

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PREFABRİKE YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI
TASARIMI, ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş.Müh. Dilek BEKİROĞLU**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2006

**PREFABRİKE YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI
TASARIMI, ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Dilek BEKİROĞLU
501001183

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2006

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Tülay Aksu ÖZKUL (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Necdet TORUNBALCI (İ.T.Ü.)

OCAK 2006

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, prefabrike yapıların depreme dayanıklı tasarımının irdelenmesi hedeflenmiş, TDY'98, Amerika deprem yönetmeliği (UBC'97) ve Avrupa Birliği deprem yönetmeliğindeki (Eurocode-8) prefabrike binalar için olan deprem şartları gözden geçirilmiştir.. Ayrıca prefabrike yapıların deprem davranışları incelenmiş ve onarım ve güçlendirme çalışmaları hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmalarımın her aşamasında benden sonsuz yardımlarını esirgemeyen, bana her konuda destek olan değerli hocam Sayın Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK'e, aileme ve AGB Mühendislik Ltd. Şti. çalışanlarına teşekkür ederim.

Aralık 2005

Dilek BEKİROĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. PREFABRİKASYON	2
2.1 Tanım	2
2.2 Tarihçe	2
2.3 Mimari ve Prefabrikasyon	3
2.4 Avantajları ve Dezavantajları	6
2.4.1 Avantajları	6
2.4.2 Dezavantajları	7
2.5 Türkiye’de Prefabrikasyon	8
3. PREFABRİKE ELEMANLAR VE SİSTEMLER	10
3.1 Prefabrike Elemanlar	10
3.1.1 Kolonlar	11
3.1.2 Kirişler	11
3.1.3 Paneller	12
3.1.4 Bağ Elemanları	12
3.2 Prefabrike Taşıyıcı Sistemler	13
3.2.1 Çerçeve Sistemler	14
3.2.2 Panolu Sistemler	17
3.2.3 Hücre Sistemler	19
3.2.4 Karışık Sistemler	20
4. PREFABRİKE SİSTEMLERDE KUVVET AKTARMA MEKANİZMALARI	21
4.1 Giriş	21
4.2 Birleşimler	21

4.2.1	Tasarımda Dikkat Edilecek Hususlar	22
4.2.2	Birleşim Malzemeleri	23
4.2.2.1	Yerinde dökme birleşim betonları ve dolgu harçları	23
4.2.2.2	Birleşim metalleri	23
4.2.2.3	Mesnet yastıkları	24
4.3	Temel Bağlantıları	25
4.4	Kolon-Kolon Bağlantıları	27
4.5	Kolon-Kiriş Bağlantıları	29
4.6	Panel-Panel Bağlantıları	31
4.7	Panel-Ana Taşıyıcı Mesnet Bağlantıları	32
4.8	Taşıyıcı Duvar Panoları Bağlantıları	32
4.8.1	Yatay Bağlantılar	33
4.8.2	Düşey Bağlantılar	36
4.9	Merdiven Bileşenleri	37
5.	PREFABRİKE YAPILAR İÇİN TASARIM İLKELERİ	40
5.1	Giriş	40
5.2	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	41
5.2.1	Dayanım	42
5.2.2	Süneklik	43
5.2.3	Sınırlı Yanal Yer Değiştirme	44
5.3	Prefabrike Çerçeve Sistemlerin Tasarımı	45
5.3.1	Sistem Seçimi	45
5.3.2	Sistem Davranışı	47
5.3.3	Diyaframlar	50
5.4	Prefabrike Panolu Sistemlerin Tasarımı	51
5.4.1	Monolitik Yapı Tasarımı	51
5.4.2	Yatay Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı	52
5.4.3	Düşey Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı	53
5.4.4	Depremde Elastik Kalmayı Sağlayan Yapı Tasarımı	53
6.	PREFABRİKE YAPILARIN HESAP ESASLARININ ÇEŞİTLİ YÖNETMELİKLERE GÖRE İRDELENMESİ	55
6.1	Yönetmeliklerin Amacı Ve Kaynakları	55
6.2	Türk Deprem Yönetmeliği (ABYYHY'98)	56
6.3	Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	57
6.3.1	Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Belirlenmesi	59
6.3.2	Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması	61
6.3.3	Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi	61

6.3.4	Prefabrike Betonarme Binalara İlişkin Özel Koşullar	62
6.4	UBC'97	63
6.4.1	Statik Deprem Kuvveti Prosedürü	63
6.4.2	Taban Kesme Kuvvetinin Düşey Dağılımı	63
6.4.3	Yapı periyodunu tayini	64
6.4.4	Prefabrike binalar için özel kurallar	65
6.5	Eurocode-8'e Göre Deprem Tasarımı	67
6.5.1	Statik Deprem Kuvveti Prosedürü	67
6.5.2	Yatay Sismik Kuvvetlerin Katlara Dağılımı	68
6.5.3	Yapı Temel Periyodu	68
6.5.4	Kat Deplasmanı Sınırlamaları	68
6.5.5	Prefabrike Binalar İçin Özel Kurallar	69
6.5.6	Prefabrike bina birleşim bölgeleri için özel kurallar	70
7.	SAYISAL UYGULAMA	73
7.1	Prefabrike Çerçeve Yapılar İçin Sayısal Uygulama	73
7.1.1	Yapı Hakkında Bilgiler	73
7.1.2	Bina doğal titreşim periyodunun Hesaplanması	75
7.1.3	Deprem kuvvetleri	76
7.1.3.1	TDY' 98 'e göre	76
7.1.3.2	UBC'97'ye göre	76
7.1.3.3	Eurocode-8'e göre	76
7.2	Prefabrike Panolu Yapılar İçin Sayısal Uygulama	79
7.2.2	Yapı Hakkında Bilgiler	79
8.	DEPREMLERDE PREFABRİKE YAPILARDA OLUŞAN HASARLAR VE ONARIM VE GÜÇLENDİRME	91
8.1	Depremlerde Prefabrike Yapılarda Oluşan Hasarlar	91
8.1.1	Yurtdışındaki Depremlerde Prefabrike Yapılarda oluşan hasarlar	91
8.1.2	Adana – Ceyhan Depremi	93
8.1.3	Kocaeli Depremi, 17 Ağustos 1999	95
8.1.3.1	Kocaeli Depremi'nde hasar gören prefabrike yapıların türlerine göre incelenmesi	97
8.2	Onarım Ve Güçlendirme	99
8.2.1	Prefabrike Çerçeveli Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi	100
8.2.2	Prefabrike Panolu Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi	106
8.2.2.1	Prefabrike Panolu Yapıların Onarımı	106
8.2.2.2	Prefabrike panolu yapıların güçlendirilmesi	108
9.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112

