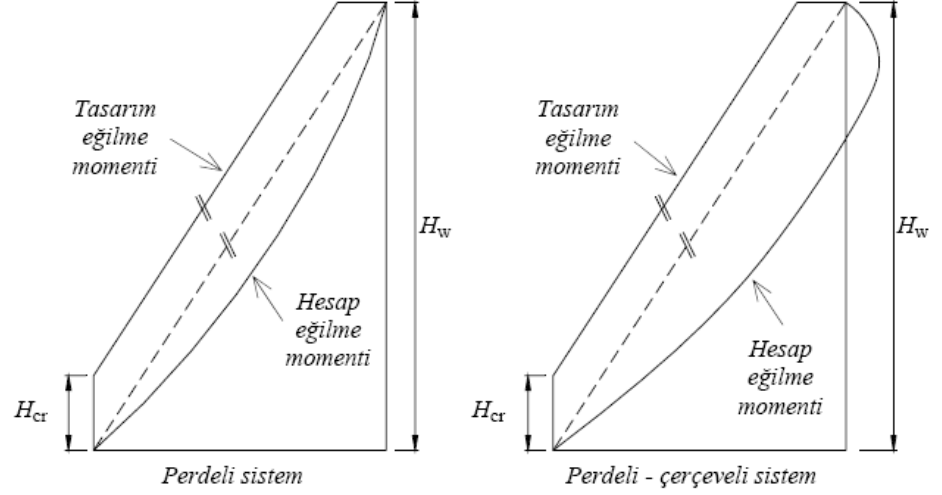
(b) 3.6.2.2'de tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca perde uç bölgelerine, kolonların sarılma bölgeleri için 3.3.4.1'de Denk.(3.1)'in ikinci koşulu ile belirlenen enine donatının en az $2/3$ 'ü konulacaktır. Düşey doğrultuda etriye ve/veya çiroz aralığı perde kalınlığının yarısından ve 100 mm'den daha fazla, 50 mm'den daha az olmayacaktır (Şekil 3.11). Bu donatılar, temelin içinde de en az perde kalınlığının iki katı kadar bir yükseklik boyunca devam ettirilecektir.

(c) Kritik perde yüksekliğinin dışında kalan perde uç bölgelerinde düşey doğrultudaki etriye ve/veya çiroz aralığı, perde duvar kalınlığından ve 200 mm'den daha fazla olmayacaktır (Şekil 3.11).

3.6.6. Tasarım Eğilme Momentleri ve Kesme Kuvvetleri

3.6.6.1 – $H_w / l_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerde tasarıma esas eğilme momentleri, 3.6.2.2'ye göre belirlenen kritik perde yüksekliği boyunca sabit bir değer olarak, perde tabanında Bölüm 2'ye göre hesaplanan eğilme momentine eşit alınacaktır. Kritik perde yüksekliğinin sona erdiği kesidin üstünde ise, Bölüm 2'ye göre perdenin tabanında ve tepesinde hesaplanan momentleri birleştiren doğruya paralel olan doğrusal moment diyagramı uygulanacaktır (Şekil 3.12). Çevresinde rijit perdeler bulunan bodrumlu binalarda sabit perde

momenti, 3.6.2.2'de tanımlanan kritik perde yüksekliği boyunca göz önüne alınacaktır. $H_w / l_w \leq 2.0$ olan perdelerin bütün kesitlerinde tasarım eğilme momentleri, Bölüm 2'ye göre hesaplanan eğilme momentlerine eşit alınacaktır.



Şekil 3.15 Moment diyagramı (TDY 2007- Şekil 3.12)

3.6.6.2 – $H_w / l_w > 2.0$ olması durumunda, her bir katta perde kesitlerinin taşıma gücü momentlerinin, perdenin güçlü doğrultusunda kolonlar için Denk.(3.3) ile verilen koşulu sağlaması zorunludur. Aksi durumda perde boyutları ve/veya donatıları artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

3.6.6.3 – $H_w / l_w > 2.0$ koşulunu sağlayan perdelerde, gözönüne alınan herhangi bir kesitte enine donatı hesabında esas alınacak tasarım kesme kuvveti, V_e , Denk. (3.16) ile hesaplanacaktır.

$$V_e = \beta_v \frac{(M_p)t}{(M_d)t} V_d \quad (3.16)$$

Bu bağıntıda yer alan kesme kuvveti dinamik büyütme katsayısı $\beta_v = 1.5$ alınacaktır. Daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda, perde tabanındaki pekleşmeli moment kapasitesi olarak $(M_p)t \cong 1.4 (M_r)t$

alınabilir. $H_w / l_w \leq 2.0$ olan perdelerin bütün kesitlerinde tasarım kesme kuvvetleri, Bölüm 2'ye göre hesaplanan kesme kuvvetlerine eşit alınacaktır.

3.6.7. Perdelerin Kesme Güvenliği

3.6.7.1 – Perde kesitlerinin kesme dayanımı, V_r , Denk.(3.17) ile hesaplanacaktır.

$$V_r = A_{ch} (0.65f_{ctd} + \rho_{sh} \cdot f_{ywd}) \quad (3.17)$$

3.6.6.3'te tanımlanan V_e tasarım kesme kuvveti aşağıdaki koşulları sağlayacaktır:

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0,22 \cdot A_{ch} \cdot f_{cd} \quad (3.18)$$

Aksi durumda, perde enine donatısı ve/veya perde kesit boyutları bu koşullar sağlanmak üzere arttırılacaktır.

3.6.7.2 – Temele bağlantı düzeyinde ve üst katlarda yapılacak yatay inşaat derzlerindeki düşey donatı, o kesitte aktarılan kesme kuvveti göz önüne alınarak, TS-500'de tanımlanan kesme sürtünmesi yöntemi ile kontrol edilecektir.''

BÖLÜM 4

DEPREME KARŞI DAYANIKLI ÇELİK YAPI TASARIMI

4.1 Deprem ve Çelik Yapılar

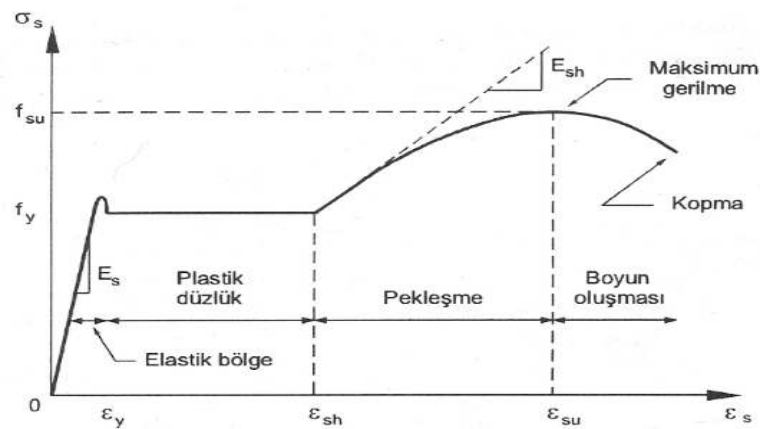
Deprem etkileri altında bir yapının enerji yutması isteniyorsa, yapı malzemesinin sünek davranışı gereklidir. Çeliğin, kopmadan büyük deformasyon yapabilme özelliği yani büyük bir şekil değiştirme sığası olması ve yüksek dayanımı, malzemeyi deprem bölgelerinde inşa edilecek olan yapılar için ideal bir malzeme durumuna getirmektedir. Çelik, öz ağırlığının toplam yük içindeki payının küçük olması nedeniyle, hafif yapı çözümleri sağlamaktadır. Yüksek dayanımı nedeniyle de daha ekonomik kesitler kullanılabilmekte ve temele aktarılan toplam yük azalmaktadır. Dolayısıyla deprem yükleri de azalmaktadır.

Çelik sıkı ve sürekli denetimle üretilmekte olup, yapı elemanları ve birleşimler kontrole açıktır ve herhangi bir aksaklığı gizlemek zordur. Kolay onarım ve güçlendirme olanağının bulunması, hızlı ve hava koşullarından bağımsız inşaat yapılabilmesi, deprem için önemli bir kolaylık sağlamaktadır (Kıymaz, 2003).

Çelik yapılar, genellikle düzgün aksellere yerleştirilmiş kolon ve kirişlerin oluşturduğu çerçeve yapılardır. Bu tür taşıyıcı sistemlerde yatay rijitliği büyük olan çelik çaprazların oluşturduğu bölümler ve betonarme perdeler bulunabilir. Çelik yapı elemanları, birbirlerine birleşim bölgesi elemanlarında kullanılan kaynak, perçin veya bulonlarla bağlanır. Düşey ve yatay yükler kiriş ve kolonlarda esas olarak eğilme ve kesme kuvveti oluştururlar. Taşıyıcı sistemin yatay rijitliği kiriş ve kolonların eğilme rijitliğiyle sağlanır. Genellikle kiriş-kolon birleşim bölgelerinin rijit olduğu kabul edilir. Gerçekte ise, bu bölgelerde meydana gelen şekil değiştirmeler yer değiştirmelerde önemli artışlara sebep olur (Celep ve Kumbasar, 2004).

4.2 Malzeme Olarak Çelik

Çelik, malzeme olarak demir ve karbon karışımı olarak kabul edilebilir. Çelikte bulunan %0.15 - %0.20 oranındaki karbon miktarı dayanımını arttırırken, kopma uzamasını azaltır. Bu durum çelik üretiminde karbon oranının önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Çeliğin malzeme olarak davranışını bir çelik çubukta çekme deneyinde elde edilen $\sigma_s - \varepsilon_s$ gerilme-şekil değiştirme değişimi karakterize eder (Şekil 4.1). Davranış $\varepsilon_y - \varepsilon_{sh}$ arasında bir plastik düzlük görülür. Daha sonra pekleşme ile gerilme yükselir ve ε_{su} birim uzaması ile meydana gelen yerel kesit azalması ile deney çubuğu kopar. Çelik kalitesine bağlı olarak ε_{sh} değeri 5-10 ε_y arasında değişir. Bütün yapısal çelikler için elastik bölgede elastisite modülü $E_s = 200$ GPa olarak kabul edilir. Pekleşmenin başlangıcındaki teğetsel modül de yaklaşık olarak $E_{sh} \sim E_s / 30 = 6.7$ GPa olarak alınabilir. Çeliğin, çekme gerilmesi altındaki bu özelliğinin aynen basınç gerilmesi için de mevcut olduğu kabul edilir. Çeliğin malzeme olarak kopmadan şekil değiştirmeler yapabilmesi, sünekliğinin ve dayanımının büyük olması çelik yapılara deprem etkilerini karşılamakta önemli bir üstünlük sağlar. Uygulamada yaygın olarak iki yapı çelik türü kullanılır St37 (Fe37) ve St52 (Fe52). Bunların çekme dayanımları sıra ile 37 MPa ve 52 MPa ve akma dayanımları 24 MPa ve 36 MPa civarında bulunur (Celep ve Kumbasar, 2004).



Şekil 4.1 Yapı çeliğinde çekme(basınç)gerilmesi-birim uzama(kısalma)ilişkisi(Celep ve Kumbasar, 2004)

4.3 Deprem Tasarımı İçin Çeliğin Sahip Olması Gereken Özellikler

- Akma gerilmesi / Kopma gerilmesi oranı 0.85' ten büyük olmamalıdır.
- Yeterli inelastik yer değiştirme kapasitesine sahip olmalıdır. (Mesela çekme testinde 5 cm ölçme aralığı için %20 lik bir kopma uzaması olmalıdır.)
- Kaynağa uygun olmalıdır. (Ana malzeme ve kaynak malzemesi birlikte uygun mekanik özelliklere sahip olacak şekilde seçilmelidir.) (Kıymaz, 2003)

4.4 Taşıyıcı Sistem Elemanları

Çelik taşıyıcı sistemler çeşitli geometride ortaya çıkar. Bunların basit olanları, kolon, kiriş, çapraz ve döşeme elemanları şeklinde isimlendirilebilir. Çelik kolonlar genellikle betonarme temellerle yüklerini zemine iletirler. Çeliğin yüksek gerilmeleri karşılayabilmesi sebebiyle, taşıyıcı sistem elemanlarında burkulma veya ikinci mertebe etkiler sonucu stabilite kaybının önlenmesi özen gösterilmesi gereken bir husustur. Bu sebepten basınç etkisi altında kolonların burkulma sonucu ve eğilme etkisindeki kirişlerin yanal burkulma sonucu stabilite kayıplarının önlenmesi, çelik elemanların boyutlandırılmasında, gerilme ve yer değiştirmeyi sınırlayan mukavemet ilkeleri kadar önemlidir (Celep ve Kumbasar, 2004).

4.5 Ek ve Birleşim Bölgeleri

Ek ve birleşim bölgelerinin denetime açık olması yanında, kolay onarım ve güçlendirme imkanının bulunması çelik yapıların diğer üstün özelliklerinden biridir. Betonarme yapılara kıyasla, çelik yapılarda ek ve birleşim bölgeleri özellik arz eder ve özenle ele alınması gerekir. Bir çelik elemanın sahip olduğu dayanım ve sünekliğin ortaya çıkması için bu bölgelerde etkilerin karşılanması ve iletilmesi gerekir. Genellikle iki eleman arasında, ek elemanları veya levhaları yanında perçin, bulon ve kaynak gibi, birleşim elemanları kullanılır. Birleşim bölgesinin boyutlandırılmasında, bu bölgenin dayanımının en az eklenen elemanlar düzeyinde olması esas alınır.

Çekme ve basınç kuvveti taşıyan elemanlarda ek elemanı, çubuğun kesitine bağlı olarak seçilir. Basınç çubuklarında ek olarak bulunan burkulma tehlikesi sebebiyle, ortaya çıkan eleman boyutları ek gerektirmeyebilir. Gerçekte de burkulma sebebiyle basınç çubuklarında mümkün olduğu kadar ek yapılmaması önerilir.

Çok sayıda çekme ve basınç çubuklarının bir araya gelmesiyle, kafes kirişler oluşturulur. Kafes sistem çubuklarının bir noktada kesişmesi ile düğüm noktaları ortaya çıkar. Eksenel kesişme sebebiyle, çubuklarda sadece eksenel kuvvetlerin bulunduğu kabul edilir. Bağlantının birleşim elemanı ile yapılmasından oluşan ikincil etkiler ihmal edilir. Birleşim bölgesinin, çubuk kuvvetleri birbirlerini dengeleyecek şekilde, birleşim elemanları ve ek levhaları kullanılarak düzenlenmesi gerekir. Birleşim bölgelerinin özelliklerine bağlı olarak taşıyıcı sistemin elastik davranış kabulü ile çözümünde üç tür birleşim bölgesi söz konusu olur: Mafsallı olarak kabul edilen birinci tür birleşim bölgelerinde kesme kuvveti ve normal kuvvet iletilir. Bu bölgenin önemli bir ek etki oluşmadan, dönmesi beklenir. Bu durum, burkulma boyunu büyütmesi sebebiyle, özellikle kolonların dayanımlarını olumsuz olarak etkiler. Rijit kabul edilen ikinci tür birleşim bölgelerinde ise, bütün kesit etkileri iletilir. Birleşim bölgesinde meydana gelen şekil değiştirmelerin taşıyıcı sistemdeki kuvvet dağılımını ve sistemde oluşan şekil değiştirmeleri önemli derecede etkilenmemesi gerekir. Üçüncü olarak tanımlanan yarı-rijit birleşim bölgelerinde ise, oluşan eğilme momenti ile dönme arasında önceden kabul edilen bir etkileşimin olduğu varsayılır.

İlk iki birleşim şekli uzun zamandır yaygın biçimde kullanılmaktadır. Eğer bir taşıyıcı sistemde yanal rijitlik uygun çaprazlama ile sağlanmışsa, mafsallı birleşim türü yaygın olarak kullanılır. Rijit birleşim bölgeleri kullanılarak çerçevelerde önemli bir yatay rijitlik oluşturmak mümkündür. Ancak bu birleşim bölgeleri relatif olarak pahalı detayları gerektirir. Üçüncü birleşim türü, bu ikisi arasındaki geçişi oluşturur (Celep ve Kumbasar, 2004).

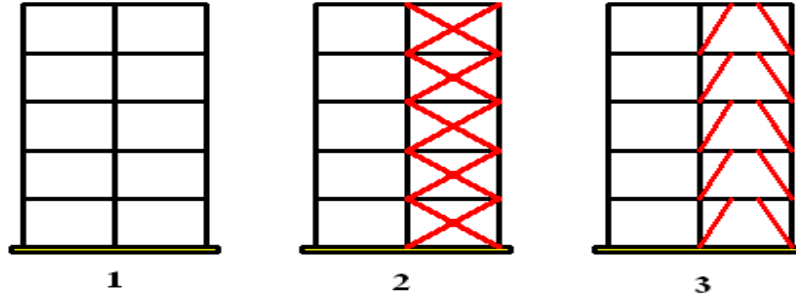
4.6 Çelik Çerçeveler

Çeliğin deprem yükleri açısından en önemli iki özelliği sünekliği ve tekrarlı inelastik yükleme altında enerji yutma kapasitesidir. Bu özellikler taşıyıcı sistemler için de geçerlidir. Deprem yönetmeliğinde tanımlanan “deprem yükü azaltma katsayısı” $R_a(T_1)$, taşıyıcı sistemin deprem yükleri altında ne kadar enerji yutacağı ile ilgili bir parametredir. Bu katsayı sistemin sünekliğinin artması ile artar ve dolayısıyla yapıya etkiyen eşdeğer deprem yükü (V_t) azalır (Denk. 4.1).

$$V_t = W \cdot A(T_1) / R_a(T_1) \quad (4.1)$$

Bina tipi çelik yapılarda deprem yükleri üç yaygın alternatif taşıyıcı sistem ile taşınır (Şekil 4.2);

1. Moment aktaran rijit çerçeve sistemler
2. Merkezi çaprazlı taşıyıcı sistemler
3. Dışmerkez çaprazlı taşıyıcı sistemler (Kıymaz, 2003).



Şekil 4.2 Çelik taşıyıcı sistem çeşitleri

Çelik taşıyıcı sistemler deprem enerjisini sistem içerisinde harcama kapasitelerine göre;

1. Süneklik düzeyi yüksek sistemler
2. Süneklik düzeyi normal sistemler olarak iki sınıfta incelenirler.

Sistem sünekliğinin yüksek ya da normal olması eleman narinlikleri, kiriş dönme kapasiteleri, birleşim detayları vs. ile ilgili standartlarca belirtilen bazı kurallara göre değişmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 Deprem yükü azaltma katsayısı, R (Afet Yönetmeliği)

Taşıyıcı Sistem	Süneklik Düzeyi Normal	Süneklik Düzeyi Yüksek
Moment aktaran rijit çerçeve	5	8
Merkezi çaprazlı sistem	3	-----
Dış merkez çaprazlı sistem	-----	7

4.6.1 Moment aktaran rijit çerçeve sistemler

Deprem dayanımı moment aktaran çerçeve sistemler ile sağlandığında, yatay yükler öncelikle kolon-kiriş birleşimleri ile taşınır. Bu birleşim noktalarında oluşacak gerilmeler oldukça fazladır. Bu nedenle birleşim hesap ve detaylandırması hassasiyetle yapılmalıdır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Moment aktaran çerçeve sistemler (Kıymaz, 2003)

Moment aktaran çerçeve sistemler ile oluşturulan binalar, iç mahal ve cephelerinde herhangi bir perde ya da çapraz olmaması nedeniyle mimari avantajlar sağlamaktadır. Ancak kolon-kiriş birleşimlerinde oluşan detaylar nedeniyle bu sistem diğerlerine nazaran daha pahalı bir sistemdir (Kıymaz, 2003).

4.6.2 Çaprazlı sistemler

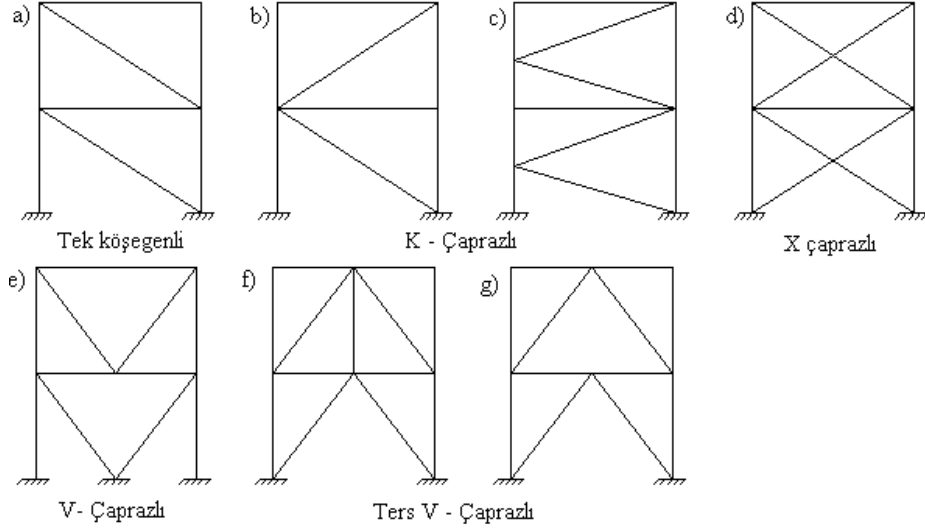
Çaprazlı taşıyıcı sistemlerde yatay yük diyagonal elemanlarda meydana gelen yüksek aksenal gerilmeler ile taşınır. Bu sistemler moment aktaran rijit çerçeve sistemlere göre iki önemli avantaja sahiptir. Bunlar malzeme tasarrufu ve kat ötelenmelerinin daha etkili bir şekilde kontrol altına alınabilmesidir (Kıymaz, 2003).