KAYNAKLAR

114

ÖZGEÇMİŞ

117

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AIJ	: Japon Betonarme Şartnamesi
ODTÜ	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PCI	: Precast/Prestressed Concrete Institute
PRESS	: Precast Seismic Structural System
SL	: Kar Yüğü
DL	: Ölü Yüğü
DSL	: Paylanmış Kar Yüğü
LL	: Hareketli Yüğü
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik
TDY'98	: Türkiye Deprem Yönetmeliğı'98
UBC'97	: Uniform Building Code'97
Eurocode'98	: European Prestandart for Earthquake Resistance of Structures
TS 498	:Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüğülerin Hesap Değerleri
TS 500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TS 3233	: Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TS 9967	: Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 6.1. Bina önem katsayısı, (I).....	57
Tablo 6.2. Hareketli yük katılım katsayısı, (n).....	58
Tablo 6.3. Etkin yer ivme katsayısı, A_0	58
Tablo 6.4. Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B)	59
Tablo 6.5. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, (R)	60
Tablo 6.6. Etkin yer ivme katsayısı, Z	65
Tablo 6.7. Zemin profil tipi.....	65
Tablo 6.8. Sismik katsayı, C_v	65
Tablo 6.9. Yakınlık katsayısı, N_v	66
Tablo 6.10. Sismik katsayı, C_a	66
Tablo 6.11. Yakınlık katsayısı, N_a	66
Tablo 6.12. Sismik kaynak tipi.....	66
Tablo 6.13. Bina önem katsayısı.....	67
Tablo 6.14. Temel zeminin sınıflandırılması.....	71
Tablo 6.15. Elastik davranışta parametreler.....	71
Tablo 6.16. Azaltma katsayısı, v	71
Tablo 6.17. Düktilite sınıfı katsayı, k_d	71
Tablo 6.18. Davranış faktörü, q_0	71
Tablo 6.19. Önem katsayısı, γ_1	72
Tablo 7.1. Deprem yükleri.....	78
Tablo 7.2. Birleşim noktalarına gelen deprem kuvvetleri.....	79
Tablo 7.3. Toplam kat ağırlıkları.....	80
Tablo 7.4.a. TDY'98'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri.....	81
Tablo 7.4.b. TDY'98'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri.....	82
Tablo 7.5.a. UBC'97'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri.....	84
Tablo 7.5.b. UBC'97'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri.....	85
Tablo 7.5.c. UBC'97'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri.....	86
Tablo 7.6.a. Eurocode 8'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri.....	88
Tablo 7.6.b. Eurocode 8'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri.....	89

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Prefabrike elemanlar.....	10
Şekil 3.2 : Büyük boy panolarla yapılan çok katlı binalarda bağ sistemi şeması.....	13
Şekil 3.3 : Üç boyutlu elemanlardan oluşan prefabrike çerçeve sistem	15
Şekil 3.4 : Tek katlı prefabrike çerçeve sistem.....	15
Şekil 3.5 : Çok katlı prefabrik çerçeve sistem.....	16
Şekil 3.6 : Panolu sistem kuruluş şeması.....	17
Şekil 3.7 : Kısa yönde düşey yük taşıyan sistem	18
Şekil 3.8 : Uzun yönde düşey yük taşıyan sistem	19
Şekil 3.9 : Her iki yönde düşey yük taşıyan sistem	19
Şekil 4.1 : Yerinde dökme çanak temel-kolon bağlantısı.....	26
Şekil 4.2 : Yerinde dökme çanak temel-kolon filizleri bağlantısı.....	26
Şekil 4.3 : Temel-kolon kuru birleşimi.....	27
Şekil 4.4 : Kolon-kolon bağlantıları.....	28
Şekil 4.5 : Sonradan betonlanan rijitleştirilmiş kolon-kolon birleşimi.....	28
Şekil 4.6 : Kısa konsollu kolon - neopren plak – giriş arasındaki bağlantı....	29
Şekil 4.7 : Kolon-kiriş ek yeri.....	30
Şekil 4.8 : Kamalı birleşim.....	31
Şekil 4.9 : Düzlemsel elemanların arasındaki bağlantılarda, kuvvet etki tiplerine göre alınabilecek önlemlerden bazıları.....	33
Şekil 4.10 : Döşemelerin mahal içindeki bağlantı örnekleri	34
Şekil 4.11 : Taşıyıcı duvar panelleri üzerinde yapılan döşeme bağlantıları.....	35
Şekil 4.12 : Üstüste gelen duvar panellerinin kaynaklı bağlantısı.....	35
Şekil 4.13 : Duvar panelleri arasında yapılan düşey bağlantılar.....	37
Şekil 4.14 : En yaygın merdiven uygulamaları.....	38
Şekil 4.15 : Taşıyıcı duvar ve sahanlık döşemesi arasındaki bağlantı çeşitleri	39
Şekil 4.16 : Merdiven kolunun yarım sahanlık ve tam sahanlık bölümü ile birlikte uygulaması.....	39
Şekil 5.1 : Eğilme Etkisindeki Kiriş.....	42
Şekil 5.2 : Bitişik düzende yapılmış çerçeveler	46
Şekil 5.3 : Planda simetrik olmayan çerçeveler.....	46
Şekil 5.4 : Kolon ve kiriş birleşim yerini düşürmeye çalışan kuvvet ve karşı kuvvetler, eksen yönünde.....	47
Şekil 5.5 : Kolon ve kiriş birleşim yerini düşürmeye çalışan kuvvet ve karşı kuvvetler, eksene dik yönünde.....	47
Şekil 5.6 : Moment transfer edebilen ve edemeyen çerçeveler	48
Şekil 5.7 : Çerçevelerin eşit yatay yükler altında karşılaştırılması.....	48
Şekil 5.8 : Çok katlı çerçeve.....	48
Şekil 5.9 : Prefabrike panolu yapıların deprem davranışları	49
Şekil 5.10 : İç aks kolon-kiriş birleşiminde oluşan etkiler.....	52
Şekil 7.1 : Örnek yapı planı.....	74