Çelik çerçeveli yapılarda yapı sisteminin esasını; çelik kolonlar, kirişler ve cephede yer alan diyagonal X çaprazlamalar oluşturmaktadır. Yapıda diyagoneller, kirişler ve kolonlar, birbirlerine mafsallı olarak bağlanmıştır. Yapının stabilite ve rijitliğinin artmasını sağlayan X çaprazlamalar, yapının dört cephesinde yer alarak çelik dış kolonlara bağlanmaktadır. X diyagonellerinin köşe kolonları ile kesiştiği yerde çelik kirişler bulunur ve böylece diyagonellerden oluşan yerçekimi yükleri yeniden kolonlara aktarılır. Çaprazlama binada düzenli olarak yapılabildiği gibi şaşırtmalı da yapılabilmektedir. (Eşsiz, 2005; Taranath, 1989).

Çaprazlı yapısal kafes davranışı, çerçevelerde oluşan kolon ve kirişlerin eğilmesini engeller. Çünkü elemanların çapraz kesit alanlarına bağlı olarak yatay ötelenmeleri oldukça azaltılmıştır. Çapraz sistemler dar veya geniş olabilir. Çaprazlamanın genişliği stabiliteye bağlıdır. Çapraz çeşit seçimi stabilite için önemlidir. Çaprazlama tipi seçimi sadece dayanım, stabilite ve ekonomik nedenlerden değil aynı zamanda boşluk durumuna da bağlıdır (Eşsiz, 2005; Nashed 1996; Arnold 1980).

4.6.2.1 Merkezi çaprazlı sistemler

Bu tür çerçeveler, yaygın olarak az ve orta yükseklikteki binalarda yatay yüklere karşı gereken rijitlik ve dayanımı sağlamak için kullanılır (Şekil 4.4). Bu sistemle malzeme tasarrufu sağlanırken, çerçevede kat ötelemeleri etkin bir şekilde sınırlandırılabilir. Böyle bir sistemde çaprazlar ve bunların çerçeve ile birleşimi taşıyıcı sistemin önemli iki özelliğidir.



Şekil 4.4 Yaygın olarak kullanılan çaprazlı çerçeveler

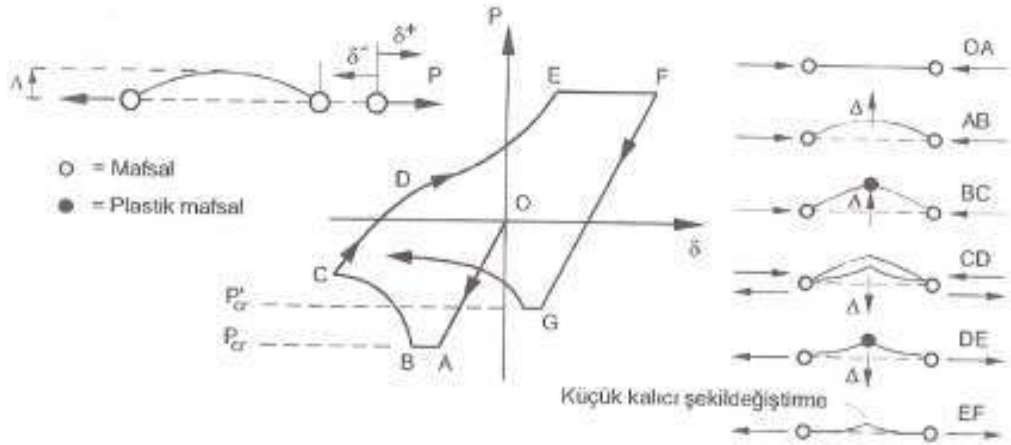
Bu çerçevelerin özel düzenlenmiş çaprazları yön değiştiren büyük yatay etkilerde basınç altında burkulup akmaya erişerek ve çekme altında akarak enerjinin tüketilmesini sağlar. Boyutlamada, kolon, kirişler ve birleşim bölgelerinde hasara müsaade edilmez ve düşey yükler için gerekli olan taşıma kapasitesinde bir azalma olmadan, çaprazlarda plastik şekil değiştirmelerin meydana gelmesi sağlanır. Ancak, geçmişte meydana gelen depremler bu isteğin çaprazlı çerçevenin ve birleşim bölgelerinin özenle düzenlenmemesi durumunda ortaya çıkmadığını göstermiştir.

Bazı durumlarda kontrolsüz elastik olmayan davranış sonucu bu tür çerçevelerde toptan göçmeye kadar varan hasarlar görülmüştür. Bu sakınca sebebiyle, Deprem Yönetmeliği'nde bu tür sistemler süneklik düzeyi normal sistemler olarak kabul edilmiştir (Celep ve Kumbasar, 2004).

Merkezi çaprazlı sistemler, çapraz elemanların merkez çizgileri ana çerçevenin birleşim noktaları ile düzenli bir konfigürasyon içerisinde birleşerek düşey taşıyıcı sistem içinde bir tür düşey kafes sistem oluşturan sistemlerdir. Yatay deprem ve rüzgar yükleri, bu düşey kafes sistem ile taşınır. Merkezi çapraz sistemlerinde diyagonal elemanlar olarak I-profil, boru, kare veya dikdörtgen kesitli profil, tek ya da çift köşebent, U-profil çeşitleri kullanmak mümkündür. Merkezi çaprazlı sistemler yüksek

elastik yatay rijitliğe sahip yatay-yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu sistemlerde ana iki unsur diyagonal elemanlar ve bu elemanların çerçeve elemanlarına olan birleşimleridir. Merkezi çapraz sistemin sünek davranış sergileyebilmesi için diyagonal çapraz elemanları tekrarlı inelastik yükleme süresince dayanım ve rijitliklerini önemli ölçüde kaybetmeden büyük deformasyon yapabilmelidir. Çapraz elemanının bu davranışında etkili üç önemli faktör şunlardır:

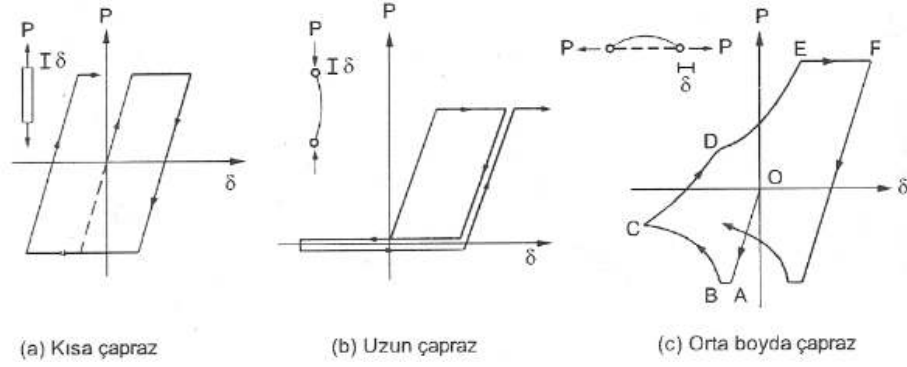
1. Çapraz eleman narinliği ($k.L/r$) (eleman burkulması kritik)
2. Mesnet koşulları (tekrarlı inelastik yüklemede birleşimler kritik)
3. Kesit (yerel burkulma kritik) (Kıymaz, 2003).



Şekil 4.5 Yön değiştiren yük altında bir çapraz elemanın davranışı

Merkezsiz çaprazlı çerçevelerde enerji tüketimini incelemek için tek bir çaprazın aksenal kuvvet altındaki davranışının incelenmesi yerinde olacaktır. Çapraza etkileyen yük P , boy kısılması δ ve orta noktasının eksene dik yer değiştirmesi Δ ile gösterildiğinde, çaprazın davranışı Şekil 4.5'teki durumlardan geçer. Çapraz yüksüz durumda O noktasında bulunur. Basınç etkisi altında elastik olarak kısılarak A noktasına erişir. Çaprazda burkulma meydana geldiğinde, aksenal kuvvette önemli değişiklik olmazken, kısıalma artar. Bu aşamaya kadar elastik olan davranışta, boşaltma yapılırsa, BAO çizgisi izlenerek yüksüz duruma gelinir. Burkulma durumunda orta kesitte normal kuvvet yanında en büyük eğilme momenti meydana gelir. Gerilmelerin artması orta kesitte plastik mafsal oluşmasına sebep olabilir. Bu durumda Δ orta kesit yer değiştirmesinin büyümesi ile, bu kesitte plastik dönmeler artarken, aksenal yükte

düşme oluşur ve böylece C noktasına erişilir. Bu noktadan itibaren yükte boşaltma yapılırsa, çaprazda plastik aksenal şekil değiştirme ve yanal yer değiştirme kalır. Basınç kuvveti boşaldıktan sonra, çaprazda çekme kuvveti uygulanırsa, elastik şekil değiştirmeler ve orta kesitteki plastik mafsal dönmesi geriye çevrilerek azalır. Çekme kuvvetinin artmasıyla, çaprazda aksenal plastik şekil değiştirmeler meydana gelir. Bu durum şekilde E-F doğrusuna karşı gelir. Devam ederek tekrar boşaltmanın yapılması ve basınç kuvvetinin yüklenmesi durumunda ise, F-G yolu izlenir. Yükleme ve boşaltmaların sonucunda, çaprazda oluşan kalıcı şekil değiştirmelerden dolayı burkulma yükü küçülür. Ancak, çevrimin sürekli devam etmesi durumunda küçülme hızla durur ve burkulma yükü, çaprazın narinliğine bağlı olan sabit bir değerde karar kılar. Çaprazın narinliğine bağlı olarak davranışı Şekil 4.6'da verilmiştir.



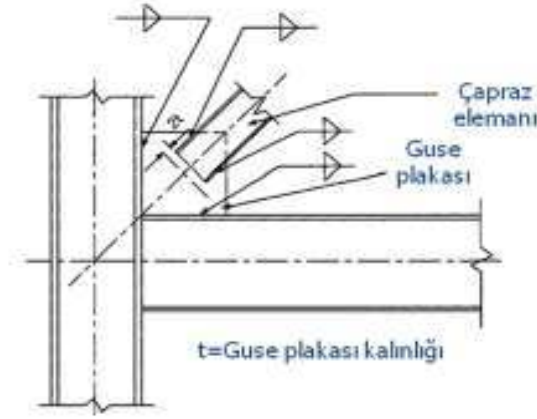
Şekil 4.6 Yön değiştiren yük altında değişik boydaki çapraz elemanların davranışı

Burada görüldüğü gibi, yukarıda açıklanan davranış orta narinlikte olan çapraz elemanlarda ortaya çıkar. Çapraz eleman çok kısa ise, basınçta burkulma ortaya çıkmadan basınçta ve çekmede akma meydana gelerek, klasik elasto-plastik davranış ortaya çıkar. Eğer çaprazın narinliği büyük ise, çekmede akmadan dolayı bir enerji tüketimi ortaya çıkarken, basınçta burkulmanın elastik olması sonucu enerji tüketimi meydana gelmez. Ayrıca, bu durumda yatay etkilerin artmasıyla yatay yer değiştirmeler sürekli artacağı için, taşıyıcı sistemi güç tükenmesine götüren ikinci mertebe etkiler oluşabilir. Bu yüzden çok narin ve yalnız basınç taşıyan bu tür çaprazların deprem etkilerinde kullanılmasına izin verilmez. Bu amaçla çapraz elemanların narinliğine, değişik yönetmeliklerde sınırlama getirilmiştir.

$$\lambda = \frac{kl}{r} \leq 4 \approx 6\sqrt{E_s / \sigma_y} \quad (4.2)$$

Denk.4.2’de katsayının 4 ile 6 arasında değişmesi farklı yönetmelik kayıtlarından ileri gelmektedir. Bağıntıda σ_y çeliğin akma gerilmesine, kl burkulma boyuna ve r kesit atalet yarıçapına karşı gelmektedir (Celep ve Kumbasar, 2004).

Guse plakasının düzlemi dışına yeterli süneklik sağlayacak şekilde deformasyon yapması için çapraz elemanı guse levhasının bağlandığı kiriş ya da kolon kenarına minimum 2.t kadar yaklaştırılmalıdır (şekil 4.7) (Kıymaz, 2003).



şekil 4.7 Guse plakası birleşim detayı (Kıymaz, 2003)

Şekil 4.8'de V şeklindeki merkezi çapraz sistemlerinin bağlantı detayları gösterilmektedir.



Şekil 4.8 V şeklindeki çelik çaprazlı sistem (Kıymaz, 2003)

Şekil 4.9'da X şeklindeki merkezi çapraz sistemlerinin bağlantı detayları gösterilmektedir.



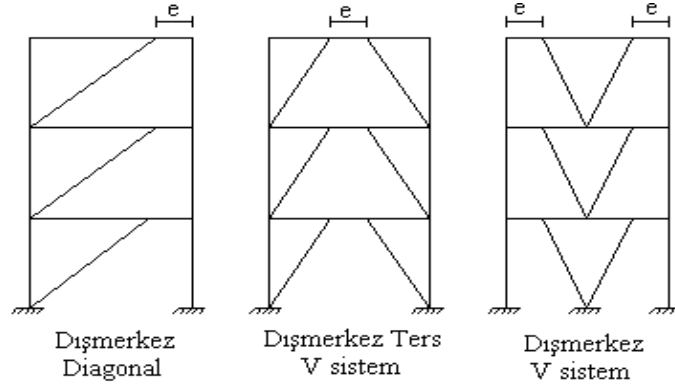
Şekil 4.9 X merkezi çaprazlı sistem

4.6.2.2 Dış merkez çaprazlı sistemler

Dış merkez çaprazlı sistemleri merkezi çaprazlı sistemlerden ayıran en önemli fark, çapraz elemanının en az bir ucunun kirişte “link” elemanı olarak anılan bir parçayı oluşturacak şekilde bağlı olmasıdır.

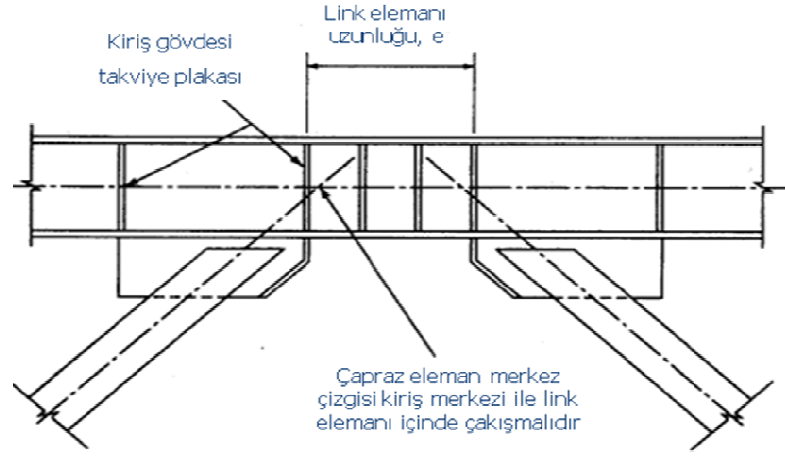
İnelastik davranış bu bağlantı elemanı üzerinde sınırlandırılır. Bu özelliği sebebiyle bu eleman bir tür “sünek sismik sigorta”dır.

Dışmerkez çaprazlı sistemler mükemmel bir süneklik ve enerji yutma kapasitesine sahiptirler ($R_a(T_1)=8$ alınabilir). Aynı zamanda merkezi çaprazlı sistemlere has yatay rijitliğe çok yakın yatay rijitlik sergilerler. Şekilde yaygın olarak kullanılan dışmerkez çapraz sistem çeşitleri verilmiştir. Bunlar arasında Ters V formu kolonlarda yüksek momentlere neden olmayacak bir forma sahip olduğu için en çok tercih edilendir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 Dış merkez çaprazlı sistemler

Şekil 4.11’de dış merkez çelik çapraz sistemlerin bağlantı detayları görülmektedir.



a)



b)

Şekil 4.11 Çapraz bağlantı detayı; a)Tipik dış merkez çapraz bağlantı detayı, b)Dış merkez ters V çaprazın birleşim detayları (Kıymaz, 2003)

4.6.3 Çelik Çaprazlı Perdelerle İlgili DBYBH 2007 Yönetmeliğinde Geçen Şartlar (Bölüm 4.5)

Çelik çaprazlı perdelerle ilgili TDY 2007 yönetmeliğinde geçen şartlar aşağıda verilmiştir.

4.5 Merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı perdeler

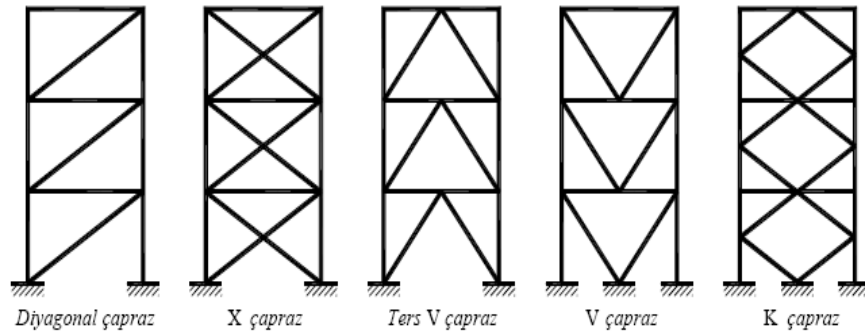
Çelik çaprazlı perdeler, mafsalı birleşimli veya moment aktaran çerçeveler ile bunlara merkezi ve dışmerkez olarak bağlanan çaprazlardan oluşan yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, eğilme dayanımlarının yanında, daha çok veya tümüyle elemanların aksenal kuvvet dayanımları ile sağlanmaktadır.

Çelik çaprazlı perdeler, çaprazların düzenine bağlı olarak ikiye ayrılırlar:

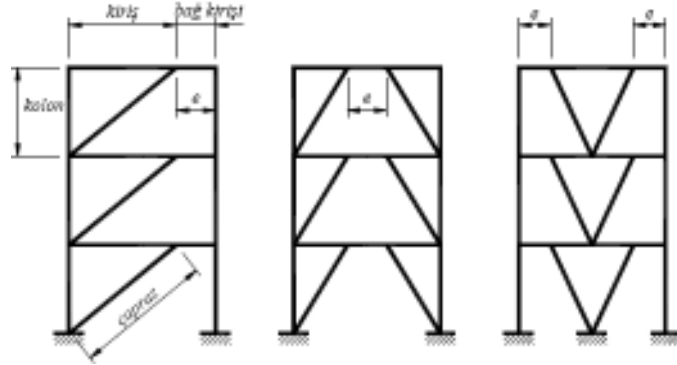
(a) Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 4.4)

(b) Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 4.5)

Çaprazların çerçeve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlandığı Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi normal sistem olarak boyutlandırılabilirler. Buna karşılık, çaprazların çerçeve düğüm noktalarına dışmerkez olarak bağlandığı Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler süneklik düzeyi yüksek sistem olarak boyutlandırılacaklardır.



Şekil 4.12 Merkezi çelik çaprazlı perdeler (TDY 2007-Şekil 4.4)



Şekil 4.13 Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler (TDY 2007- Şekil 4.5)

4.6 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler, basınç elemanlarının bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılırlar. Bu sistemlerin boyutlandırılmasında uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir.

4.6.1 Enkesit Koşulları

4.6.1.1 – Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/kalınlık oranlarına ilişkin koşullar Çizelge 4.3'te verilmiştir.

4.6.1.2 – Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerinin tüm basınç elemanlarında narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $4\sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır.

4.6.1.3 – Çok parçalı çaprazlarda bağ levhalarının aralıkları, ardışık iki bağ levhası arasındaki tek elemanın narinlik oranı tüm çubuğun narinlik oranının 0.40 katını aşmayacak şekilde belirlenecektir. Çok parçalı çaprazın burkulmasının bağ levhasında kesme etkisi oluşturmadığının gösterilmesi halinde, bağ levhalarının aralıkları, iki bağ levhası arasındaki tek çubuğun narinlik oranı çok parçalı çubuğun etkin narinlik oranının 0.75 katını aşmayacak şekilde

belirlenebilir. Bağ levhalarının toplam kesme kuvveti kapasitesi, her bir çubuk elemanın aksel çekme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacak ve bağ levhaları eşit aralıklı olarak yerleştirilecektir. Bulonlu bağ levhalarının, çubuğun temiz açıklığının orta dörtte birine yerleştirilmesine izin verilmez.

4.6.2 Yatay Yüklerin Dağılımı

Binanın bir aksı üzerindeki düşey merkezi çapraz elemanlar, o aks doğrultusundaki depremde ve her bir deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en çok %70'i basınca çalışan çaprazlar tarafından karşılanacak şekilde düzenlenecektir.

4.6.3 Çaprazların Birleşimleri

4.6.3.1 – Çaprazların birleşim detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, birleşimin taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanını da sağlayacaktır:

(a) Çaprazın aksel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

(b) Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çapraza aktarılacak en büyük aksel kuvvet.

(c) Denk.(4.1a) ve Denk.(4.1b)'de verilen arttırılmış yükleme durumlarından meydana gelen çapraz aksel kuvveti.

4.6.3.2 – Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında, 4.2.5'te verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır.

4.6.3.3 – Çaprazları kolonlara ve/veya kirişlere bağlayan düğüm noktası levhaları aşağıdaki iki koşulu da sağlayacaklardır:

(a) Düğüm noktası levhasının düzlemi içindeki eğilme kapasitesi, düğüm noktasına birleşen çaprazın eğilme kapasitesinden daha az olmayacaktır.

(b) Düğüm noktası levhasının düzlem dışına burkulmasının önlenmesi amacıyla, çaprazın ucunun giriş veya kolon yüzüne uzaklığı

düğüm levhası kalınlığının iki katından daha fazla olmayacaktır. Buna uyulamadığı durumlarda, ilave berkitme levhaları kullanarak, düğüm levhasının düzlem dışına burkulması önlenecektir.