Şekil 7.2	: Örnek yapının ön görünüşü.....	75
Şekil 7.3	: TDY'98'e göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin kat adetleri ve zemin türlerine göre değişimi.....	83
Şekil 7.4	: UBC'97'e göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin kat adetleri ve zemin türlerine göre değişimi.....	87
Şekil 7.5	: Eurocode 8'e göre hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin kat adetleri ve zemin türlerine göre değişimi.....	90
Şekil 8.1	: Romanya depreminde panolu yapılarda oluşan hasarlar.....	92
Şekil 8.2	: Adana Organize Sanayi bölgesinde inşa halinde hasar gören prefabrik bina.....	94
Şekil 8.3	: 1999 Kocaeli depreminde sıklıkla görülen kolon hasarı.....	96
Şekil 8.4	: Prefabrik çerçeve yapıların yıkılma biçimleri.....	96
Şekil 8.5	: 1999 Kocaeli depreminde yıkılan bir prefabrik yapı.....	97
Şekil 8.6	: Filizlerin uçlarının bulonlu yapılması.....	101
Şekil 8.7	: Kiriş yan levhalarının mesnet levhalarına kaynaklanması.....	101
Şekil 8.8	: Kirişin çelik bir yuvaya oturması ve ortasından geçen bir pimle bağlanması.....	102
Şekil 8.9	: Kirişin mesnete oturduktan sonra kaynaklı levhalarla sarılması...	102
Şekil 8.10	: Kiriş ucunu ve konsolu kimyasal dubeller kullanılarak çelik levhalarla birleştirilmesi.....	103
Şekil 8.11	: Örnek bir kolon mantolaması kalıp planı.....	104
Şekil 8.12	: Prefabrik çerçeve yapıların ilave perdelerle güçlendirilmesi....	105
Şekil 8.13	: Prefabrik çerçeve yapıların ilave diyagonal çeliklerle güçlendirilmesi.....	106
Şekil 8.14	: Islak yatay birleşimlerde çatlak oluşumu.....	107
Şekil 8.15	: Prefabrik panolu sistemlerde düşey bağlantılarda oluşan çatlaklar.....	108
Şekil 8.16	: Pano birleşim yerlerinin paralel bulonlu çelik köşebentlerle güçlendirilmesi.....	109
Şekil 8.17	: Prefabrik panolu sistemlerin duvar ve kolon takviyesiyle güçlendirilmesi.....	110

SEMBOL LİSTESİ

A, A_c	: Betonarme kesit alanı
A₀	: Etkin yer ivme katsayısı
A(T₁)	: Spectral ivme katsayısı
a	: 1.Beton eşdeğer dikdörtgen basınç bölgesi derinliği 2.Momentin geldiği doğrultuda kolon boyutu 3.Kolonda veya perde uç bölgesinde etriye kolları arasındaki yatay uzaklık
b	: 1.Tablalı kesitlerde tabla genişliği 2.Dikdörtgen kesitli kolonlarda kolonun kısa kenarı
b_w	: Gövde genişliği
b₁	: Yuvalı temelde yuvanın iç çevre kenarlarından biri
C_a, C_v	: Etkin yer ivme katsayısına bağlı katsayılar
C_t	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde binanın birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak bulunmasında kullanılan katsayı
d	: 1.Faydalı yükseklik 2.Deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
d_e	: Elastik analizde nokta deplasmanları
d_i	: Binanın i'inci katında deprem yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
E	: Deprem etkisi
E_a	: Çeliğin elastisite modülü
E_b	: Betonun elastisite modülü
e	: Eksantrisite
F	: Zorlama (Kuvvet), Taban kesme kuvveti
F_i	: Eşdeğer deprem yükü yönteminde i'inci kata etkileyen deprem yükü
F_p	: Yapının bir parçasına etkileyen deprem yükü
f_{cd}	: Betonun hesap basınç mukavemeti
f_{ck}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
g	: Yerçekim ivmesi
G, g	: Ölü yük
H_d	: Temas yüzeyine dik çekme kuvveti, prefabrike eleman üzerindeki yatay kuvvet
H_i	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği
H_N, h_N	: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
h₁	: Yuva kenar kalınlığı
I	: 1.Bina önem katsayısı 2.Atalet momenti
k	: Kolon rijitliği
k_d	: Süneklik katsayısı
l, L	: Açıklık, eleman boyu
l_b	: Kolonun yuvalı temele giren kısmının boyu
l_k	: Burkulma boyu
M	: Eğilme momenti
m_i	: Binanın i'inci katının kat kütlesi

N	: 1.Eksenel çekme veya basınç kuvveti 2.Öngerilmeli kablo sayısı
N_v, N_a	: Deprem merkez üssünden uzaklığa bağlı etkileşim katsayıları
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
Q, q	: Hareketli yük
q_0	: Davranış katsayısı
P	: Toplam yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
S	: Zemin cinsine bağlı katsayı
$S(T)$: Spektrum katsayısı
s	: Teçhizat aralığı (Etriye vs.)
T	: Bina doğal titreşim periyodu
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
T_A, T_B, T_C	: Spektrum karakteristik periyotları
V_t, V	: Taban kesme kuvveti
W_i, w_i	: Binanın i 'inci katının, hareketli yük katsayısı katılım kullanılarak hesaplanan ağırlığı
W	: Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
Z	: 1.Yerel zemin cinsi 2.Etkin yer ivme katsayısı
z_i	: Binanın i 'inci katının kat yüksekliği
Δ, Δ_s	: Göreli kat ötelemesi
Δ_m	: Maksimum inelastik kat ötelmesi
α	: Deprem ivmesinin yerçekim ivmesine oranı
β_0	: Spekral ivme katsayısı
γ_I	: Yapı önem katsayısı
λ	: Beton bağıl yoğunluğuna bağlı katsayı
μ	: Beton dökümü ve pürüzlülüğe bağlı katsayı
μ_e	: Sürtünme katsayısı
σ	: Gerilme
v	: Azaltma katsayısı