4.6.4 Özel Çapraz Düzenleri İçin Ek Koşullar

4.6.4.1 – *V veya ters V şeklindeki çapraz sistemlerinin sağlaması gereken ek koşullar aşağıda verilmiştir:*

(a) *Çaprazların bağlandığı kirişler sürekli olacaktır.*

(b) *Çaprazlar düşey yüklerin ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında boyutlandırılacaktır. Ancak çaprazların bağlandığı kirişler ve uç bağlantıları, çaprazların yok sayılması durumunda, kendi üzerindeki düşey yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılacaktır.*

(c) *Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kirişleri için 4.3.6'da verilen koşullar çaprazların bağlandığı kirişler için de aynen geçerlidir.*

4.6.4.2 – *Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerde K şeklindeki (çaprazların kolon orta noktasına bağlandığı) çapraz düzenine izin verilemez.*

4.6.5 Kolon Ekleri

4.6.5.1 – *Kolon ekleri kolon serbest yüksekliğinin ortadaki 1/3'lük bölgesinde yapılacaktır.*

4.6.5.2 – *Kolon eklerinin eğilme dayanımı eklenen elemanlardan küçüğünün eğilme kapasitesinin %50'sinden, kesme kuvveti dayanımı ise eklenen elemanlardan küçüğünün kesme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Ayrıca, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kolon eklerinin aksenal kuvvet taşıma güçleri Denk.(4.1a) ve Denk.(4.1b)'de verilen arttırılmış deprem yüklemelerinden oluşan basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın) yeterli olacaktır. Ek elemanlarının hesabında, 4.2.5'te verilen kaynak ve bulon gerilme kapasiteleri kullanılacaktır.''*

BÖLÜM 5

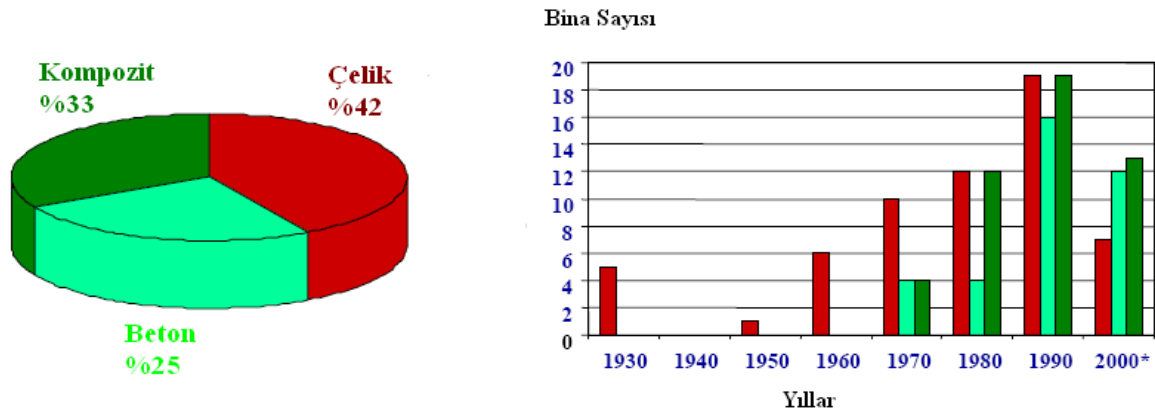
ÇOK KATLI YAPILARDA KULLANILAN MALZEME SİSTEMLERİ

5.1 Yapılarda Kullanılan Malzemelerin Gelişimi

Çok katlı yapılarda kullanılan malzemeler şu şekilde sıralanabilir;

- Yüksek performanslı beton
- Yüksek performanslı çelik
- Kompozit yapı.

Şekil 5.1’de en yüksek 200 yapıya ait malzeme sistemlerinin yıllara göre değişimi gösterilmektedir (Büyüköztürk and Güneş, 2004).



Şekil 5.1 En yüksek 200 yapıda kullanılan malzeme sistemlerinin yıllara göre değişimi (Büyüköztürk and Güneş, 2004)

Şekil 5.1’deki grafikler değerlendirildiğinde; 1930 ile 2000 yılları arasında inşa edilen en yüksek 200 yapıda, en çok tercih edilen malzemenin çelik olduğu görülmektedir. Beton ile çeliğin birlikte kullanıldığı kompozit binaların sayısında ise son yıllarda artış meydana gelmektedir. 1930 ile 1970 yılları arasında inşa edilen yüksek yapılarda betonarme taşıyıcı sistem tercih edilmezken; katkı malzemeleri kullanılarak yüksek mukavemetli beton imalatının yapılmasıyla beraber, 1970 yılı ve sonraki yıllarda yüksek katlı betonarme yapıların sayısında artış olduğu görülmektedir.

5.2 Betonarme, Çelik ve Kompozit Yapıların Özellikleri

Betonarme ve çelik yapıların birbirine göre farklı özellikleri ve dolayısıyla birbirlerine göre farklı üstünlükleri vardır. Betonarme yapının, çelik yapılara göre avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Betonarmenin basınç dayanımı pek çok yapı malzemesine kıyasla yüksektir.
- Betonarme yapılar yangın tehlikesine karşı büyük bir dayanıma sahiptir. Bu durum için betonarme, en iyi malzeme olarak kabul edilir. Buna karşılık çelik yapılar yangından önemli ölçüde zarar görürler.
- Betonarme yapılar, çelik yapılara göre daha rijit olduklarından kullanma durumunda rahatsız edici büyük yer değiştirmeler ortaya çıkmaz.
- Betonarme inşaatın bakımı, çelik inşaata göre yok denecek kadar azdır. Hava şartlarına, su ve neme olan dayanıklılığı çelik yapılara göre daha iyidir. Çelik yapıların korozyona karşı boyanması gerektiği için daha çok maliyetli olacağından, betonarmenin üstünlüğü ortaya çıkmış olur.
- Betonarme yapılar diğer yapılara kıyasla daha uzun kullanma ömrüne sahiptir. Normal şartlarda betonarme taşıma gücünden bir şey kaybetmeksizin, süresiz kullanılabilir. Betonunun dayanımı azalmaz, tam tersine artar.
- Betonarmenin en önemli özelliklerinden biri malzemenin, kiriş, döşeme, kolon gibi elemanların yanı sıra kemer ve kabuk gibi çok değişik şekillerde yapılabilmesidir. Şekil verme kolaylığından dolayı estetik ağırlıklı mimari isteklerin yerine getirilmesini sağlar.
- Betonarmede kum, çakıl ve su gibi malzemeler kullanıldığından oldukça ekonomiktir. Bu yüzden, betonarme yapı, çelik yapıya göre daha ekonomiktir. Temel, bodrum perdesi, köprü ayağı gibi durumlarda kullanılacak tek malzeme betonarmedir. Çelik yapıların da temelleri ve zemin ile temas eden elemanları yaygın bir şekilde betonarme olarak inşa edilir.
- Betonarme yapı yekpare olarak inşa edildiğinden dolayı, çelik yapılarda düzenlenmesinde ek bir özen gerektiren, birleşim bölgelerinin oluşturulması basittir. Betonarme yapının yekparelik özelliği taşıyıcı sistemin hiperstatiklik derecesini arttırırken, aşırı yüklenme durumunda elemanların birbiriyle yardımlaşmasını sağlar.

- Betonarme inşaatta, çelik inşaata göre daha az kalifiye elemana ihtiyaç duyulur. Bu durum betonarme yapının daha ekonomik olmasına katkıda bulunur (Celep, 2009).
- 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 imal edilirse, projede sadece çelik kirişleri saklamak amacıyla asma tavan kullanma mecburiyetinde kalınacaktır.
- Bazı hallerde çok katlı yüksek yapılarda betonarmenin tercih edilmesinin bir nedeni de, yapı yüksekliğinin, aynı kat sayısındaki çelik yapıya göre daha az olabilmesi (%10 daha kısa); bu nedenle de yapı malzemesinden tasarruf edilebilmesidir. Bunun nedeni, betonarme yapıda kirişsiz döşeme sistemi kullanıldığında, döşeme kalınlığı 20-25 cm civarında olabilirken çelik yapıda döşeme kirişleri ve üzerindeki döşeme sisteminin toplam kalınlığı 60 cm civarına ulaşabilmesidir.
- Yaklaşık 25 yıl önce, ABD’de projelendirilen çok katlı iş merkezi niteliğindeki yüksek yapıların hemen hepsinde çelik malzeme tercih edilmiştir. Çünkü, betonarmenin tercih edilmesi halinde ortaya çıkan büyük kolon kesitleri kullanılabilir hacmi azaltmakta, hacim planlamasını çok güç hale getirmektedir. Ayrıca, yapı ağırlığının artması temel sistemi maliyetini olumsuz etkilediği gibi, yapının deprem riskini artırmaktadır. Yaklaşık oniki yıldan beri ABD’de kullanılmaya başlanan yüksek mukavemetli beton ve süper plastikleştiriciler sayesinde bu mahzur kısmen de olsa ortadan kalkmış ve bu tür yapılarda betonarme yapı malzemesi belirli oranda artmıştır. Çok katlı iş merkezlerinin %25’inde yapı malzemesi olarak betonarme tercih edilmeye başlanmıştır. Yaklaşık 550 kg/cm² mukavemetindeki bu betonun imalinde, su/çimento oranını düşüren ve betona akışkanlık kazandıran bir kimyasal bileşim kullanılmaktadır. Süper plastikleştiriciler sayesinde yüksek mukavemetli beton imali;

betonarmenin yüksek yapıda kullanılabilme sınırlarını genişletmiş görülmektedir (Dolunay, 2001).

Çelik yapıların betonarme yapılara göre avantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- ❖ Betonun çekme dayanımı çok düşük olduğundan donatı ile kullanılması gerekir.
- ❖ Taze betonun sertleşinceye kadar yerinde tutulabilmesi için kalıp ve kalıbın da desteklenmesi için iskeleye ihtiyaç vardır. Kalıp maliyeti betonarme inşaatta önemli yer tutar. Kalıp ve iskele malzemesi ve bunun hazırlanması için yapılan sarfiyat toplam maliyetin yarısına yaklaşabilir.
- ❖ Betonarmenin ağırlığına göre dayanımın düşük olması ağır yapı elemanlarını ortaya çıkarır. Bu ise yapıya sabit yük olarak etkir ve elemanlarda ilave zorlamalar oluşturur. Özellikle, büyük açıklıklı köprü kirişi ve çatı gibi durumlarda eğilme momenti bakımından ve çok katlı yüksek yapılarda normal kuvvet bakımından bu durum malzeme seçiminde karar vermekte etkili olur.
- ❖ Betonun özelliklerine, bileşimi ve hazırlanışı yanında yerleştirilmesi ve sertleşme sırasındaki bakımı çok etkili olur. Bu işlemler genellikle şantiyede ve açık havada yapıldığı için, betona yeterli özen gösterilmeyebilir. Bu sakıncanın giderilmesi amacıyla hazır beton kullanılması ve bazı betonarme yapı elemanlarının şantiyeye hazır olarak getirilmesi yoluna gidilmektedir. Çok katlı yüksek çelik yapıların gerçekleştirilmesi hava ve şantiye koşullarından etkilenmediği için realize edilmeleri betonarme olanlara nazaran çok daha çabuk olur. İmalat daha ziyade atölye koşullarında gerçekleştirildiği için kötü hava koşullarından hem zamanlama hem de kalite açısından etkilenmez. Yapının süratle tamamlanıp kullanılabilir hale gelmesi de toplam proje maliyetini etkileyen bir faktördür.
- ❖ Çelik yapıların kullanım ömrü bittikten sonra, malzemenin faydalanmak mümkündür. Betonarme yapıların fonksiyonları sona erdiğinde yıkılarak malzemenin tekrar kullanılması hemen hemen mümkün değildir. Bu yüzden geçici amaçlı yapılan yapıların, betonarme olmaması gerekmektedir.
- ❖ Betonarme yapılarda dayanımda etkili olan donatının varlığının ve yeterliliğinin kontrolü zordur. Bu yüzden betonarmede, beton dökülmeden yerleştirilen donatının projeye uygunluğunun kontrolü çok önemlidir (Celep, 2009).

- ❖ Bazen, çok katlı yüksek yapıların projelendirilmesinde, yapı ağırlığını azaltmak için betonarme yerine çelik tercih edilir. Bu durum; zemin koşullarının zayıf olduğu ve buna bağlı olarak 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 azaldıkça depremden etkilenme şiddetinin de azalacağı unutulmamalıdır.
- ❖ Birçok açıdan iş merkezi fonksiyonundaki çok katlı yapıların çelik malzeme ile imal edilmesi tercih edilmelidir. Bunun nedeni aşağıda sıralanmıştır;
 - Çelik yapı elemanları kullanıldığında betonarmeye göre kolon kesitleri önemli oranda küçülmekte ve bir kattaki kullanılabilir alan miktarı artmaktadır.
 - 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. Mevcut tesisatta değişen ihtiyaçlar karşısında gerekli tadilatı yapmak da oldukça kolaydır. Betonarme kullanılması halinde bütün bu tesisat kanallarının betonarme döşemesi üzerine yerleştirilmesi ve üzerlerine uygun kalınlıkta bir beton tabakası dökülmesi gerekmektedir. Bu ise pahalı ve esnek olmayan bir çözümdür.
 - Çok katlı çelik yapılarda değişen ihtiyaçları karşılamak amacı ile değişiklik yapmak ana taşıyıcı sistemin veya döşeme sisteminin yük taşıma kapasitesini arttırmak hem ucuz hem de kolay olarak gerçekleştirilebilir.
 - Çok katlı çelik yapıların projelendirilmesinde, betonarmede 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 göre daha az etkilenmesine neden olur.

- ❖ Çok katlı yüksek yapılarda, betonarme malzemenin çelik malzemeye karşı en önemli dezavantajlarından biri de düşük duktilite özelliği ve yapıya kazandırdığı büyük küttedir. Bu durum, sismik yönden aktif bölgelerde betonarmenin yüksek yapı imalatında tercih edilmemesine neden olmaktadır. Ancak duktil betonarme çerçeveler konusunda yapılmakta olan araştırmalar, kolon ve kiriş donatısının yeteri kadar artırılarak duktilite özelliğinin arttırılabileceğini göstermiştir. Fakat, bu durumda da kolon ve kirişlerin birleşim yerlerinde aşırı donatının varlığı önemli imalat problemleri ortaya çıkarmakta ve betonarme malzeme maliyetini çeliğinkine yaklaştırmaktadır. Ayrıca, yüksek mukavemetli beton elde etmek için kullanılan süper plastikleştiriciler, beton maliyetini %6 ile %8 oranında arttırmaktadır.

Bütün bunlardan şu sonuca ulaşmak mümkündür. Çok katlı yüksek yapılarda; 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 göre üstünlüğü tartışılmaz seviyede iken; 50 katın üstündeki yapılarda çok önemli olan rüzgarın dinamik etkisi, betonarme yapıya oranla daha hafif ve deformasyon kabiliyetinin daha çok olması nedeniyle çelik yapılarda çok daha fazla sorun ortaya çıkarmaktadır (Dolunay, 2001).

Bu nedenlerle son zamanlarda betonarme ve çeliğin avantajlarını birleştiren, çelik ve betonarme taşıyıcı sistemlerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan karma taşıyıcı sistemler gündeme gelmiştir. Bu tür taşıyıcı sistemlerin, sadece betonarme veya çelik yapı taşıyıcı sistemlerine göre hem daha etkin hem de daha ucuz olduğu belirtilmektedir (Dolunay, 2001: Özgen vd., 1989).

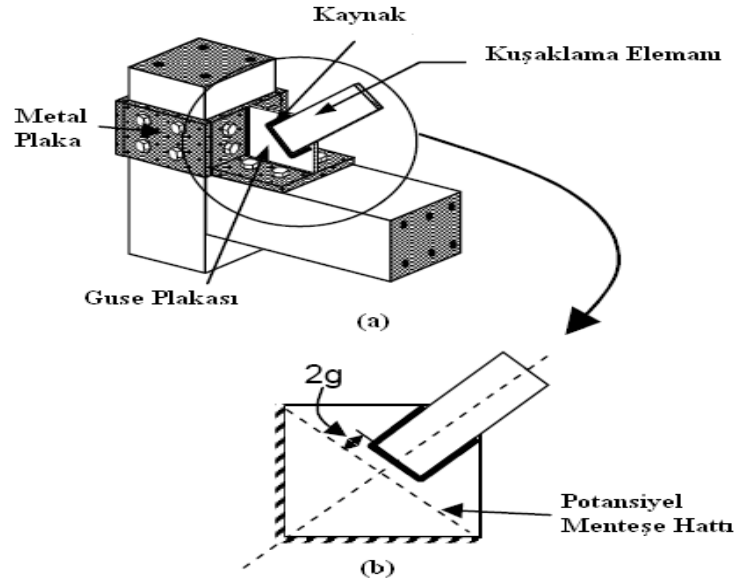
BÖLÜM 6

BETONARME ÇERÇEVELERİN ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Düşey çelik çaprazlama sistemleri genellikle çelik çerçeveli yapılarda yatay yükleri karşılayan yapısal elemanlar olarak uygulanmaktadır. Betonarme yapılarda çelik çaprazlamalar; deprem gibi yanal kuvvetlere karşı dayanımı arttırmak için kullanılmaktadır. Bu durumda, ilave diyagonal çaprazlamalar ve çerçeve girdeler kompozit kirişin ağ elemanları haline gelir (Eşsiz, 2005: Çelik vd., 1998). Çaprazlamadaki amaç; en az miktarda ek malzemeyle, yatay yüklere karşı rijit bir yapı elde etmektir. Böylece her yükseklikte yapı için ekonomik bir üretim elde edilir. Çapraz sistemler, enerjinin büyük bir kısmını yuttuğu için; özellikle deprem bölgelerinde bu sistemlerin kullanılması avantaj sağlamaktadır (Eşsiz, 2005).

6.1 Betonarme Çerçevelere Eklenen Çelik Çaprazların Birleşim Detayları

Şekil 6.1’de betonarme çerçeveye eklenen çelik çapraz elemanın bağlantı detayları gösterilmektedir (Rai, 2005).



Şekil 6.1 Betonarme sisteme bağlanan çelik çapraz elemanın bağlantı detayları (Rai, 2005)

Şekil 6.2’de betonarme yapıya eklenen V şeklindeki çelik çaprazın bağlantı şekilleri gösterilmiştir (Aiken, et al, 2006).



Şekil 6.2 V şeklindeki çapraz elemanın bağlantı detayı (Aiken, et al, 2006)

Şekil 6.3’te X şeklindeki çelik çaprazın betonarme yapıya eklenme şekilleri gösterilmektedir.



Şekil 6.3 a) X çapraz elemanın betonarme yapıya bağlantısı (Aiken, et al, 2006), b) Oluşan yumuşak katın merkezi çapraz sistem ile güçlendirilmesi (Kıymaz, 2003)

Eskişehir ilinde Kültür Merkezi olarak inŒa edilen betonarme bir yapıya X Œeklindeki merkezi  elik çapraz elemanlar eklenmiŒtir.  elik çaprazlar betonarme binanın merdiven boŒluęundaki kolonların arasına yerleŒtirilmiŒtir. Betonarme yapının x yönünde sağ ve sol tarafına simetrik olarak yerleŒtirilen  elik çaprazlar, yapının rijitliğini arttırmıŒtır. Rijitliği arttırmada kullanılan  aprazların mimari açıdan yapıya görsellik katmasından da yararlanılmıŒtır. Œekil 6.4'te bu betonarme yapıya eklenen  elik çaprazlar g sterilmiŒtir.

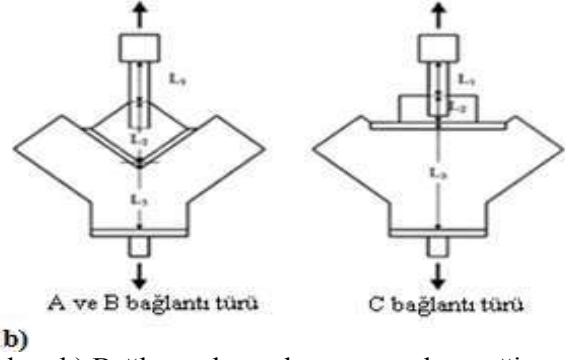
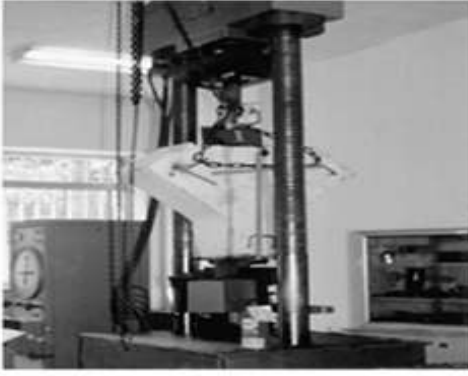
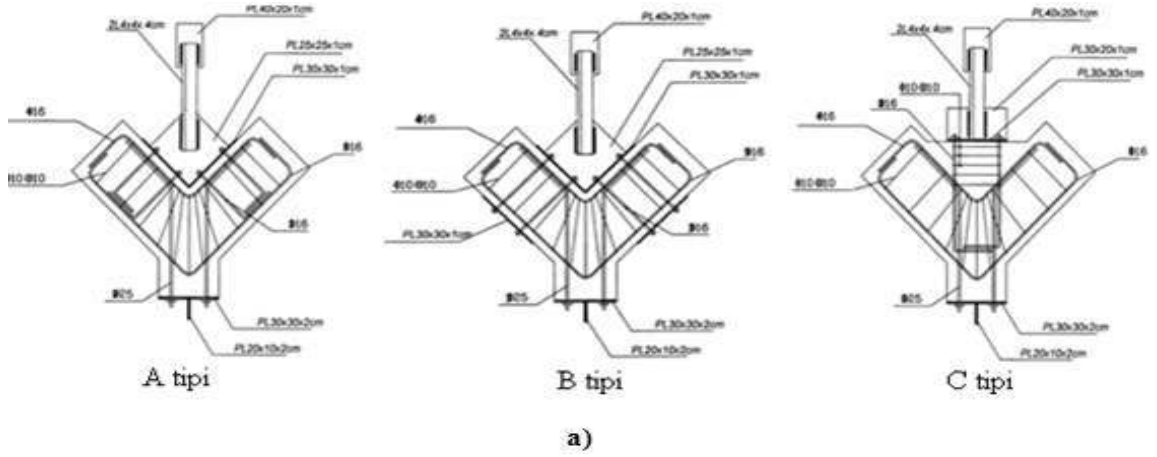


a)



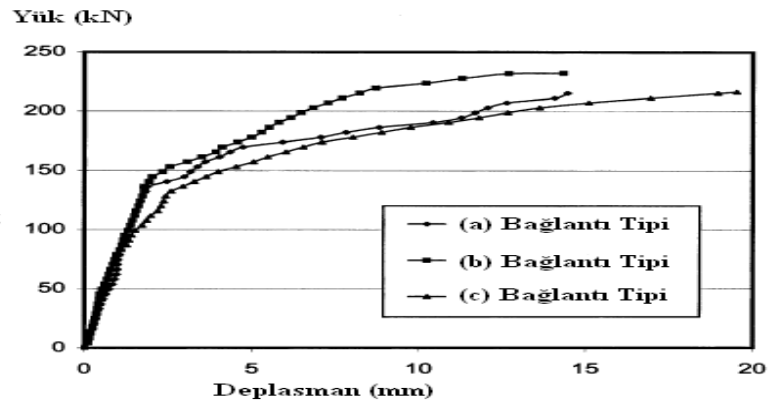
b)

Œekil 6.4 a) Binaya eklenen  elik çaprazın dıŒtan g r n Œ , b) X  elik çaprazın bağlantı detayı



Şekil 6.6 a) Testte kullanılan bağlantı elemanları, b) Bağlantı elemanlarının test düzeneğine yerleştirilme durumları

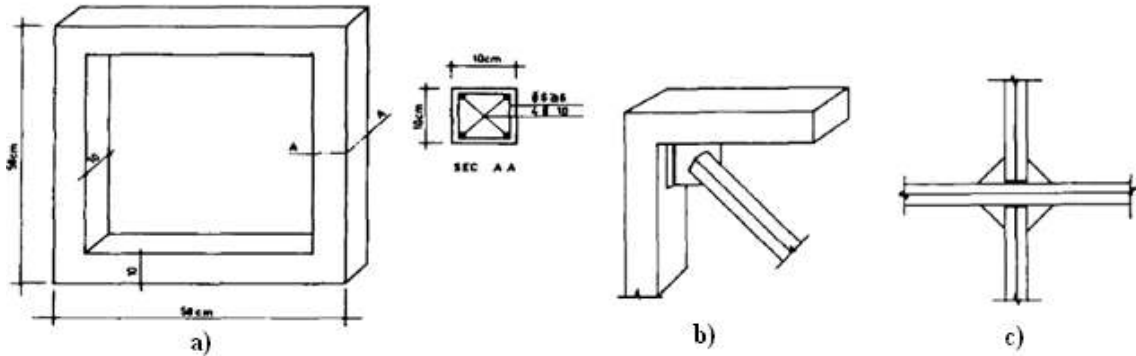
Şekil 6.7'de ise test sonucunda bağlantı elemanlarında kuvvet arttırıldıkça değişen deplasman değerleri grafikte olarak verilmiştir.



Şekil 6.7 (a), (b), (c) bağlantı tiplerinin yüke bağlı olarak değişen deplasmanların değerleri

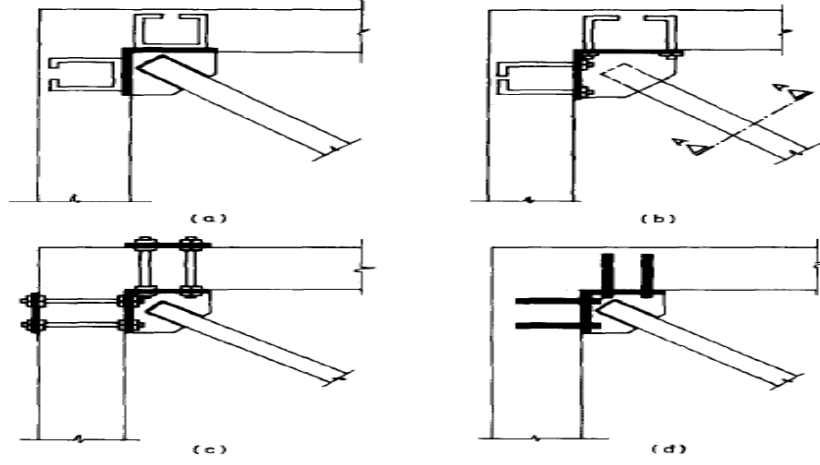
Yazarlar betonarme çerçevelerin çelik çaprazlarla birleştiğinde mimari kaygılar ve zorluklar gibi iki ana eksiklikle karşılaşılabilineceğinden bahsetmişlerdir. Sonuçların öngörülerine uygun olduklarını belirtmişlerdir. Şekil 6.10'daki grafik incelendiğinde, (a) ve (b) tiplerinde yük 210-240 kN civarındayken yaklaşık 15 mm deplasmana ulaşıldığı, (c) tipinde ise yük 220-230 kN civarındayken deplasmanın 20 mm'ye ulaşıldığı görülmektedir.

Maheri M.R. ve Sahebi A. (1997), çelik çaprazlarla güçlendirilen betonarme çerçevelerde deneyler yapmışlardır. Betonarme çerçevelere bağlanan çapraz elemanlar birkaç model üzerinde test edilmiştir (Şekil 6.8).



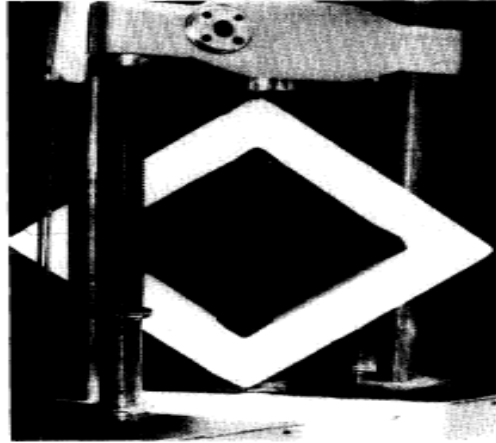
Şekil 6.8 a) Betonarme çerçevenin test modeli, b) Çerçeve eklenen çelik çapraz, c) Çapraz elemanın bağlantı detayı

Farklı tipteki çapraz elemanlı çerçevenin düzlemindeki kayma gerilmelerinin artışıdaki verimlilik ve çekme, basınç çubuklarında oluşan etkiler araştırılmıştır. Ayrıca betonarme elemanlar ile çaprazlar arasındaki bağlantı detayları da incelenmiştir. Şekil 6.9'da incelenen bağlantı çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 6.9 İncelenen bağlantı şekilleri

Deneyle dört adet test numunesi üzerinde yapılmış olup; şu sonuçlara ulaşılmıştır. Çerçeve düzlemindeki kayma mukavemeti önemli ölçüde artmıştır. Tek diyagonal sistemde beton çerçeve, eğilmeden dolayı oluşan düzlem gerilmelerinin büyük miktarını taşımıştır. X şeklindeki çapraz numunesinde çekme çubuğu yükün büyük bir kısmını karşılamakta; göçme modu ise, çekme çubuğu çekme gerilme değerini aştıktan sonra basınç çubuğunun burkulmasıyla oluşmaktadır. X çapraz numunesinde basınç ve çekme çubukları değişik oranlarda yük taşımışlardır. Diyagonal çerçeve birleşim detaylarının tam kapasiteden yararlanılabilmesi için önemli olduğu anlaşılmıştır. Basınç veya çekme kuşaklamasının tek başına sistemin kesme kapasitesini 2.5 kat arttırdığı, X şeklindeki çaprazlamada ise bunun 4 katına çıktığı belirtilmiştir. Şekil 6.10'da deney numunesinin yapıldığı test düzeneği gösterilmiştir.

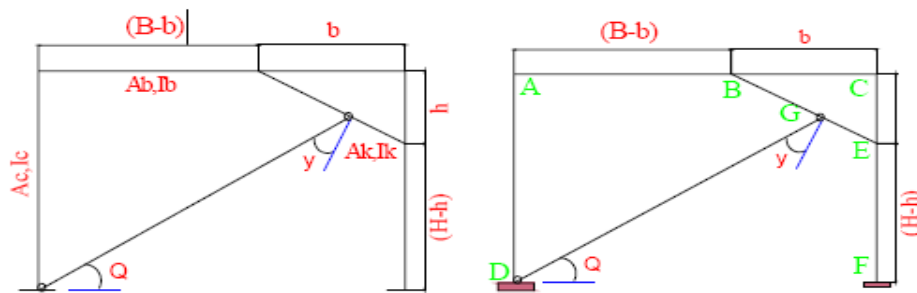


Şekil 6.10 Test düzeneği ve deney numunesi

Betonarme binalarda çelik çapraz elemanların kullanılması mevcut binaları güçlendirmek için uygulanmasının yanı sıra, çapraz elemanların kesmeye karşı dayanıklı olmasından dolayı yeni binaların sismik tasarımını da bu yöntemle yapmak mümkündür. Maheri M.R. ve Sahebi A. (1995), bu yöntemi önermişlerdir.

Taşkın vd., (2007), yaptıkları araştırmada betonarme çerçevelerin yatay yük etkisindeki davranışının çelik çaprazlı sistemler yardımı ile güçlendirilmesi amacıyla bir dizi parametrik çözümü derlemişlerdir. Farklı geometrik karakteristiklerin ve çapraz eleman tiplerinin sistem davranışı üzerine etkilerini incelemişlerdir. Burada bilinen çapraz sistem yerine son yıllarda ortaya çıkmış yeni bir sistem denemişler ve diğer sistemlerle karşılaştırmışlardır. “Enerji Yutma Kapasitesi Büyük, Değiştirilebilir Çaprazlı Sistem (Disposable Knee Bracing)” olarak adlandırılan bu yaklaşım parametrik çalışmada başarılı sonuçlar vererek, beklenildiği gibi yatay yük taşıma kapasitesini arttırmış, bununla beraber enerji yutma kapasitesi artmış ve en önemlisi yapının taşıyıcı elemanlarında oluşacak hasar miktarını azaltmıştır.

Mofid, et al., (2000), yukarıda bahsedilen yeni sistemle ilgili analitik çalışmalar yapmışlardır. Bunun için sistemdeki bilinmeyenleri ve sistem davranışına etkili olabilecek parametreleri Şekil 6.11’deki gibi belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada aldıkları modelin genişliğinin yüksekliğine oranına bağlı olarak modeller üzerinde analizler yapmışlardır. Sonuç olarak, lineer davranış modeli böyle sistemlerin analizinde iyi sonuçlar vermiştir. “Knee” elemanın yerleşimi ve ona bağlanacak olan çaprazın geometrik konumu sistem davranışını önemli ölçüde etkilemektedir (Taşkın vd., 2007; Mofid, et al., 2000).



Şekil 6.11 Değiştirilebilir çelik çaprazlı sistem özellikleri

BÖLÜM 7

YAPILAN ANALİTİK ÇALIŞMALAR

7.1 Tasarlanan 2 Katlı Betonarme Yapıda Yapılan Çalışmalar

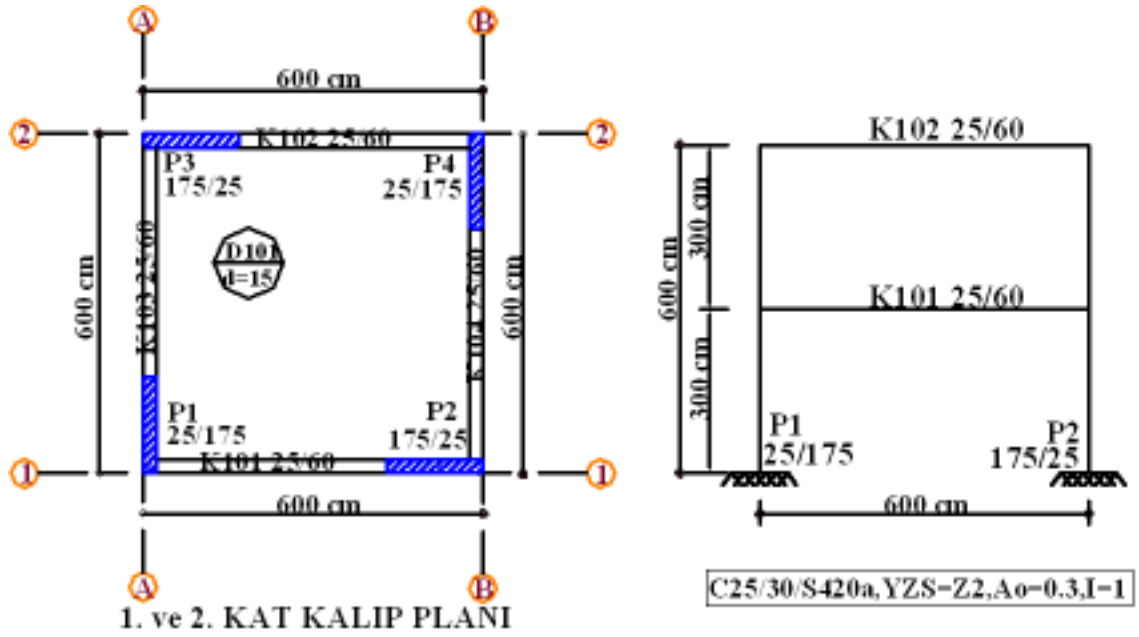
Tezde incelenmek üzere 2 katlı tek açıklıklı betonarme bir yapı tasarlanmıştır. Bu yapının özellikleri aşağıda verilmiştir:

- ★ Yapı tek açıklıklı olup, x ve y yönünde 6.00 mt. genişliğindedir.
- ★ Kat yükseklikleri sabit olup 3.00 metredir.
- ★ Döşeme kalınlıkları 15 cm; döşeme yükleri, sabit yük $g=1,5 \text{ kN/m}^2$, hareketli yük ise $q=2 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.
- ★ Kiriş boyutları eşit olup, 25x60 cm olarak seçilmiştir.
- ★ Beton sınıfı C25, çelik sınıfı S420a olarak tasarlanmıştır.
- ★ Etkin yer ivme katsayısı, $A_o=0.30$; bina önem katsayısı, $I=1$; yerel zemin sınıfı, Z2 olarak seçilmiştir.

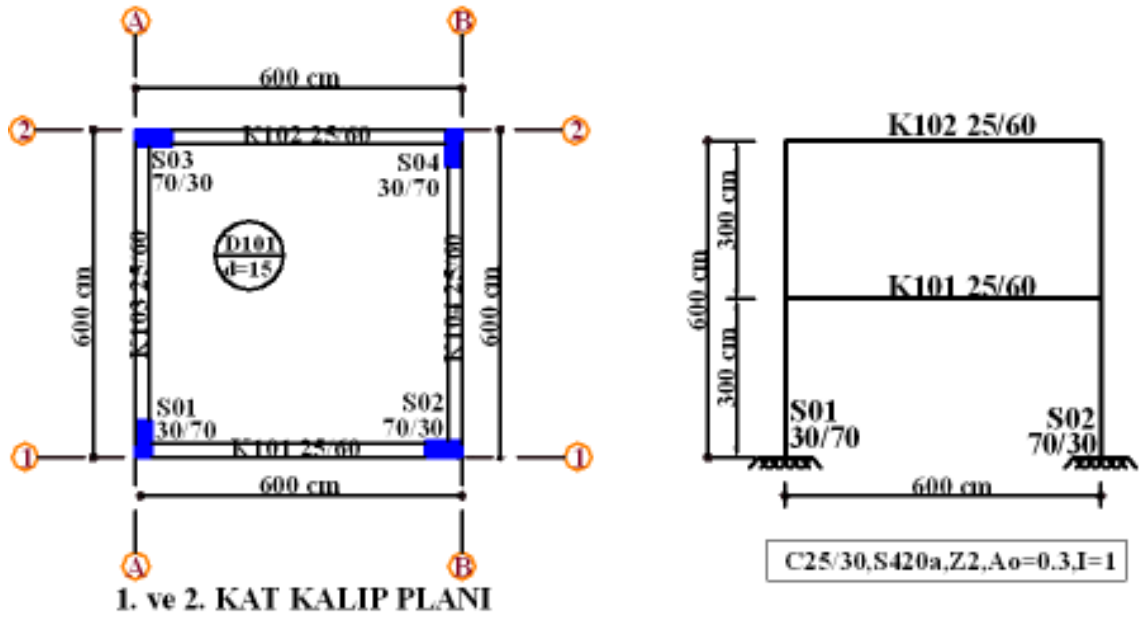
Yapının modellendirilmesi SAP2000 v.14.0.0 statik analiz programıyla yapılmıştır. Yapı, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar (TDY-2007)” yönetmeliği gereğince analiz edilmiş olup; deprem yükünü belirlemek için mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

Sistemler; salt betonarme perdeli, salt kolonlu ve kolonlu yapıya ilave edilen çelik çaprazlı olarak tasarlanmıştır. Perdeli sistemde, perde kesitlerinin boyutları 25x175 cm; kolonlu sistemde ise, kolon boyutları 30x70 cm olarak tasarlanmış ve bu kesitler yapıya simetrik olarak yerleştirilmiştir. Betonarme kolonlu yapıya eklenen çelik çaprazlar; X, K ve V şekillerinde uygulanmıştır. Çapraz elemanların malzeme özelliği Fe37, elemanın tipi çift köşebent (L) olarak seçilmiştir. Çapraz elemanlar betonarme kolonların arasında merkezi ve yapının dört tarafında da olacak şekilde uygulanmıştır.

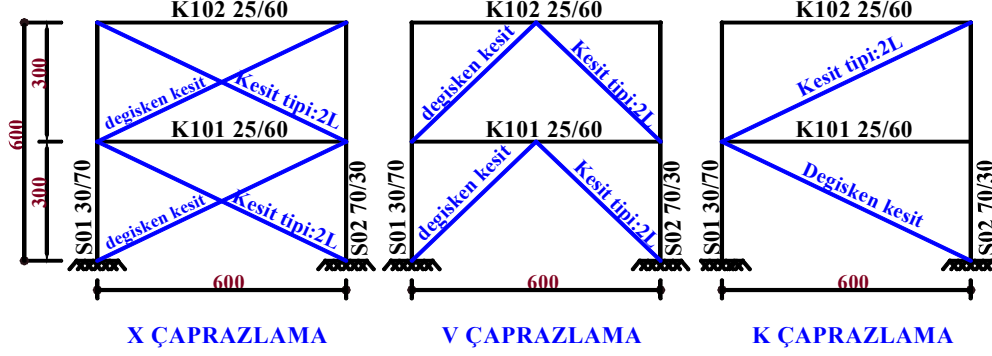
Şekil 7.1'de perdeli sistem, Şekil 7.2'de kolonlu sistem, Şekil 7.3'te ise betonarme yapıya eklenen çelik çaprazlı sistemler gösterilmiştir.