PREFABRİKE YAPILARINI DEPREME DAYANIKLI TASARIMI, ONARIM ve GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Türkiye, topraklarının büyük kesimi deprem tehlikesi altında olan bir ülkedir. Dolayısıyla yapıların depreme dayanımını arttıran teknolojiler ülkemiz için hayati önem taşımaktadır. Bu teknolojilerden biri de prefabrikasyondur. Prefabrikasyon; binanın tamamının elemanlara bölünmesi, bu elemanların önceden üretilerek şantiyede bir araya getirilmeleri veya binanın yapı sistemini oluşturan fonksiyonel ya da fonksiyonel olmayan elemanların fabrikalarda veya şantiyelerde kurulan atölyelerde üretilerek, arsa üzerinde bir araya getirilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Özellikle 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinde meydana gelen hasarlar prefabrikasyon sistemlerinin gözden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır. Hasar olan binaların birçoğu eski Türkiye deprem yönetmeliğine (TDY'98) göre yapılmıştır. Yeni deprem yönetmeliği (TDY'98) modern ve yeterli bir deprem yönetmeliği olsa da, özellikle prefabrike çerçeve yapılarının tasarımında yetersiz ve eksik kalmaktadır.

Toplam dokuz bölümden oluşan bu çalışmada prefabrike yapıların tasarımı, onarım-güçlendirme yöntemleri üzerinde durulmuş, değişik dünya yönetmelikleri taranarak uygulamalı örneklerle farkları irdelenmiştir.

Söz konusu çalışmanın ilk iki bölümünde prefabrikasyonun tanımı yapılmış ve dünyada ve Türkiye'de gelişimi irdelenmiştir. Ayrıca mimari ile prefabrikasyon arasındaki ilişkide göz önüne alınmıştır.

Üçüncü bölümde, prefabrike elemanlar ve taşıyıcı sistemleri ana hatlarıyla tanımlanmıştır.

Dördüncü bölümde, prefabrike yapılardaki kuvvet aktarma mekanizmaları ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

Beşinci bölümde, prefabrike yapıların depreme dayanıklı yapı tasarımı, ana kurallar, prefabrike çerçeve yapılar ve prefabrike panolu yapılar olmak üzere ayrı ayrı incelenmiştir.

Altıncı bölümde, TDY'98, Amerikan deprem yönetmeliği (UBC'97) ve Avrupa Birliği deprem yönetmeliğindeki (Eurocode-8) prefabrike yapılar için verilen deprem yükleri ve hesap kuralları gözden geçirilmiştir.

Yedinci bölümde, üç farklı yönetmelikteki hesap yöntemleri dikkate alınarak biri prefabrike çerçeve ve diğeri prefabrike panolu olarak seçilen iki ayrı yapıya gelen deprem yükleri hesaplanmıştır.

Sekizinci bölümde, prefabrike yapılarda meydana gelen hasarlar, sebepleri ve dikkate alınması gerekli hususlar üzerinde durulmuştur, yurtdışında ve ülkemizde meydana gelen depremlerde prefabrike yapıların davranışları incelenmiştir. Ayrıca prefabrike yapıların onarım ve güçlendirme yöntemleri üzerinde durulmuştur.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler tezin son bölümünde özetlenmiştir.

THE DESIGN , REPAIR AND STRENGTHENING OF PREFABRICATED BUILDINGS ENABLING RESISTANCE TO EARTHQUAKES

SUMMARY

In Turkey, the majority of the land is in danger of earthquakes. Accordingly, technologies increasing the resistance of the buildings to earthquakes is a vital issue for Turkey. One of such technologies is prefabricating. Prefabricating can be defined as the combination of formerly allocated elements constructing the structure of a building at the construction plant which are functional or unfunctional elements produced individually at factories or construction sites.

Especially the damages of 1998 Adana – Ceyhan Earthquake and 1999 Kocaeli Earthquake shows how compulsory it is to examine and overview the prefabricating systems. Most of the buildings damaged during these earthquakes were built according to the old Turkish Earthquake Regulations (TDY '98). The new regulations are still not efficient enough for the design of the construction of prefabricated frames even though it is comparatively modern.

In this nine section study, the design, repair and strengthening techniques of prestressed buildings were examined and different regulations in the world were explained throughout the applied examples.

In the first two sections, you'll find the full definition of prefabricated buildings and the related developments both in the world and in Turkey. Besides the relation of architecture and prefabricated buildings is also explained in these sections.

In the third section, the prestressed elements and bearing systems were described in outlines.

Fourth section, explains and studies the mechanisms transmitting the strength in prefabricated constructions in details.

In the fifth section, the constructive design of prestressed buildings resistant to earthquakes is explained separately by means of main rules, structures with prestressed frames and buildings with prestressed panels.

In the sixth section, there is an overview on the earthquake loads determined for the prestressed buildings and the related calculation rules mentioned in TDY '98, American Earthquake regulations (UBC '97) and European Union Earthquake Regulations (Eurocode-8).

In the seventh section, considering the calculation techniques mentioned in all the three different regulations, the earthquake loads on two different buildings, one of

which is with prestressed frames and the other one with prestressed panels, were individually calculated.

In the eighth section, the damages on the prestressed buildings, the reasons of these damages and the important points that must be considered carefully were explained in details and finally the behaviors of prestressed buildings during the earthquakes in abroad and in Turkey were studied. Besides, the repair and strenghtening methods of prestressed buildings were also emphasized in this section.

The results and evaluation of the entire study is summarized in the last section of the thesis.

1. GİRİŞ

Prefabrikasyon yapı sektöründeki endüstrileşmenin sonucu olarak ortaya çıkmış bir yapı türüdür. Yapıda endüstrileşme hammaddelerden (çimento, kum, demir vs.) bitmiş ürüne (yapı) geçiş sürecinde malzeme, zaman, işçilik ve paranın en rasyonel kullanımının sağlanmasıdır. Amaç daha az işgücü ile daha kısa sürede, daha çok, daha kaliteli ve daha ucuz bir yapı üretimini gerçekleştirmektir. Ancak prefabrikasyonun endüstriyel bir anlam kazanması için imalatın mutlaka bir fabrikada seri olarak gerçekleştirilmesi ve imal edilen elemanların bir işyerine naklinin ve montajının yapılmasına bağlıdır. Aksi halde bir inşaat sahasında veya şantiye arazisinin bir köşesinde yapılan imalatın, yerine montajı bu genel prefabrikasyon inşaat tariflerine uymaz.

Son on yıl içinde ülkemizde yaşanan depremler nedeniyle sanayicinin yapıya ölü yatırım olarak baktığı günler yavaş yavaş geride kalmaktadır. Çünkü artık yatırımcı, binanın içine koyduğu makinaların, teknoloji eskimesi ile bir süre sonra değiştirilebileceğini, ancak o makinaları koruyan yapıyı değiştiremeyeceğini kavramıştır. Ayrıca karşılaştırmaların içine enflasyon olgusu da girince hızlı, kaliteli ve bakım gerektirmeyen uzun ömürlü yapı ihtiyacı ağırlık kazanmıştır. Bu özelliklerin tamamı, ancak beton prefabrikasyon yapı teknolojisiyle elde edilebilir. Çünkü ahşap, çelik ve yerinde dökme beton gibi geleneksel sistemler kullanılarak oluşturulan yapılar zaman içinde yangın, korozyon, temel oturması ve deprem gibi doğal olaylarla sınırlanmış, bakım maliyetleri ve servis ömürleri tespit edilmiştir. Prefabrikasyon teknolojisiyle yapılan bir yapıda, fabrikasyon ve yüksek kaliteli malzeme ve işçilik ile yapı ağırlığı azalmakta, dolayısıyla deprem riski ve temel oturması gibi problemler minimize edilmektedir.

Tüm bu nedenlerden dolayı prefabrike yapı teknolojisi özellikle endüstri yapılarında yaygınlaşmış ve ortaya çıkan rekabet yüzünden firmalar yeni elemanlar, yeni taşıyıcı sistemler, yeni birleşim tipleri ve yeni inşaat metotları üretmeye ve geliştirmeye başlamıştır. Bir taraftan bu konu ile ilgili teknik şartnameler hazırlanırken, diğer taraftan da elemanlar ve birleşimler üzerinde birçok deneysel araştırma yapılmıştır.

2. PREFABRİKASYON

2.1 Tanım

Prefabrikasyon prensip olarak bir fabrikada imal edilen taşıyıcı elemanların şantiyeye nakli ve montajı suretiyle yapı yapma sisteminin genel adıdır. 1947 yılında Fransa’da “Union Syndicale de la Prefabrication” un kuruluşu sırasında ise prefabrikasyon “Kullanma amacına göre dayanım, görünüm, ikamete uygunluk, konfor, süre ve en az bakım yönlerinden olağan koşullara yeterli şekilde yanıt verebilecek tutarlı bir yapım sistemi meydana getirmek üzere, elemanların çoğunluğu atölyede modern endüstriyel yöntemlerin duyarlılığı ile ve seri halinde imal edilmiş yapı türü prefabrikasyon olarak kabul edilir.” şeklinde tanımlanmıştır, [2].

Tarihsel süreç içerisinde prefabrikasyon yöntemi ahşap, taş veya metal malzemelerle gerek taşıyıcı sistem elemanı, gerekse dekoratif amaçlı olarak yapı üretiminde kullanılmıştır. Beton ve betonarmenin keşfi ile de kullanım alanı genişlemiştir. Günümüzde prefabrikasyon hem üst yapı, hem de alt yapı elemanlarının üretiminde tercih edilen bir yapı teknolojisi olmuştur. Sanayi yapıları, konut, özel amaçlı yapılar, köprü, aydınlatma direkleri vb. gibi farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Prefabrikasyon endüstrileşmiş yapı üretim sistemlerinin bugün ulaştığı en gelişmiş aşama olarak tanımlanmaktadır.

Diğer taraftan yıllar boyunca insanlar prefabrikasyona kuşkuyla yaklaşmışlardır. Prefabrik yapılardan kaçınılmasına yolaçan en önemli sebep deprem dayanımı ile ilgilidir. Deprem davranışı açısından sorun, tıpkı çelik yapılarda olduğu gibi bağlantı noktalarında yoğunlaşmaktadır. Bağlantılardaki zayıflıklar, yapının deprem davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuzluk geçmişte bir çok ülkede deprem bölgelerinde prefabrike yapıların yapımına izin verilmemesine sebep olmuştur. Bu yasaklama insanların yeniye karşı olan önyargılarından ve yeterli deneysel veri ve uygulama olmamasından kaynaklanmıştır. Son 30 yılda yapılan deneysel araştırmalar ve çeşitli uygulamalar sonunda bu yasaklar büyük ölçüde kaldırılmıştır. Yapılan deneylerde ve prefabrik binaların deprem sırasındaki

davranışları incelendiğinde iyi tasarlanıp detaylandırılmış bağlantılara sahip prefabrik çerçevelerin deprem veya depremi benzeştiren yükler altında oldukça iyi bir davranış sergiledikleri gözlenmiştir.

Prefabrik elemanlarla yapılan yapıları en genel haliyle iki türe göre ayırmak mümkündür. Bunlar geçici prefabrik yapılar ve kalıcı prefabrik yapılardır.

Geçici prefabrik yapılar daha çok şantiyelerde, inşaat süresi boyunca hizmet vermek üzere tasarlanmış yapılardır. Bir anlamda portatif ve iş bitiminde sökülüp başka şantiyeye taşınabilir.

Kalıcı prefabrik yapılar ise genellikle betonarme olarak inşa edilir. Bir kere kurulur ve kuruldukları yerde kalırlar.