Şekil 7.1 Betonarme perdeli sistem

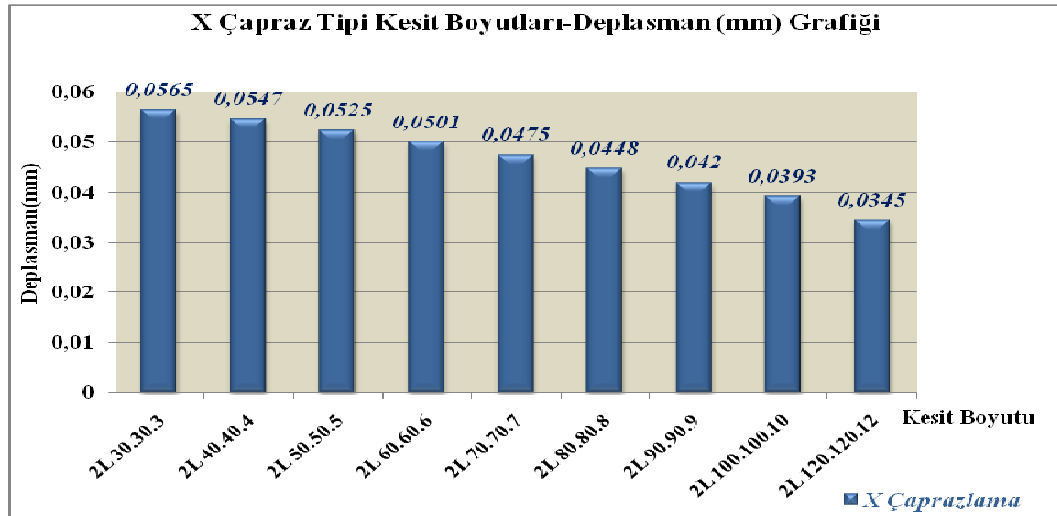


Şekil 7.2 Betonarme kolonlu sistem

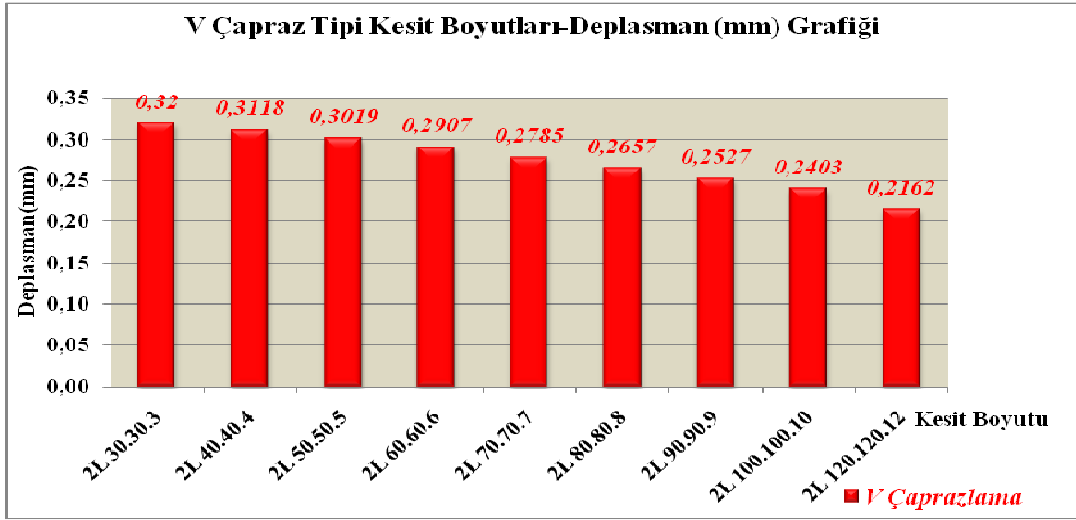


Şekil 7.3 Betonarme sisteme eklenen farklı şekillerdeki çelik çaprazlı sistemler

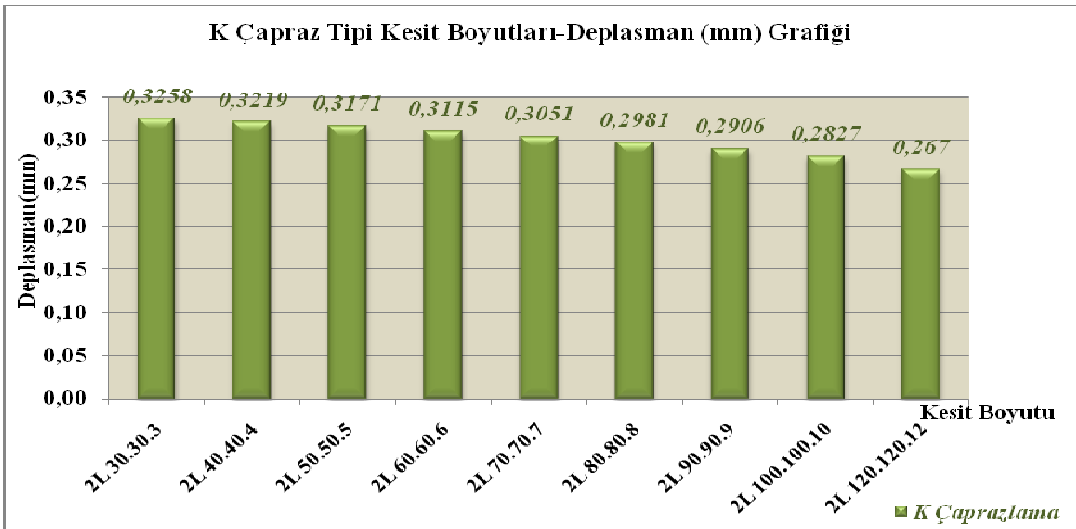
Betonarme perdeli sistemde, salt kolonlu sistemde ve X, K, V çelik çaprazlı betonarme sistemlerde farklı çapraz kesit boyutlarına bağlı olarak değişen en üst kat yer değiştirme değerleri incelenmiştir. G+Q+Ex ve G+Q+Ey şeklinde kombinasyonlar oluşturulmuş ve sistemlerin deprem kuvveti etkisindeki en üst kat deplasman değerleri bulunmuştur. (G:Sabit yük değeri, Q:Hareketli yük değeri, E:Deprem kuvveti değeridir). Şekil 7.4'te X çaprazlama sistemine ait, Şekil 7.5'te V çapraz sistemine ait, Şekil 7.6'da K çapraz sistemine ait değişken kesitlerde oluşan, deprem kuvveti etkisindeki en üst kat deplasman değerleri gösterilmiştir.



Şekil 7.4 X çaprazlı sistemdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman değerleri

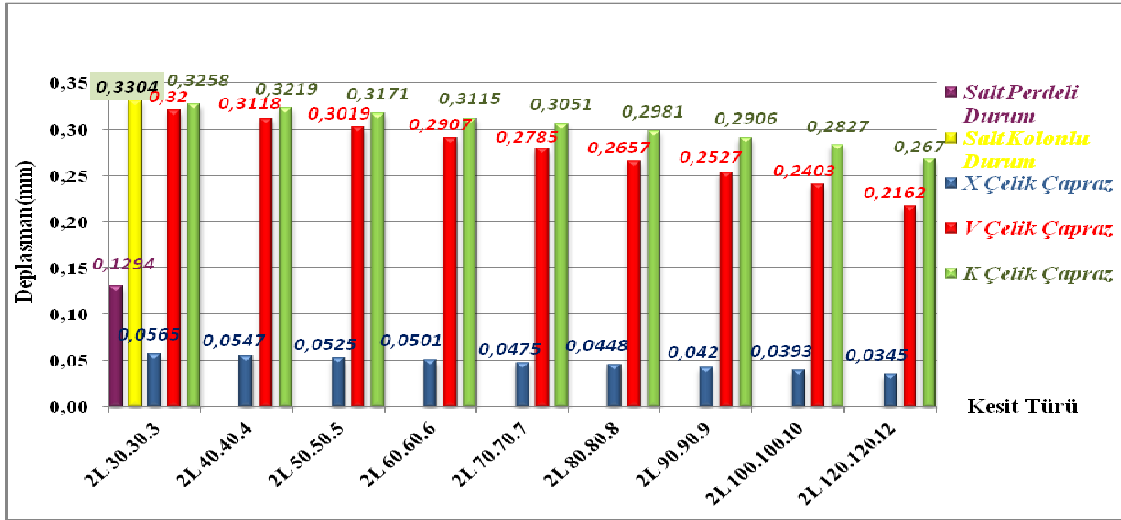


Şekil 7.5 V çaprazlı sistemdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman değerleri



Şekil 7.6 K çaprazlı sistemdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman değerleri

Çelik çaprazlı sistemlerin, çapraz kesitleri değiştirilerek bulunan en üst kat deplasman değerleri, birbirleri içinde karşılaştırmalı olarak Şekil 7.7’de grafik, Çizelge 7.1’de ise tablo şeklinde verilmiştir.

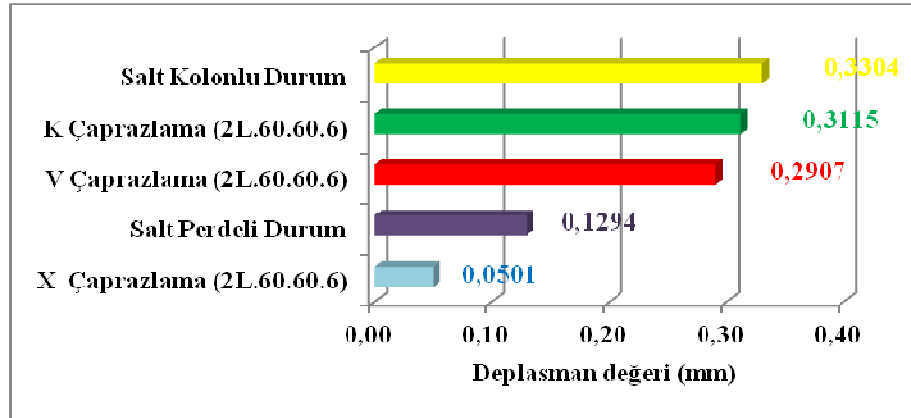


Şekil 7.7 Farklı sistemlerdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman (mm) değerleri

Çizelge 7.1 Farklı sistemlerdeki kesit boyutlarına bağlı olarak değişen deplasman (mm) değerleri

Kesit Çeşiti	Deplasman (mm)				
	Salt Perdeli Durum	Salt Kolonlu Durum	X Çelik Çapraz	V Çelik Çapraz	K Çelik Çapraz
Perde-25x175(BA, C25)	0,1294				
Kolon-30x70 (BA, C25)		0,3304			
2L 30.30.3 (Fe37)			0,0565	0,3200	0,3258
2L 40.40.4 (Fe37)			0,0547	0,3118	0,3219
2L 50.50.5 (Fe37)			0,0525	0,3019	0,3171
2L 60.60.6 (Fe37)			0,0501	0,2907	0,3115
2L 70.70.7 (Fe37)			0,0475	0,2785	0,3051
2L 80.80.8 (Fe37)			0,0448	0,2657	0,2981
2L 90.90.9 (Fe37)			0,042	0,2527	0,2906
2L 100.100.10 (Fe37)			0,0393	0,2403	0,2827
2L 120.120.12 (Fe37)			0,0345	0,2162	0,2670

Çizelge incelendiğinde, X çelik çaprazlı sistemin diğer sistemlere göre daha çok rijit davrandığı anlaşılmaktadır. X çelik çaprazlı sistem, salt perdeli sistem ile kıyaslandığında; G+Q+E kombinasyonundaki en üst kat yer değiştirme değerlerinin arasında yaklaşık 2 kat fark olduğu görülmektedir. Ayrıca çizelge ve grafiklerden; çelik çaprazların kesit boyutları arttırıldıkça, sistemlerin depremde daha çok rijit davrandıkları anlaşılmaktadır.



Şekil 7.8 Sabit kesit alınarak farklı sistemlerde bulunan deplasman değerleri

Farklı çelik çaprazlı betonarme sistemlerdeki çelik çaprazların kesit boyutları 2L60.60.6 mm olarak sabit bir değer seçilip, diğer sistemlerle G+Q+Ex kombinasyonunda oluşan en üst kat yer değiştirme değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 7.8 ve Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2 Sabit kesit alınarak farklı sistemlerde G+Q+Ex kombinasyonunda oluşan deplasmanlar

SİSTEM TİPİ	UÇ DEPLASMAN (mm)
Salt Perdeli Durum (25x175)	0,1294
Salt Kolonlu Durum (30x70)	0,3304
X Çapraz Tipi (2L.60.60.6)	0,0501
V Çapraz Tipi (2L.60.60.6)	0,2907
K Çapraz Tipi (2L.60.60.6)	0,3115

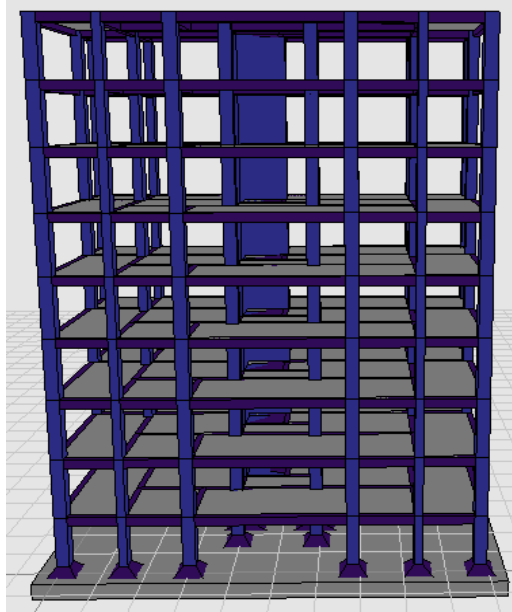
Çelik çaprazlar sabit bir kesit alınarak kendi aralarında ve diğer sistemlerle G+Q+Ex yüklemesi altında kıyaslandığında, X çelik çaprazlı sistemin ötelenme açısından en iyi sistem olduğu görülmektedir. Perdeli sistem ise; X çaprazlı sistem haricindeki diğer çaprazlı sistemlerin arasında daha çok rijit davranış göstermektedir. Öte yandan çaprazlı sistemlerin, salt kolonlu sisteme göre depremde daha iyi davranış gösterdiği anlaşılmaktadır.

7.2 Mevcut Olan 9 Katlı Betonarme Bir Yapıda Yapılan Analitik Çalışmalar

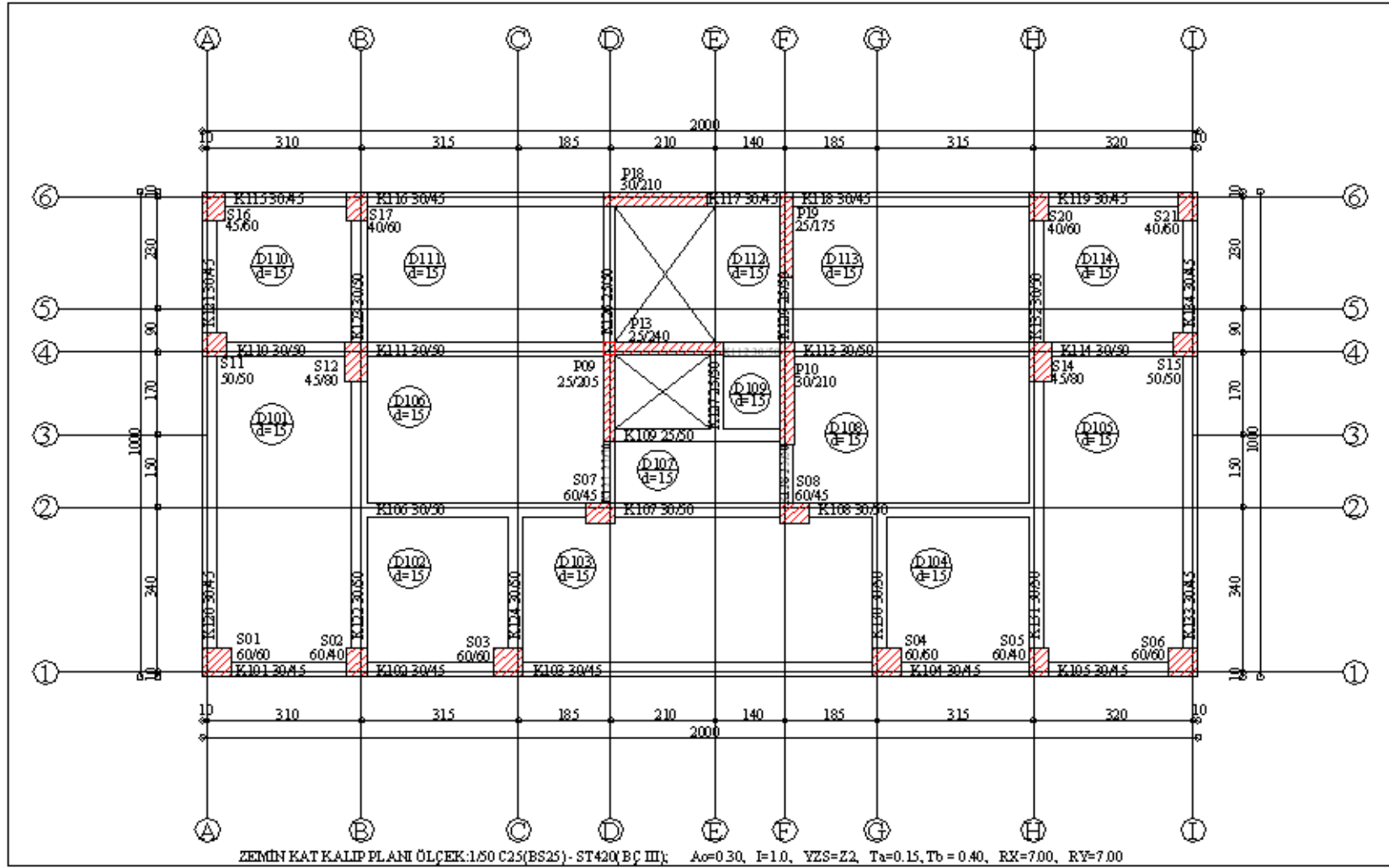
Tezde incelenen proje, Eskişehir ilinde mevcut olan betonarme bir yapıdır. Yapı, statik proje çizimi üzerinden SAP2000 v.14.0.0 statik analiz programı kullanılarak yeniden modellendirilmiştir. Modellendirilme sırasında esas olarak ele alınan statik projenin 3 boyutlu hali Şekil 7.9’da, betonarme kalıp planı ise Şekil 7.10’da gösterilmiştir. Proje, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar (TDY-2007)” yönetmeliği gereğince analiz edilmiş olup; betonarme dizaynı ise TS-500 yönetmeliğine göre yapılmıştır.

İncelenen betonarme binanın özellikleri şunlardır:

- Betonarme bina, 9 kattan oluşmaktadır. Kat yükseklikleri her katta sabit olup, 3.00’er metredir.
- Zemin sınıfı Z2, zemin yatak katsayısı 1500 t/m^3 , zemin emniyet gerilmesi ise 14 t/m^2 ’dir.
- Beton sınıfı C25, çelik sınıfı S420a olarak tanımlanmıştır.



Şekil 7.9 İncelenen projenin 3 boyutlu görünüşü



Şekil 7.10 Esas olarak ele alınan statik projenin kalıp planı

7.2.1 Projenin SAP2000 programı ile çözülmesinde izlenen yol

Projenin taşıyıcı elemanlarının yerleştirilebilmesi için, bina akslarının X, Y, Z koordinatları girilmiştir. Binanın imalatında kullanılan beton sınıfı C25 olduğundan, bu beton sınıfına ait malzeme özellikleri tanımlanmıştır.

Yapı elemanları kolonlar, perdeler ve kirişler tek tek tanımlanmıştır. Projede, 4 adet 60x60, 5 adet 40x60, 3 adet 50x50, 2 adet 45x80 boyutlarında toplamda 15 adet kolon; 25x205, 25x175, 25x240, 2 adet 30x210 boyutlarında toplamda 5 adet perde bulunmaktadır. Kirişler 25x50, 30x45, 30x50 şeklinde 3 farklı kesitte bulunmaktadır. Döşeme kalınlığı her yerde 15 cm olup, yapıda merdiven ve asansör boşlukları bulunmaktadır.

Taşıyıcı elemanlar kolonlar, kirişler ve perdeler, mevcut statik projedeki gibi yerleştirilmiştir. Tanımlanan döşeme ve perde duvarların TS 498 Yük Şartnamesine göre, statik ve dinamik yüklerle yüklenmesi durumunda, yüklemelerin her bir elemana ve ardından da kirişlere (özellikle döşemelere) tam olarak aktarılması için parçalara ayrılması gerekir. Bu yüzden her bir döşeme elemanı 1 m^2 'ye denk gelecek şekilde bölünmüş ve bölünen her bir parça, etrafındaki diğer parçalara bu yükleri tam olarak aktaracak şekilde bağlanmıştır. Döşeme yükleri, sabit yük $g=1,5 \text{ kN/m}^2$, hareketli yük ise $q=2 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır. Döşemeler rijit diyafram olarak tanımlanmıştır. Döşeme rijit olduğunda yatay yükler etkisi altında, kendi içinde deforme olmadan rijit bir kütle gibi ötelenmektedir. Döşemedeki rijit ötelenmede, yatay yükler düşey elemanlara (perde ve kolonlara) yatay rijitlikleriyle orantılı olarak dağıtılmaktadır.

Dış duvarların bulunduğu kirişler ile asansör ve merdiven boşluklarının bulunduğu kirişlerde duvar+sıva yükü olarak 9.00 kN/m ; iç duvarlara denk gelen kirişlerde ise duvar+sıva yükü olarak 5.50 kN/m yük etkilmiştir.

Binanın kat ağırlıklarının bulunabilmesi için, kütle kaynağı ve yükleme kombinasyonu belirlenmiştir. TDY-2007 Çizelge 2.7'den hareketli yük katılım katsayısı konutlar için 0.3 alınmıştır ve $W=G+0.3Q$ yük kombinasyonu tanımlanmıştır.

Deprem hesabı için kullanılacak hesap yöntemi olarak "Mod Birleştirme Yöntemi" seçilmiştir. Hesaba katılacak mod sayısı 27 olarak alınmıştır (Mod sayısı $\geq 3 \times N$; N =Kat sayısı).

Yapının deprem hesabında kullanılan deprem parametreleri aşağıda verilmiştir;

- ◆ Etkin yer ivme katsayısı, $A_o=0.30$ (TDY2007-Çizelge 2.2, 2.Deprem bölgesi)
- ◆ Bina önem katsayısı, $I=1$ (TDY07-Çizelge 2.3, Konut)
- ◆ Spektrum karakteristik periyotları, $T_A=0.15$, $T_B=0.40$ (TDY07-Çizelge 2.4, Z2 yerel zemin sınıfı)
- ◆ Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=7$ (TDY07, Çizelge 2.5)

Spektrum Katsayısı, $S(T)$ Denklem (7.1) ile hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \cdot \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned} \tag{7.1}$$

Deprem yükü azaltma katsayısı; Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R 'ye ve doğal titreşim periyodu, T 'ye bağlı olarak Denklem (7.2) ile belirlenmiştir.

$$\begin{aligned}
 R_a(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 R_a(T) &= R & (T_A < T)
 \end{aligned} \tag{7.2}$$

Analiz türü Response Spectrum olan yükleme tanımlanmıştır. $S(T)/R_a(T)$ değerleri oluşturularak; spektrum fonksiyonu belirlenmiştir (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3 Oluşturulan azaltılmış ivme spektrumu değerleri

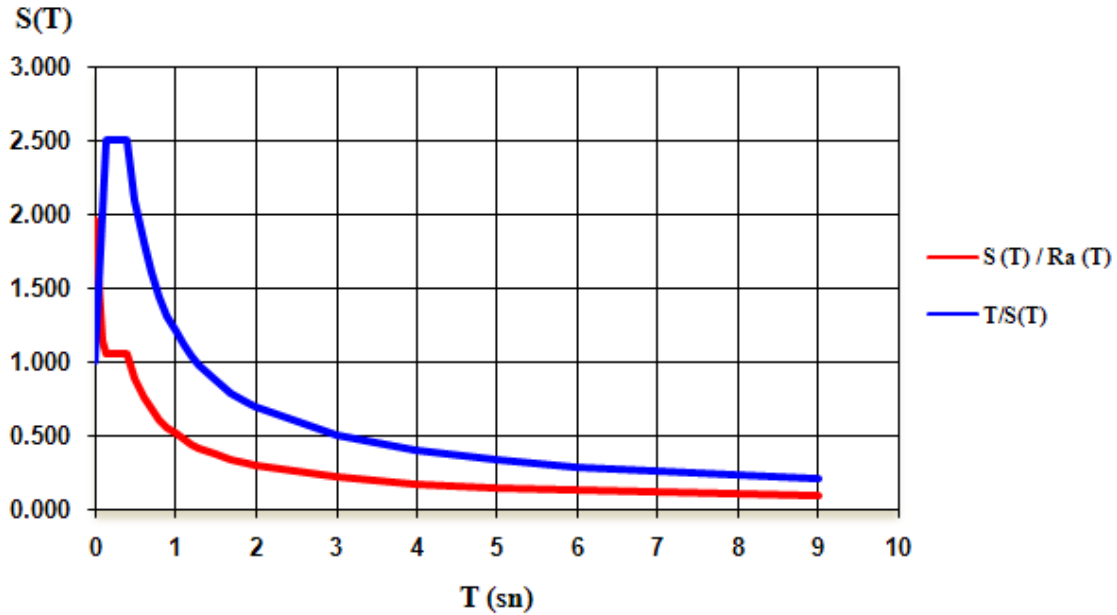
T(sn)	S(T)	$R_a(T)$	$S(T)/R_a(T)$
0	1.000	1.50	0.667
0.1	2.000	5.17	0.387
0.15	2.500	7	0.357
0.4	2.500	7	0.357
0.5	2.091	7	0.299
0.6	1.807	7	0.258
0.7	1.598	7	0.228
0.8	1.436	7	0.205
0.9	1.307	7	0.187
1	1.201	7	0.172
1.1	1.113	7	0.159
1.2	1.038	7	0.148
1.3	0.974	7	0.139
1.5	0.868	7	0.124
1.7	0.786	7	0.112
1.9	0.719	7	0.103
2	0.690	7	0.099
3	0.499	7	0.071
4	0.396	7	0.057
5	0.331	7	0.047
6	0.286	7	0.041
7	0.253	7	0.036
8	0.228	7	0.033
9	0.207	7	0.030

Deprem kuvvetinin hesabına esas olarak alınacak ivme spektrumu fonksiyonu tanımlanmıştır (Denklemler 7.3).

$$V_t = W \cdot \frac{A_o \cdot I \cdot S(T)}{R_a(T)} = m \cdot g \cdot A_o \cdot I \cdot \frac{S(T)}{R_a(T)} \quad (7.3)$$

Buradan, g , I , A_o ($g=9.81\text{m/s}^2$, $I=1$, $A_o=0.30$) değerleri formüldeki yerlerine konulduğunda; ölçü Faktörü $\rightarrow g \cdot A_o \cdot I = 9.81 \times 0.30 \times 1 = 2.943$ olarak bulunmuştur.

$U1(x)$ ve $U2(y)$ yönlerindeki yer değiştirme değerleri, Denklem (7.3)'teki gibi hesaplanan ölçü faktörü değeri, 2.943 olarak alınmıştır. Böylece ivme spektrumu fonksiyonu oluşturulmuştur (Şekil 7.11).

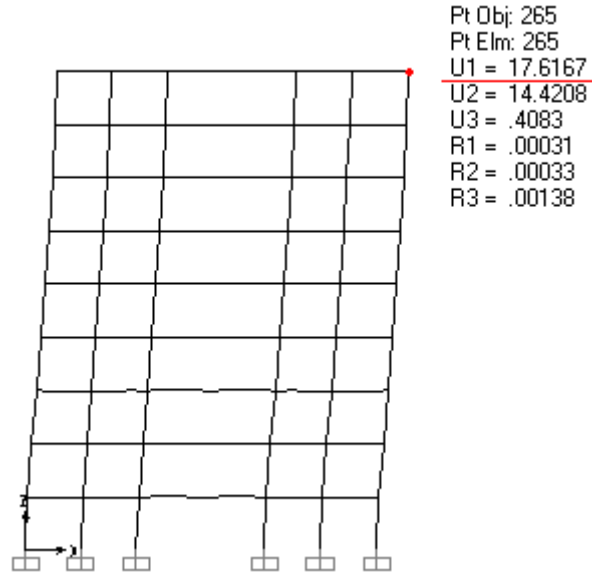


Şekil 7.11 Hesaplarda kullanılan azaltılmış ivme spektrumu fonksiyonu grafiği

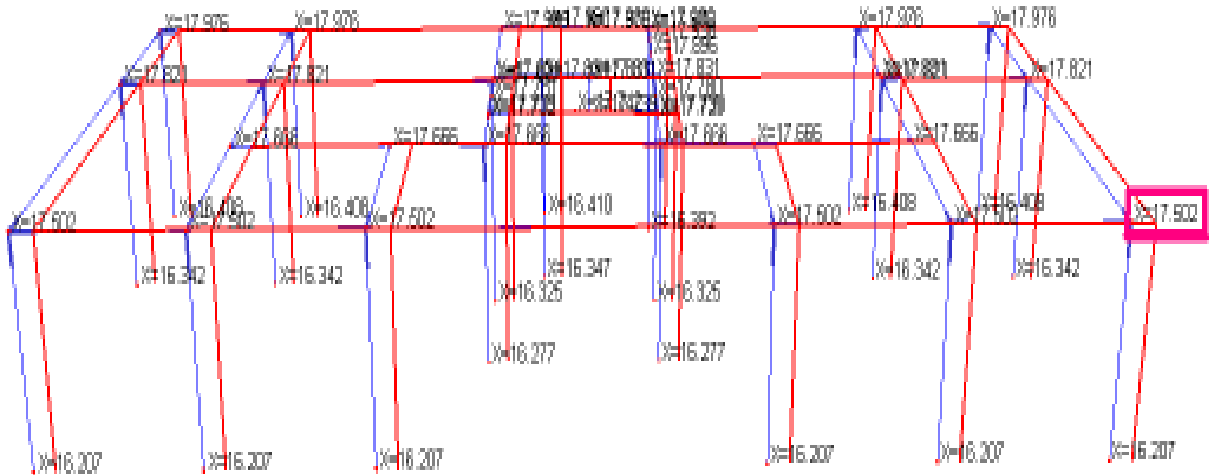
Betonarme sistem bu özellikler dikkate alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonrasında yapının, x yönündeki deprem kuvveti etkisi altındaki en üst kat yer değiştirme değeri, **17.62 mm** olarak bulunmuştur.

Aynı betonarme sistem yerel bir paket programında da kontrol amaçlı analiz edilmiştir. Analiz sonrasında yapının, x yönündeki deprem kuvveti etkisi altındaki en üst kat yer değiştirme değeri, **17.50 mm** bulunmuştur.

İki program arasındaki analiz sonuçları değerlendirildiğinde; yapıdaki deplasman değerlerinin birbirlerine çok yakın bulunduğu görülmektedir. Şekil 7.12 ve Şekil 7.13'te iki programın analiz sonrasında, x yönündeki deprem kuvveti etkisi altında bulunan yer değiştirme değerleri (mm) gösterilmiştir.



Şekil 7.12 SAP2000 programı ile analiz sonrasında bulunan deprem kuvveti etkisi altında x yönündeki en üst kat deplasman değeri (mm).



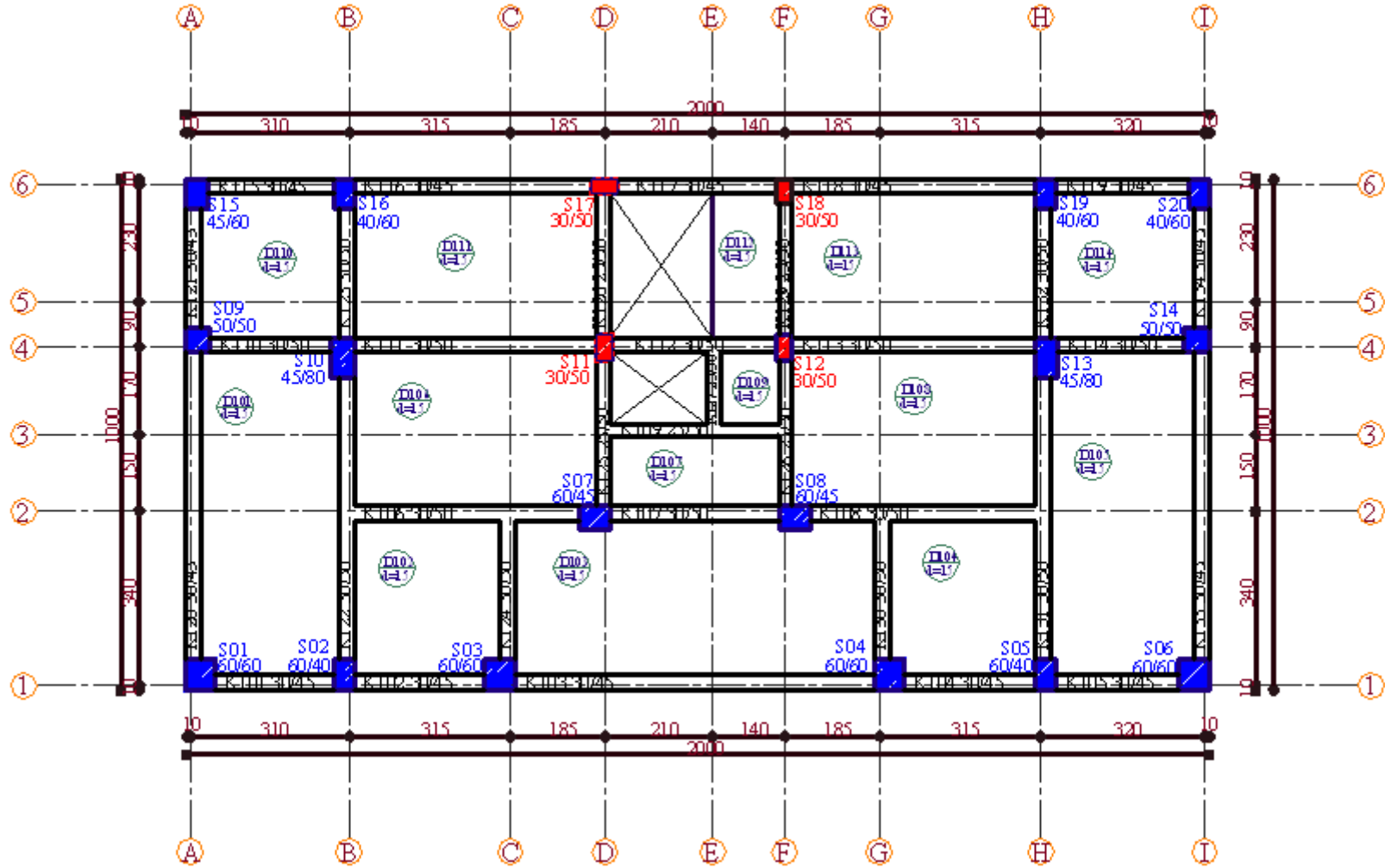
Şekil 7.13 Yerel paket programında bulunan deprem kuvveti etkisi altında x yönündeki en üst kat deplasman değeri (mm).

7.2.2 Betonarme perdelerin kaldırılıp yerlerine çelik çapraz elemanların eklenmesi durumu

Projede boyutları, 25x175 cm, 25x205 cm, 25x240 cm ve 30x210 cm (2 adet) olan betonarme perdeler kaldırılıp, yerlerine boyutları 30x50 cm (3 adet) olan betonarme kolonlar yerleştirilmiştir. Betonarme perdelerin yerlerine eklenen kolonların boyutları; perdeler kaldırıldıktan sonra, yapıda gerekli dayanımı ve emniyeti sağlayan en küçük kesit olarak seçilmiştir. Proje bu haliyle, SAP2000 v.14.0.0 programında mod birleştirme yöntemine göre yeniden analiz edilmiş ve betonarme tasarımı yapılmıştır. Kontrol amaçlı olarak salt betonarme kolonlu proje, yerel bir paket programında da analiz edilmiştir. Şekil 7.14'te oluşturulan salt kolonlu yapının kalıp planı gösterilmiştir.

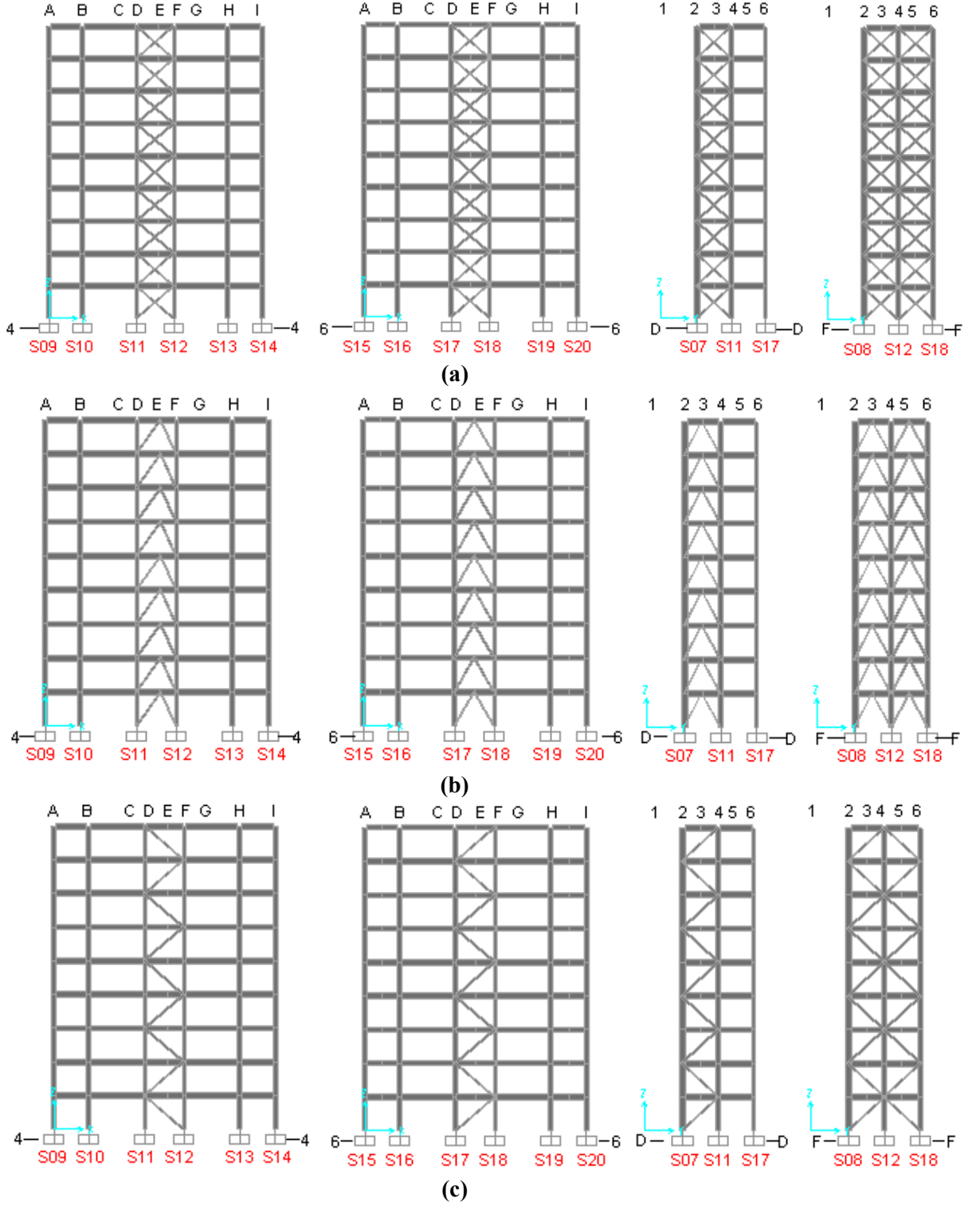
Betonarme perdelerin kaldırılmasından sonra oluşturulan sistemde, önceden perdelerin bulunduğu, yeni eklenen kolonların arasına çelik çapraz elemanlar ilave edilmiştir. İlave edilen çelik çapraz elemanlar S17 ile S18; S11 ile S12; S07 ile S11; S08 ile S12; S12 ile S18 kolonları arasına yerleştirilmiştir (Şekil 7.14). Çapraz elemanlar yapıya X, K ve ters V şekillerinde bağlanmıştır. Çelik çapraz elemanların malzeme özelliği Fe37, tipi kutu kesit ve boyutları $\square 150.150.10$ mm olarak seçilmiştir. Betonarme yapıya eklenen çelik çaprazlı yapıların mod birleştirme yöntemine göre analizleri ve çelik tasarımları yapılmıştır.

Çelik çaprazlar yapıya şu şekilde yerleştirilmiştir: X şeklindeki çapraz elemanların burkulma boylarını azaltmak amacıyla çaprazlar ikiye bölünmüş ve elemanların uçları mafsallı, moment almayacak şekilde çözülmüştür. K çaprazlar yapıya diyagonal olarak yerleştirilmiş, eleman uçları mafsallı ve moment almayacak şekilde modellendirilmiştir. Ters V şeklindeki çaprazlar; kirişlerin orta noktasından bağlanmış, kesitlerin uçları mafsallı ve moment almayacak şekilde tanımlanmıştır.



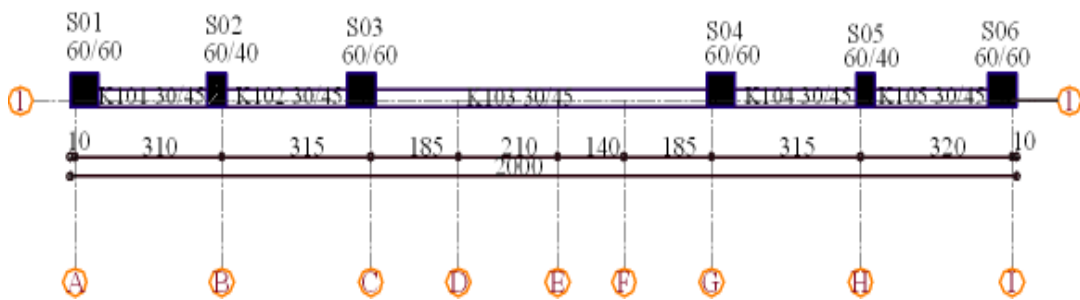
Şekil 7.14 Perdelerin kaldırılmasından sonra oluşturulan salt kolonlu yapının kalıp planı

Şekil 7.15'te çelik çaprazların betonarme binaya yerleştirilme durumları gösterilmiştir.



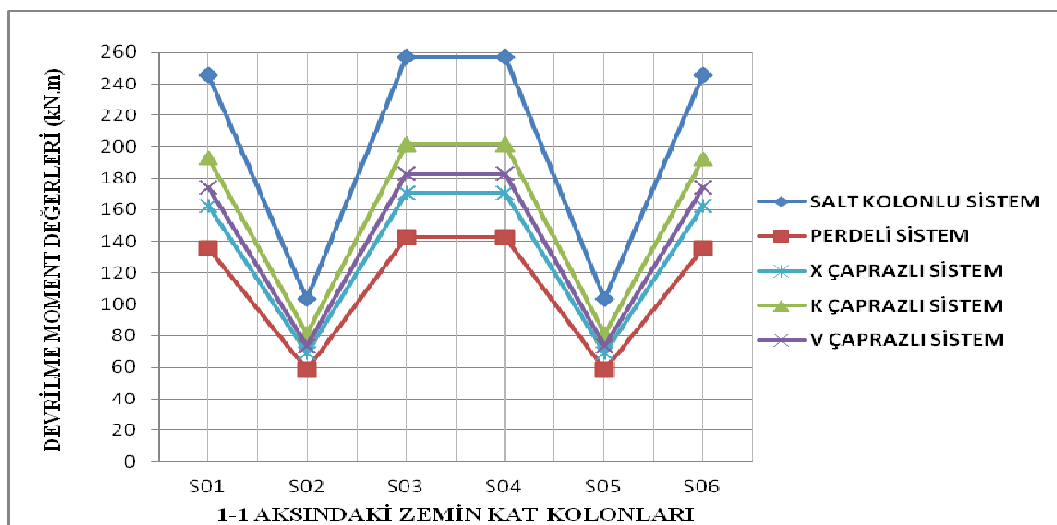
Şekil 7.15 Betonarme yapıya eklenen farklı şekillerdeki çelik çaprazlar: a) X şeklindeki çelik çapraz, b) Ters V şeklindeki çelik çapraz, c) K şeklindeki çelik çapraz.

Esas olarak ele alınan betonarme perdeli-kolonlu sistemin, salt kolonlu sistemin ve çelik çaprazlı sistemlerin, zemin kat 1-1 aksındaki kolonlarında x yönü deprem kuvveti etkisi altında oluşan taban devrilme moment değerleri ve taban kesme kuvveti değerleri incelenmiştir. Şekil 7.16'da yapının kalıp planı 1-1 aksında bulunan kolonların durumu gösterilmiştir.