Bu çalışmada, kalıcı betonarme prefabrik yapılar incelenecektir.

2.2 Tarihçe

Yapı üretimi bilinen en eski teknolojilerden biri olmasına karşın çok yavaş bir gelişim göstermiştir. Bu sebeple bugün ki anlamıyla prefabrikasyonun temelleri 19.yy'ın ortalarına doğru atılmıştır. Prefabrik yapılar ilk olarak Avrupa ülkelerinin deprem riski sıfır bölgeleri için tasarlanmış ve uygulanmıştır. Ancak 2. Dünya Savaşı'nın neden olduğu büyük yıkım sonucunda yaşamda kalan evsiz milyonlarca insan için hızlı, ucuz ve olabildiğince çok konut üretme zorunluluğu önyapım yöntemi üzerindeki çalışmaları ve uygulamaları hızlandırmış ve başta Avrupa ve Rusya olmak üzere tüm dünyaya yayılmasını sağlamıştır. Önceleri savaş sonrası doğan aciliyetten kaynaklanan sebeplerle nitelikten çok nicelik önemsenmiş, daha sonra yöntem geliştirildikçe tüm dünyada geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

Tüm bu gelişme süreci içerisindeki bazı önemli aşamalar aşağıda sıralanmıştır.

1849: Monier'in betonarme çiçek saksıları;

1891: Fransa-Biarritz'deki bir gazinoda önyapım betonarme kirişlerin kullanımı;

1900: ABD-Brooklyn'de büyük boy önyapım betonarme çatı plaklarının (1,2x5,1 m) ilk olarak kullanımı;

1906: Avrupa'da "Visintini" tipi betonarme kafes kirişin önyapımı ve geliştirilmesi;

1909: ABD-New Village’de bir endüstri binasının bütün bileşenlerinin, şantiyede önyapımla gerçekleştirilmesi;

1918: Frankfurt’ta Karl Mayer ve Münih’te Katzenberger’in ilk önyapım, taşıyıcı duvar panolu evlerin montajı

1919: Almanya’da Löser, Philipp Holzmann, Wayss und Freytag gibi firmaların önemli uygulamaları ve geliştirdikleri daha çok büyük açıklıklı binalarda uygulanan çeşitli sistemler;

1927-1929: Prof. Ernest May’in taşıyıcı duvar panolu konut sisteminin Almanya’nın bazı bölgelerinde uygulaması;

1931: Almanya’da Schlaefel sistemi, öngermeli çatı plaklarının üretimi;

1933: Freyssinet/Wayss+Freytag sistemi ile Fransa ve Almanya’da öngermeli kiriş yapımı;

1935: Moskova’da önyapım bileşenli konut üretiminin gerçekleştirilmesi;

1937: Almanya’da ilk seri olarak üretilen öngermeli Hoyer kirişi;

1938: Oel’deki bir otoban köprüsünde 33 m açıklık geçen önyapım betonarme kirişin uygulanması;

1939: Roma’da Nervi tarafından önyapım bölümlerinden oluşan, kesişmeli kafes kiriş kemerli, 36 m açıklık ve 110 m uzunluktaki uçuş hangarlarının yapımı

1945-1948: 2. Dünya Savaşı’ndan sonra Fransa, İsveç, Danimarka ve Rusya’daki önemli gelişmeler;

1953: Fransa’da Le Havre liman inşaatında 2500 adet öngermeli, önyapım betonarme elemanın kullanımı.

Ayrıca Prefabrikasyon alanındaki ilk teknik makale 1936 yılında İngiltere’de George Godwin tarafından yayınlanmıştır. RİBA (Royal Institute of British Architects) tarafından, bu katkısından dolayı madalya ile onurlandırılan Godwin’in bu makalesi, prefabrikasyon yöntemlerinin kullanımına cesaret veren ilk teknik yayındır. İzleyen yıllarda, prefabrik yapı elemanları konusunda ilk patentin yine İngiltere’de, 1844 yılında Frederick Ranson tarafından alındığı bilinmektedir. Daha sonra, 1855’de François Coignet ve 1875’te W. Henry Lascelles’in ve daha birçok teknisyenin, özellikle konut yapı sistemlerinde çeşitli patentler aldığı görülmektedir.

Öncelikle münferit patentlerle başlayan denemelerin yerini, 2. Dünya Savaşından sonra daha endüstriyel ve yaygın üretimler almış, 60 ve 70'li yıllarda ise gelişmiş ülkelerde yeterli düzeyde bir tecrübe ve bilgi birikimi oluşmuştur.

2.3 Mimari ve Prefabrikasyon

Yukarıda da belirtildiği gibi özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra ortaya çıkan ve nitelikten çok niceliğin önemsendiği süreçte yöreye ve yaşama biçimine aykırılıkları biryana, nitelikleriyle de itici bir çok yapı ortaya çıkmış ve mimarların önyapıma hep bir çekince ile yaklaşmasına sebep olmuştur. Olaya mimari açıdan bakıldığında bir yapı için en önemli sorun yapı ile gerçekleştirilen yaşama ortamının niteliğidir. Olaya mühendisler açısından bakıldığında ise durum değişik bir gidişat göstermektedir.

Günümüz dünyasında prefabrike bileşen ve sistemlerin tasarımı sırasında tasarımcının gözünününde tutması gereken en önemli iki kural “teknolojik uygunluk” ve “kitlesele üretim”dir. Fakat bu tekdüze ve aynı tip yapı üretmek anlamına gelmez. Prefabrike yapılarda çeşitli duvar düzenlerinin getirdiği tasarım olanakları, kat planlarının, bina kitlelerinin ve cephelerin tasarımında alınabilen önlemler sayesinde özgün binalar üretilebilmektedir. Prefabrike çerçeve sistemlerde ise bileşen enkesitleri ile bileşenler arası ilişkilerin uygun şekilde tasarlanması çeşitli mimari beklentilerin gerçekleştirilmesini olanaklı kılar.

Prefabrikasyonda kesin proje ve detayların üretimden önce tamamlanma gereği geleneksel inşaata nazaran çok önemli bir fark getirmektedir. Çünkü üretimin planlanmasından sonra herhangi bir değişiklik istendiğinde büyük teknik ve mali güçlüklerle karşılaşılacaktır. Bu yüzden prefabrik bir yapının tasarımını statik ve üretim uzmanlarının katılacağı bir ekiple gerçekleştirilmesi elzemdir.

Prefabrikasyon teknolojisiyle yapılacak bir yapının tasarımında mimara düşen en önemli görev, yapının modüler bir ızgaraya göre projelendirilmesi ve ölçü tekrarlarına dayandırılması gereğidir. Planı oluşturan ve tekrar eden eşit birimlerin aksel simetri yerine kaydırma ve döndürme şeklinde düzenlenmesi tercih edilmelidir. Böylece bir modüler koordinasyon sağlanacak ve gerek üretim gerekse de depolama, taşıma ve montaj aşamasında büyük kolaylıklar sağlanacaktır. Bir diğer önemli nokta ise projelendirme sırasında girintili çıkıntılı duvar perdelerinden ve düzgün olmayan kolon-aks sistemlerinden, düşük veya kademeli döşemelerden ve dik açılı olmayan

kitlesel düzlemlerden olabildiğince kaçınılması gerekliliğidir. Ayrıca kat planlarının tasarımında ıslak hacimlerin gruplandırılmasına, dolayısıyla tesisat pozisyonlarının kısıtlanmasına özen gösterilmelidir.

Mimari, bir bölgenin kültürel altyapısının aynasıdır. Çok fazla genellemeleri kabul etmez. Ancak hızla ilerleyen teknolojiyi yakalaması ve bir problemde en optimum çözümlere ulaşması gereği günümüz dünyasının kaçınılmaz bir zorunluluğudur. Bu nedenle endüstrileşmenin doğurduğu önemli gelişmelere ayak uydurabilmesi için mimarın bazı önemli ilkeleri bilerek konuya hakim olması gerekir. Prefabrik yapı tasarımı için özel bir eğitim alması, alanın tüm sorunlarını iyi bilen, yapım yöntemine hakim olan ancak yeni olanakları zorlayan, eğitilmiş ve deneyimli mimarlar yetişmelidir. Zaten mimari detaylandırma ve çeşitlilik prefabrikasyon teknolojisinin gelişmesi ve yaygınlaşması için en önemli gerekliliklerden biridir.

2.4 Avantajları ve Dezavantajları

2.4.1 Avantajları

Seri halinde yapılan imalat dolayısıyla yeni bir endüstriyel sektörün doğmuş olması neticesinde prefabrikasyon sistemlerinin getirdiği avantajlardır;

- a) Prefabrikasyon sistemleri ile imal edilen yapı elemanları laboratuvar koşullarında çok sıkı bir kalite kontrolden geçirilir. Bu da işe standart bir kaliteyi ve düzeni getirir.
- b) Fabrikada imalata inşaat sahası hazır olmadan dahi başlanabilir ve şantiyenin hazır olmasıyla beraber stoklardan karşılanan elemanlarla çok hızlı bir şekilde montaj yapılabilir.
- c) Ülke içi göçler veya doğal bir afet sonucu meydana gelen büyük konut açığı sorunlarına kısa bir sürede çözüm bulunabilir.
- d) Yapı maliyetinin önceden hesaplanabilir ve tahmin edilen maliyet ve gerçekleşen maliyet arasında çok fark bulunmaz.
- e) Seri üretim imkanı bulunur.
- f) Kaynakların verimli bir şekilde kullanılması sonucu malzeme kayıpları en alt düzeye indirilir.

- g) Üretim ve çalışma yeri iklim koşullarına bağlı değildir. Yılın her mevsimi iş devam edebilir. Böylece mevsimlik duraklamaların önüne geçilmiş olunur.
- h) Şantiyede çeşitli işlemler paralel yürütülebilir. Bu da yapım süresinin azalmasına ve işverenin kısa süresinde yapısını işletip kara geçmesine neden olur.
- i) Gerek şantiyedeki, gerekse üretim merkezlerindeki işçilerin sosyal hakları vardır ve çalışma koşulları iyileştirilmiştir.
- j) Çok ağır işçiliğe gerek duyulmaz. Ağır bedensel çalışmalar önemli bir oranda azalır.
- k) Geleneksel yapımla karşılaştırıldığında %35-40 oranında işgücü tasarrufu sağlanır.
- l) İşçilerin kendi işlerinde tecrübe sahibi olmaları sonucunda kalifiye işçi statüsüne yükselirler.
- m) Gerekiyorsa binayı ileride büyütme olanağı sağlayan veya iç fonksiyonlardaki değişikliklere uyabilecek esneklikte bir sistem seçimine olarak sağlar.

2.4.2 Dezavantajları

- a) Finansman sistemi düzenli olmayan projelerde büyük yatırım ve nakit para akışı sorunları olabilir.
- b) Eleman ve çözüm çeşitliliği geleneksel yapım sistemine göre kısıtlıdır.
- c) Özellikle nakliyenin çok uzun olduğu bölgelerde ekonomikliklerini kaybederler.
- d) Prefabrike elemanların nakliyesi sırasında taşıma problemleri olur ve özellikle ağır ve geniş elemanlarda hasar meydana gelebilir
- e) Prefabrikasyon sektöründe kalifiye eleman konusunda önemli eksiklikler vardır.
- f) Projenin mimari olarak modüler bir ızgaraya göre tasarlanması ve ölçü tekrarları tasarımcıyı kısıtlar.

2.5 Türkiye’de Prefabrikasyon

Endüstriyel yapı üretimi prefabrikasyon, 2. Dünya Savaşı’ndan sonra ortaya çıkan konut sorununun çözümüne yardımcı olmak üzere Avrupa ülkelerinde ve Rusya’da hızlı bir gelişim göstermiştir. Fakat prefabrikasyonu gereksinim haline getiren nedenler uzun yıllar Türkiye’de pek gözetilmediğinden ülkemizde prefabrike yapıların yaygınlaşması gecikmiştir. Buna bir ölçüde yönetimlerin yaptığı genel planlamalardaki yanlış değerlendirmeler sebep olmuştur. Hatta İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı’nda (1968-72), “Konut inşaatının istihdam yaratıcı ve özellikle mevsimlik işsizliği emici niteliği dikkate alınarak, bu sektörde işgücü yoğunluğuna dayanan geleneksel teknolojilerin kullanılmasına devam edilecektir. Teknolojik gelişmeler rasyonalizasyon ve standartlaşmaya yönelecek prefabrike konut yapımında, kesin zorunluluk olmadığı hallerde kaçınılacaktır” şeklinde bir strateji benimsenmiş ve prefabrikasyonun konut alanında artan ihtiyaca rağmen teşvik ve tercih edilmesi önlenmiştir.