Şekil 7.16 Zemin kat 1-1 aksında bulunan kolonların durumu

Bu sistemlerin zemin kat 1-1 aksı kolonlarında, x yönü deprem kuvveti etkisi altında oluşan taban devrilme moment değerleri Şekil 7.17'de grafik, Çizelge 7.4'de ise tablo olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.17 Farklı sistemlerde zemin kat kolonlarında bulunan moment değerlerinin (kN.m) grafiği

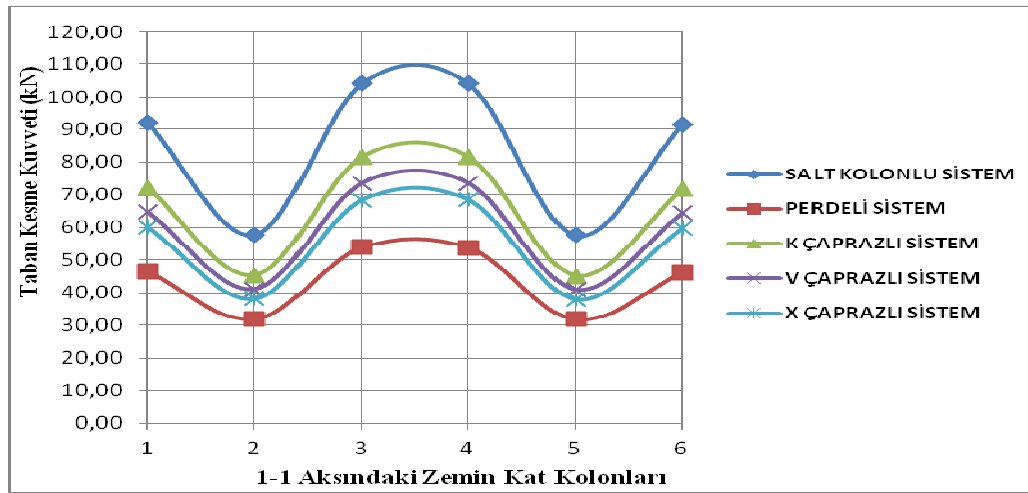
Çizelge 7.4 Zemin kat 1-1 aksındaki kolonların moment değerleri (kN.m)

1-1 AKSINDAKİ ZEMİN KAT KOLONLARI	SALT KOLONLU SİSTEM	PERDELİ SİSTEM	X ÇAPRAZLI SİSTEM (□150x150x10)	V ÇAPRAZLI SİSTEM (□150x150x10)	K ÇAPRAZLI SİSTEM (□150x150x10)
	TABAN DEVİRİLME MOMENT DEĞERİ (kNm)	TABAN DEVİRİLME MOMENT DEĞERİ (kNm)	TABAN DEVİRİLME MOMENT DEĞERİ (kNm)	TABAN DEVİRİLME MOMENT DEĞERİ (kNm)	TABAN DEVİRİLME MOMENT DEĞERİ (kNm)
S01	245,82	135,79	162,76	174,39	192,66
S02	103,59	58,42	68,83	73,67	81,19
S03	257,28	142,81	170,60	182,77	201,77
S04	257,28	142,77	170,68	182,79	201,82
S05	103,36	58,29	68,67	73,51	81,01
S06	245,39	135,54	162,50	174,10	192,33

Çizelgedeki sonuçlara göre, perdeli-kolonlu yapı ile salt kolonlu yapı kıyaslandığında; perdeli yapıdaki deprem yüklerinin büyük bir kısmını perdelerin karşıladığı, dolayısıyla bu yapıdaki kolonların daha az deprem yükü aldığı görülmektedir. Örneğin S06 kolonunda; perdeli sistemde devrilme moment değeri 135,54 kNm olarak bulunurken, kolonlu sistemdeki devrilme moment değeri 245,39 kNm olarak bulunmuştur. Aynı şekilde perdeli yapı, çelik çaprazlı yapılarla karşılaştırıldığında; perde elemanın çapraz elemanlara göre daha fazla deprem yükü aldığı anlaşılmaktadır. Örneğin S03 kolonunda; perdeli sistemde devrilme moment değeri 142,81 kNm bulunurken, X çaprazlı sistemde devrilme moment değeri 170,60 kNm olarak bulunmuştur. Ayrıca salt kolonlu yapıyla çaprazlı sistemler kıyaslandığında; çapraz elemanların, perde elemanında olduğu gibi, deprem yüklerinin büyük bir kısmını karşıladığı görülmektedir. Örneğin S02 kolonunda, kolonlu yapıda bulunan devrilme moment değeri 103,59 kNm iken; K çelik çaprazlı sistemde aynı kolonda devrilme moment değeri 81,19 kNm olarak bulunmuştur.

Ek.1'de perdeli-kolonlu sistemin, Ek.2'de salt kolonlu, Ek.3'te X şeklindeki çelik çaprazlı, Ek.4'te V şeklindeki çelik çaprazlı, Ek.5'te K şeklindeki çelik çaprazlı sistemlerin; 1-1 aksı kolonlarında bulunan moment değerlerinin şekilleri verilmiştir.

Perdeli-kolonlu, salt kolonlu ve çelik çaprazlı betonarme sistemlerin zemin kat 1-1 akslarındaki, x yönü deprem kuvveti etkisi altında oluşan taban kesme kuvveti değerleri Şekil 7.18’de grafik ve Çizelge 7.5’te tablo olarak verilmiştir.



Şekil 7.18 Farklı sistemlerin zemin kat 1-1 aksındaki kolonlarının taban kesme kuvvetleri (kN) grafiği

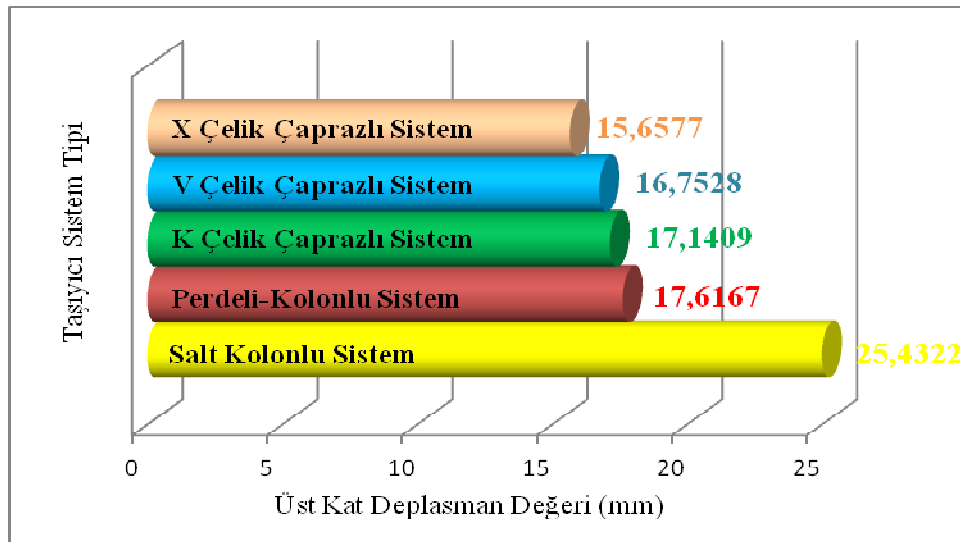
Çizelge 7.5 Zemin kat 1-1 aksındaki kolonların taban kesme kuvveti değerleri (kN)

1-1 AKSINDAKİ ZEMİN KAT KOLONLARI	SALT KOLONLU SİSTEM	PERDELİ SİSTEM	X ÇAPRAZLI SİSTEM (□150x150x10)	V ÇAPRAZLI SİSTEM (□150x150x10)	K ÇAPRAZLI SİSTEM (□150x150x10)
	TABAN KESME KUVVETİ (kN)	TABAN KESME KUVVETİ (kN)	TABAN KESME KUVVETİ (kN)	TABAN KESME KUVVETİ (kN)	TABAN KESME KUVVETİ (kN)
S01	91.94	46.43	60.03	64.61	72.02
S02	57.87	31.94	38.29	41.04	45.33
S03	104.06	53.85	68.28	73.43	81.62
S04	104.06	53.81	68.35	73.45	81.67
S05	57.64	31.82	38.13	40.87	45.14
S06	91.48	46.17	59.74	64.30	71.67

Çizelgedeki sonuçlar incelendiğinde, perdeli-kolonlu yapıdaki perde elemanların deprem yükünü daha çok almasından dolayı, 1-1 aksı kolonlarına gelen kesme kuvveti değerlerinin diğer yapılara kıyasla daha az olduğu görülmektedir.

Ek.6'da perdeli-kolonlu, Ek.7'de salt kolonlu, Ek.8'de X şeklindeki çelik çaprazlı, Ek.9'da V şeklindeki çelik çaprazlı, Ek.10'da K şeklindeki çelik çaprazlı betonarme sistemlerin 1-1 akslarındaki kolonlarında, analiz sonrasında oluşan kesme kuvvet değerlerinin durumları gösterilmiştir.

Perdeli-kolonlu, salt kolonlu ve çelik çapraz ilaveli betonarme sistemlerin; x yönündeki deprem kuvveti etkisinde oluşan, en üst kat yer değiştirme değerleri incelenmiştir. Bu değerler Şekil 7.19'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 7.19 Farklı sistemlerin deprem kuvveti (Ex) etkisinde oluşan en üst kat deplasman değerleri (mm)

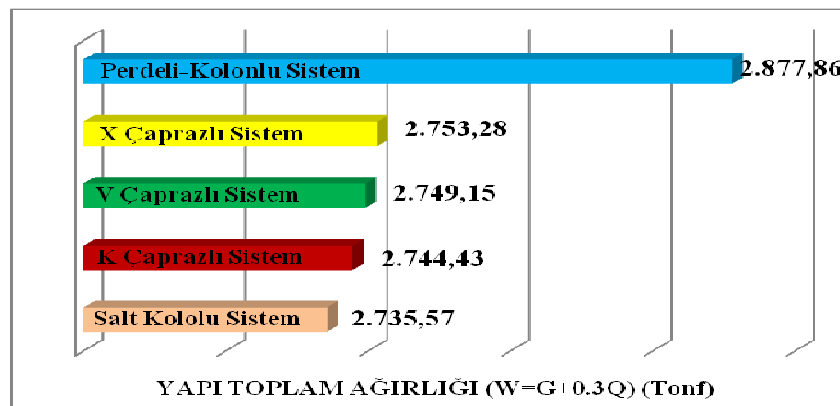
Şekildeki sonuçlar incelendiğinde; X şeklindeki çelik çaprazlı betonarme yapının depremde daha çok rijit davrandığı görülmektedir. Örneğin; X çelik çaprazlı sistemde yanal ötelenme değeri 15,6577 mm bulunurken; perdeli-kolonlu sistemdeki ötelenme değeri 17,6167 mm olarak bulunmuştur. Çelik çaprazlı yapılar ile perdeli yapıdaki yer değiştirme değerleri, birbirlerine yakın değerlerde bulunmaktadır. Bu durumda perdeli sistemde deprem sırasında sağlanan rijitlik durumunun, çapraz elemanlarla da sağlanabildiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Aynı sistemlerin yapı ağırlıkları, hareketli yük azaltma katsayısı dikkate alınarak bulunmuştur. Çizelge 7.6 ve Şekil 7.20’de incelenen sistemlerin yapı ağırlıkları tonf cinsinden gösterilmiştir.

Çizelge 7.6 Yapıların toplam ağırlıkları (Tonf)

YAPI TİPİ	YAPI TOPLAM AĞIRLIĞI (Tonf)		
	ÖLÜ YÜK (G)	HAREKETLİ YÜK(Q)	$W=G+0.3Q$
X Çelik Çaprazlı Sistem (□150x150x10)	2.654,05	330,75	2.753,28
V Çelik Çaprazlı Sistem (□150x150x10)	2.649,92	330,75	2.749,15
K Çelik Çaprazlı Sistem (□150x150x10)	2.645,20	330,75	2.744,43
Salt Betonarme Kolonlu Sistem	2.636,34	330,75	2.735,57
Perdeli-Kolonlu Sistem	2.778,63	330,75	2.877,86

Çizelgedeki değerler incelendiğinde; perdeli-kolonlu sistemde en çok (2.877,86 t), salt kolonlu sistemde ise en az (2.735,57 t) yapı ağırlığı değerleri bulunmuştur. Çelik çaprazlı yapılarda deprem yükü değerleri ve temele aktarılan yük değerleri, özellikle perdeli sisteme göre daha az olmaktadır. Örneğin; perdeli sistemin yapı ağırlığı 2.877,86 tonf iken, V-çaprazlı sistemin yapı ağırlığı 2.749,15 tonf olarak bulunmuştur. Bu durumda çaprazlı sistemlerde temel hesabındaki kesit boyutlarının azalacağı sonucu ortaya çıkmaktadır. Böylece çok katlı çelik çaprazlı yapıların temelleri tasarlanırken, diğer yapılara oranla daha küçük temel kesitler bulunacak ve yapılardaki maliyetin azalması sağlanacaktır. Dolayısıyla çelik çaprazlar, çok katlı yapılarda önemli bir avantaj haline gelmektedir.



Şekil 7.20 Farklı sistemlerdeki yapıların toplam ağırlıkları (Tonf)

7.2.3 Betonarme yapıya farklı kesit boyutlarında çelik çapraz elemanların eklenmesi durumu

Perdelerin kaldırılmasıyla oluşturulan salt kolonlu yapıya farklı kesit boyutlarında çelik çapraz elemanlar X, ters V ve K şeklinde eklenmiş (Bkz. Şekil 7.15) ve birbirleriyle yer değiştirme değerleri yönünden karşılaştırılmıştır (Çizelge 7.7).

Çizelge 7.7 Farklı kesitlerdeki çelik çaprazlı sistemlerin Ex kuvvetindeki deplasman değerleri

KESİT TİPİ	DEPLASMAN DEĞERLERİ (ux) (mm)				
	Salt Kolonlu Sistem	Perdeli-Kolonlu Sistem	X Çelik Çaprazlı Sistem	V Çelik Çaprazlı Sistem	K Çelik Çaprazlı Sistem
Betonarme Sist.(C25)	25,4322	17,6167			
□ 120x120x10 (Fe37)			16,1212	17,2580	Kesit yetersiz
□ 150x150x10 (Fe37)			15,6577	16,7528	17,1409
□ 175x175x10 (Fe37)			15,3524	16,3917	16,8183
□ 200x200x10 (Fe37)			14,8475	16,0819	16,5453

Bu çizelgeye göre; çapraz kesitin boyutu arttırıldıkça; çaprazlı yapı depremde daha çok rijit davranış göstermektedir. Örneğin; V şeklindeki çelik çaprazlı sistemde, çapraz eleman kesiti □120x120x10 mm olarak seçildiğinde yapıda çıkan deplasman değeri 17,2580 mm iken; çapraz eleman kesiti □175x175x10 mm olarak seçildiğinde yapıdaki deplasman değeri 16,3917 mm bulunmaktadır.

Örnek olarak; çapraz kesit □200x200x10 mm olarak seçildiğinde çaprazlı yapılarda bulunan deplasman değerleri; X şeklindeki çelik çaprazlı yapıda 14,8475 mm, V şeklindeki çelik çaprazlı yapıda 16,0819 mm, K şeklindeki çelik çaprazlı yapıda ise 16,5453 mm olarak bulunmaktadır. Buna göre çelik çaprazlı yapılar arasında depremde en iyi davranışı, X şeklindeki çelik çaprazlı yapıların gösterdiği sonucuna ulaşılmaktadır.

Aynı sistemlerin ağırlık değerleri birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Çizelge 7.8).

Çizelge 7.8 Farklı kesitlerdeki çelik çaprazlı sistemlerin yapı ağırlığı değerleri

KESİT TİPİ	YAPI AĞIRLIĞI (W=G+0.3Q) (tonf)				
	Salt Kolonlu Sistem	Perdeli-Kolonlu Sistem	X Çelik Çaprazlı Sistem	V Çelik Çaprazlı Sistem	K Çelik Çaprazlı Sistem
Betonarme Sist.(C25)	2735,57	2.877,86			
□ 120x120x10 (Fe37)			2749,48	2746,24	Kesit yetersiz
□ 150x150x10 (Fe37)			2753,28	2749,15	2744,42
□ 175x175x10 (Fe37)			2756,44	2751,57	2746,00
□ 200x200x10 (Fe37)			2759,60	2753,99	2747,58

Çizelgedeki sonuçlar incelendiğinde; çelik çaprazlı betonarme yapılar arasında; K şeklindeki çelik çaprazlı yapılar, temele daha az yük miktarını aktarmaktadır. Örneğin; çelik çapraz kesiti □150x150x10 mm olarak seçildiğinde; X şeklindeki çelik çaprazlı yapıda 2753,28 tonf, V şeklindeki çelik çaprazlı yapıda 2749,15 tonf, K şeklindeki çelik çaprazlı yapıda 2744,42 tonf yapı ağırlığı değerleri bulunmaktadır. Ayrıca tablodaki değerlerden; çelik çaprazlı yapıların (X, V, K), perdeli sisteme göre daha az yapı ağırlığına sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

BÖLÜM 8

SONUÇ ve ÖNERİLER

Yapılan incelemeler sonucunda, çelik çaprazlı yapıların perdeli-kolonlu sisteme göre, deprem sırasında daha çok rijit davranış gösterdiği anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 7.19). Bu karşılaştırma yapılırken, esas ele alınan projedeki perdeler kaldırılıp; yerlerine yapının emniyetini sağlayan en küçük kesitli kolonlar eklenmiş ve oluşturulan bu yapıya değişik tipteki (X, K, V şeklinde) sabit kesitli ($\square 150 \times 150 \times 10$ mm) çelik çaprazlar ilave edilmiştir (Bkz. Şekil 7.14 ve Şekil 7.15). Seçilen minimum kesitli kolonlara rağmen; çaprazlı sistemlerde bulunan deplasman değerleri, perdeli-kolonlu sistemde bulunan deplasman değerlerinden daha azdır. Örneğin; deprem kuvveti etkisi altında salt kolonlu yapıda 25,4322 mm, perdeli-kolonlu yapıda 17,6167 mm ve X şeklindeki çelik çaprazlı yapıda 15,6577 mm deplasman değerleri bulunmuştur. Farklı şekillerdeki çelik çaprazlı yapılar arasındaki deprem kuvveti etkisinde, K şeklindeki çaprazlı yapıda 17,1409 mm, V şeklindeki çaprazlı yapıda 16,7528 mm, X şeklindeki çaprazlı yapıda ise 15,6577 mm en üst kat deplasman değerleri bulunmuştur. Buna göre; çelik çaprazlı sistemler içinde depremdeki yanal ötelenme değerleri göz önüne alındığında, en iyi sistemin X çelik çaprazlı sistem olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca çelik çaprazların kesit boyutları arttırıldıkça yapının yanal ötelenmesinin azaldığı ve dolayısıyla depremde daha çok rijit davranış gösterdiği görülmektedir (Bkz. Çizelge 7.7).

Çaprazlı sistemlerin yapı ağırlıkları göz önüne alındığında; çaprazlı yapılarda, perdeli sisteme kıyasla, temele daha az deprem yüklerinin etkidiği sonucuna ulaşılmıştır. Örneğin; perdeli yapının ağırlığı 2.877,86 tonf iken; K şeklindeki çelik çaprazlı yapının ağırlığı 2.744,43 tonf olarak bulunmuştur. Çaprazlı sistemler arasında da K şeklindeki çelik çaprazlı sistemin en az yapı ağırlığı değerine sahip olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 7.20). Zemin koşullarının zayıf olduğu ve buna bağlı olarak özel temel sistemlerinin gerektiği hallerde, çelik çaprazlı betonarme yapılardaki üst yapı ağırlığı, betonarme perdeli sisteme göre daha hafif olacağından; temel sisteminin maliyetinde önemli oranda azalma meydana gelir. Ayrıca yapı ağırlığı azaldıkça (W),

depremden etkilenme şiddeti de (V_c) azalır (Bkz. Denk. 4.1). Çelik çaprazlarla inşa edilen çok katlı betonarme yapıların temellerinde çıkan büyük kesitlerin küçültülmesinde ve yüksek maliyetlerin azaltılmasında; aynı zamanda daha kullanışlı ve geniş alanlar oluşturmakta çelik çaprazlar büyük bir avantaj sağlamaktadır.

Yapı ağırlığına etkisi, yapıdaki deplasman değeri, şantiyede çaprazların uygulamasında çıkan zorluklar, yapı maliyeti, yapının mimari durumu gibi özellikler dikkate alınarak; yapılarda kullanılacak değişik türdeki çelik çapraz tipine (X, V, K) karar verilebilir (Bkz. Şekil 7.15).

Betonarme yapılara eklenen çelik çaprazlar sadece mevcut betonarme yapıları güçlendirmek için değil, aynı zamanda yeni yapılacak betonarme binalarda yanıl rijitliği arttırmak için de kullanılabilir. Betonarme yapıların rijit olması, çelik yapıların da süneklik özelliği gibi avantajların bir araya getirilmesiyle; yapılarda bu sistem uygulanabilir. Örneğin; çok katlı iş merkezi veya otopark gibi yapılarda kullanılan çelik çaprazlar sayesinde betonarmedeki kolon kesitleri küçülür ve kullanılabilir hacmin büyük olması istenilen bu tarz yapılarda çaprazlar büyük kolaylık sağlar. Ayrıca mimari açıdan da çaprazların görselliğinden yararlanılabilir.

Bu çalışmada, betonarme yapıya eklenen çelik çapraz elemanlarla ilgili çalışmalar teorik olarak yapılmış olup; konuyla ilgili deneysel çalışmaların da yapılması önerilmektedir.

BÖLÜM 9

KAYNAKLAR DİZİNİ

Aiken, I., Ph. D., P. E., 2006, 8NCEE Tutorial on State of the Art Technologies, Energy Dissipation Devices, SIE inc.

Arnold, J., 1980, In Earthquakes, Failure Can Follow Form, AIA Journal, June.

Atımtay E., 2000. Açıklamalar ve Örneklerle Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik (Betonarme Yapılar) Cilt 2., Bizim Büro, Ankara.

Bayülke, N., 2004, Perde duvarlı yapıların davranışı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi İlkbahar Dönemi Seminerleri, Seminer no:1.

Büyüköztürk, O., and Güneş, O., 2004, ‘‘High-Rise Buildings: Evolution and Innovations’’ Keynote Lecture CIB 2004 World Building Congress Toronto, Ontario Canada.

Celep, Z., ve Kumbasar, N., 2004, Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul, 3.baskı, 700 s.

Celep, Z., 2009, Betonarme yapılar, Beta Dağıtım İstanbul, Beşinci baskı, 864 s.

Çelik, O., Çılı, F., Özgen, K., 1998, Seismic Behaviour of RC Framed Buildings Strengthened by Vertical Steel Bracing, Repair&Strengthening of Existing Buildings, Second Japan-TurkeyWorkshop on Earthquake Engineering, İstanbul.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.

Dolunay, M. A., 2001, ‘‘Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Etkisi Altında Dinamik Davranışı’’ Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Ün. İnşaat Müh. Anabilim Dalı.

Eşsiz, Ö., 2005, ‘‘Deprem Bölgelerinde Çok Katlı Çelik Yapı Tasarımı’’ Kocaeli Deprem Sempozyumu.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Eşsiz, Ö., 2005, ‘‘Deprem Bölgelerindeki Yapılarda Çelik Çapraz Çerçeve Sistemlerinin Avantajları’’ Kocaeli Deprem Sempozyumu.

İTÜ Betonarme Yapılar Çalışma Grubu, 2004, Betonarme Tablo ve Abaklar, İTÜ İnşaat Mühendisliği Matbaası, İstanbul.

Kıymaz, G., 2003, ‘‘Depreme Karşı Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı’’ Notları, İstanbul Kültür Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü.

Maheri MR, Sahebi A., 1995, Experimental investigation of steel-braced reinforced concrete frames. In: Proceedings of 2nd International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, SEE2, vol. (I), Tehran, Iran, p. 775–84.

Maheri M. R., Sahebi A., 1997, Use of steel bracing in reinforced concrete frames, Engineering Structures vol 19, No:12, p. 1018-1024.

Maheri M. R., Hadjipour A., 2003, "Experimental investigation and design of steel brace connection to RC frame" Engineering Structures 25, p. 1707-1714.

Mofid, M., and Khosravi, P., 2000, ‘‘Non-linear analysis of disposable knee bracing,’’ Computers & Structures, Volume 75, Issue 1, p. 65-72.

Nashed, F., 1996, Time Saver Details for Exterior Wall Design, Mc Graw Hill, New York.

Özgen, A., Uzgider, E., Arda, T.S., 1989, Çok Katlı Çelik Yapılar. IV Çelik Yapılar Semineri. İ.T.Ü. Vakfı ve İnşaat Fakültesi. 205-238, İstanbul.

Öztürk, T., 2005, Betonarme binalarda deprem perdelerinin yerleşimi ve tasarımı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Anabilim Dalı, 28 s.

Paulay, T., and Priestly, M.J.N., 1992, Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building, John Wiley & Sons Inc., USA.

Rai, C. D., 2005, ‘‘IITK- GSDMA Guidelines for Seismic Evaluation and Strengthening of Existing Buildings’’ Provisions with commentary and explanatory examples, Indian Institute of Technology Kanpur.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

SAP2000 Advanced v.14.0.0 Structural Analysis Program, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.

Shahrooz, B. M., Deason, J. T., Tunç, G., February 2004, Outrigger Beam-Wall Connections. I: Component Testing and Development of Design Model, Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No. 2, p. 253-261.

Shahrooz, B. M., Tunç, G., Deason, J. T., February 2004, Outrigger Beam-Wall Connections. II: Subassembly Testing and Further Modeling Enhancements, Journal of Structural Engineering, Vol. 130, No. 2, p. 262-270.

Taranath, S., 1989, Structural Analysis and Design of High Rise Buildings, Mc Graw Hill, New York.

Taşkın, K., Yardımcı N., Karadoğan, F., 2007, ‘‘Betonarme çerçevelerin çelik çaprazlı sistemlerle güçlendirilmesi’’ Yapı ve deprem mühendisliği Laboratuvarı İTÜ, 2. Çelik Yapılar Ulusal Sempozyumu İMO Eskişehir Şubesi.

Tunç, G., Deason J., Shahrooz, B. M., 2004, Structural Wall-Steel Frame Hyrid Buildings: Connections and System Behavior, University of Cincinnati USA, , ASCE Conference Proceeding Paper, Composite Construction in Steel and Concrete IV, p. 971-982.

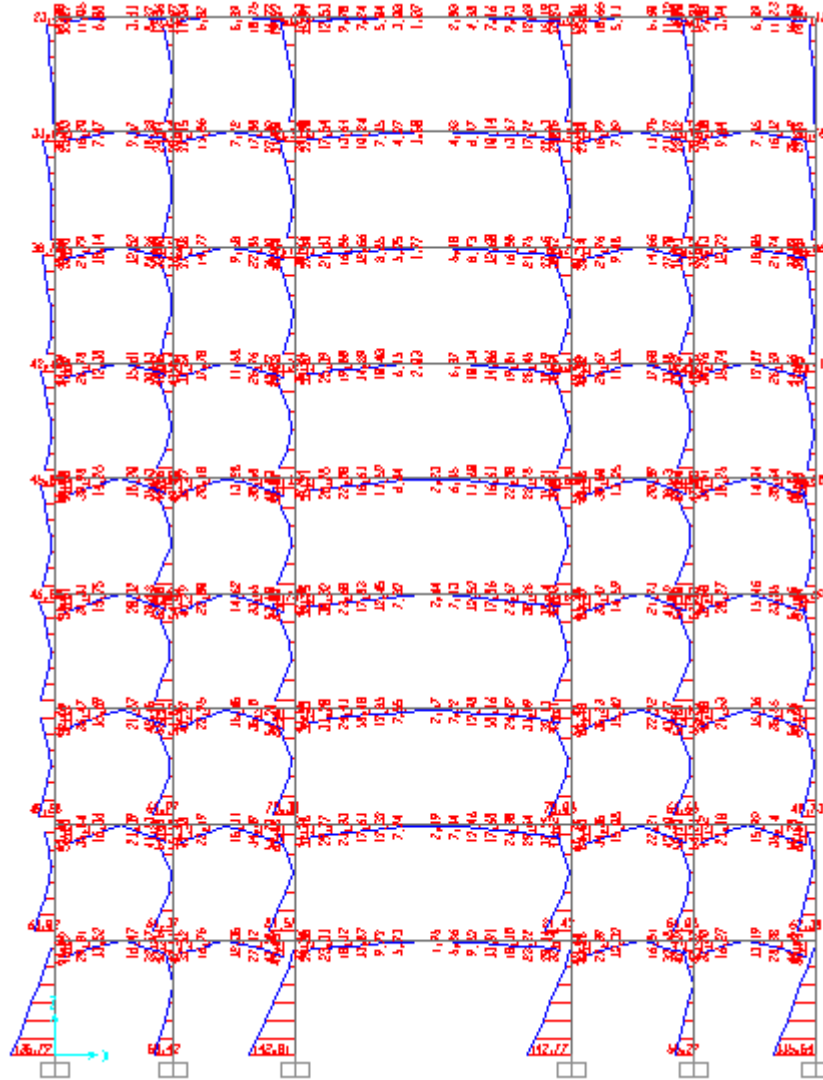
TS500 (2000), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS648 (1980), Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

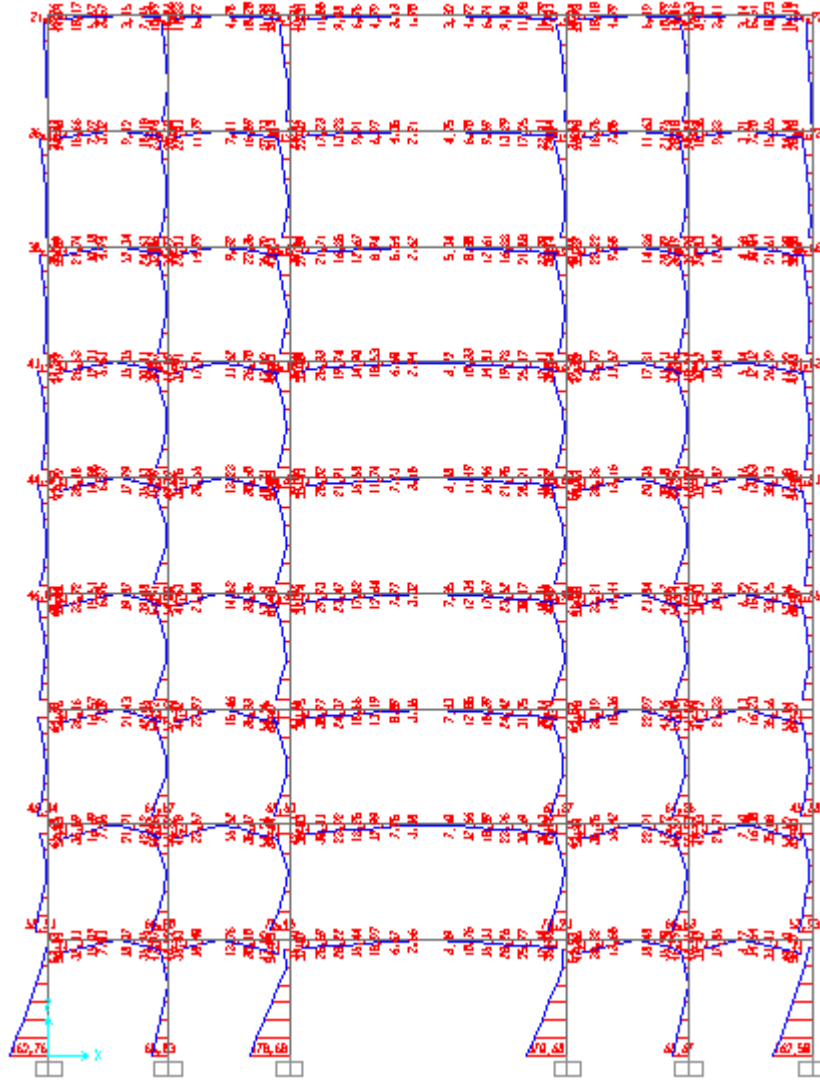
EKLER

- EK-1 Perdeli-Kolonlu Betonarme Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)
- EK-2 Salt Kolonlu Betonarme Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)
- EK-3 X Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)
- EK-4 V Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)
- EK-5 K Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)
- EK-6 Perdeli-Kolonlu Betonarme Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)
- EK-7 Salt Kolonlu Betonarme Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)
- EK-8 X Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)
- EK-9 V Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)
- EK-10 K Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)

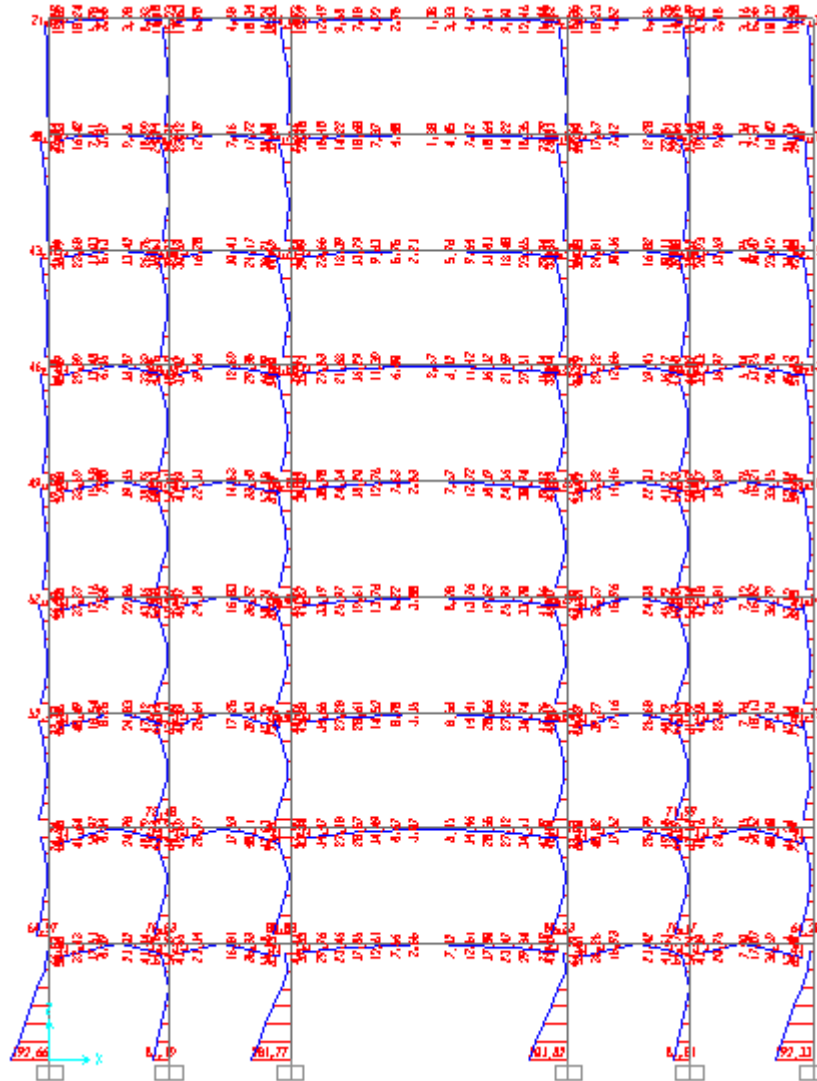
EK-1 Perdeli-Kolonlu Betonarme Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)



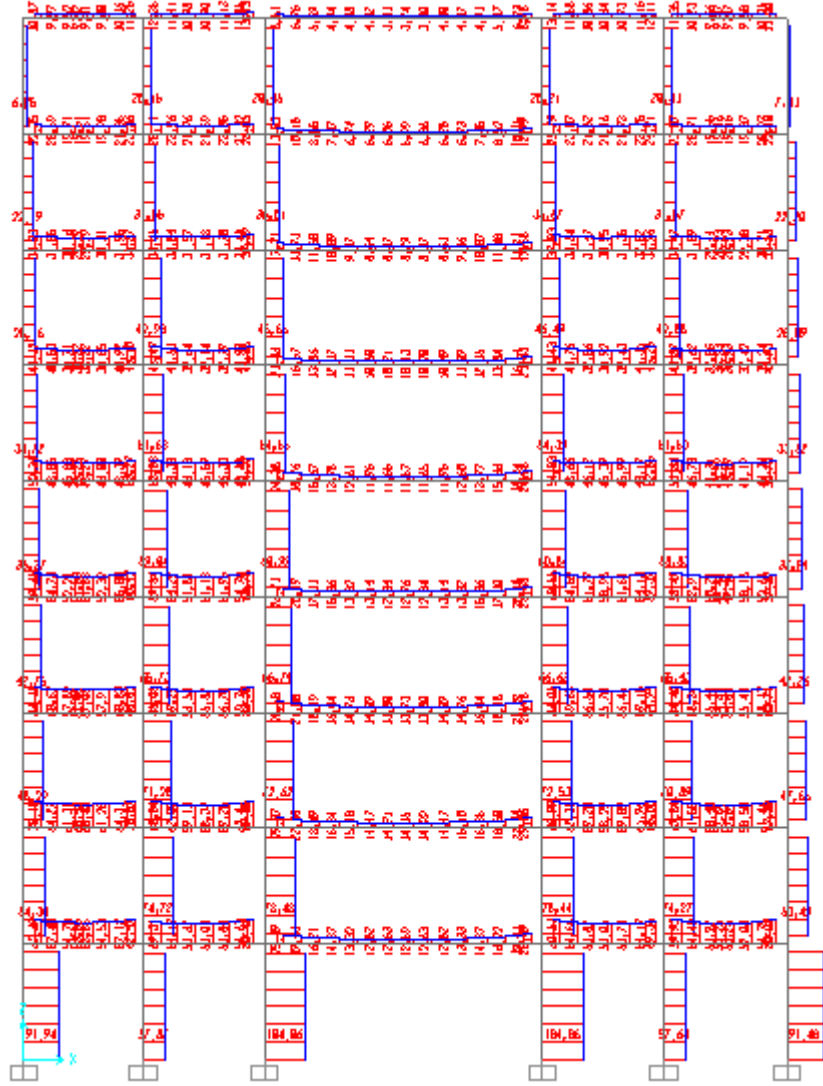
EK-3 X Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)



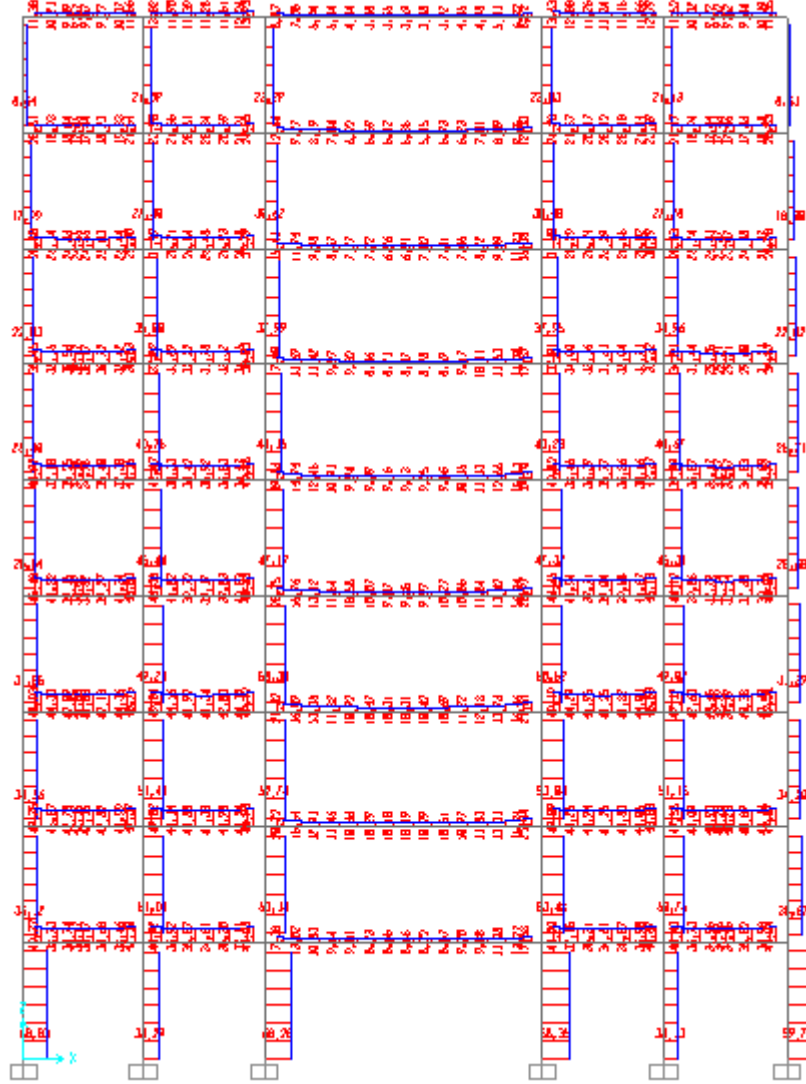
EK-5 K Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Moment Değeri (kN.m)



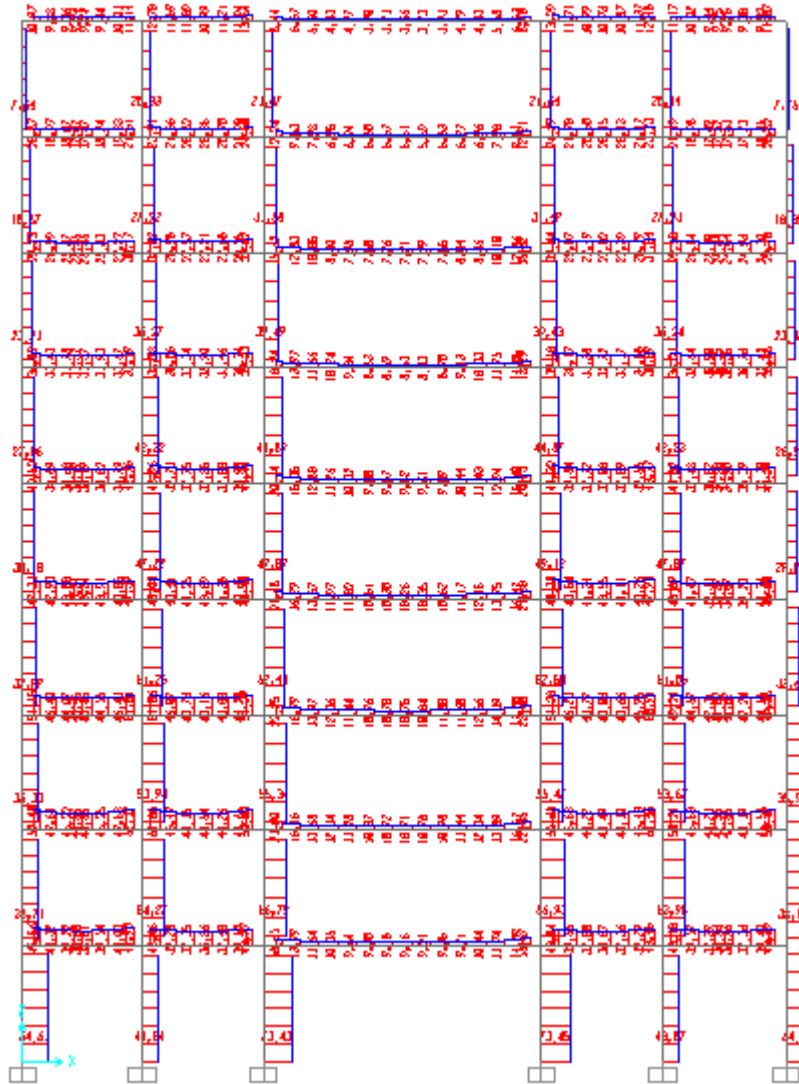
EK-7 Salt Kolonlu Betonarme Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)



EK-8 X Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)



EK-9 V Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)



EK-10 K Şeklindeki Çelik Çaprazlı Yapıda X Yönü Deprem Kuvveti Etkisindeki 1-1 Aksında Oluşan Kesme Kuvvet Değeri (kN)