Türkiye prefabrikasyon teknolojisiyle ancak 1960’lı yıllarda tanışabilmiş ve ilk uygulamalar tek katlı endüstri binalarında yapılmıştır. 1970’li yılların sonuna doğru enflasyondaki yükselme ve buna bağlı olarak yapı malzemesi ve işçilik maliyetlerindeki artışlar, bu maliyetlerde ekonomik çözümler sunacak yeni yaklaşımlar aramaya yönlendirmiş, bu da işverenin özellikle endüstri yapılarında prefabrikasyonu tercih etmesine etken olmuştur. Ayrıca endüstri yapılarında yapı bileşenlerinin az olması, ön yatırım maliyetinin uygun olması, standartlaştırmanın kolaylıkla sağlanması ve yatırılan paranın çabuk geri dönmesi bu alandaki gelişimi teşvik etmiştir. Son yıllardaki sanayileşme hızına paralel olarak endüstri yapılarının büyük çoğunluğu prefabrikasyon teknolojisiyle yapılmaktadır. Bu durum Türkiye’de prefabrikasyonun benimsenmesinde ve yayılmasında ve önyargıların kırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Endüstri yapılarının yanı sıra artık köprü uygulamalarında da prefabrikasyon teknolojisinin en akılcı yöntem ve en ekonomik çözüm olduğu anlaşılmış, uygulamalar hızla yayılmıştır.

Ülkemizde konut alanındaki prefabrikasyona yönelik gelişmeler, endüstri yapılarındaki gibi hızlı olmamıştır. Prefabrikasyonun yararlarının bilinmesine rağmen konut sektöründeki konumu etkileyen Türkiye koşulları ve sistemin özelliğinden kaynaklanan bazı faktörler nedeniyle yeterli gelişim sağlanamamıştır. Sanayileşme ile birlikte büyük kentlerdeki konut açığı zamanla artmış, fakat bu ihtiyacın yasal

olmayan konut yapım biçimleriyle giderilmesi hem konut alanındaki prefabrikasyon uygulamalarını azaltmış, hem de ülke içinde geri dönülmez bir imar düzensizliğine yol açmıştır.

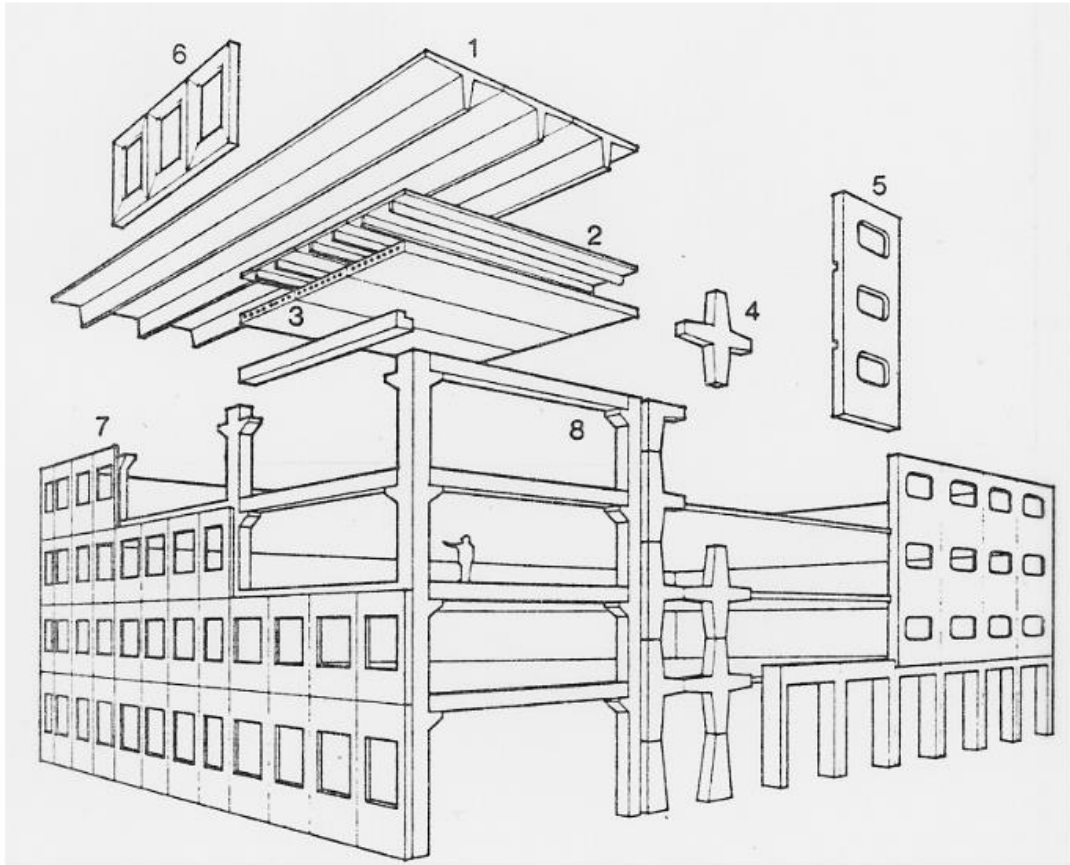
Türkiye’de konut alanında prefabrikasyon teknolojisinin gelişmemesinin bir sebebi olarak ta sosyo-ekonomik durum gösterilebilir. Hızlı finans akışının çok kısa zamanda imalata akıtılması zorunluluğu ülkemiz insanlarının maddi gücüyle çelişmekte ve konut alanında ucuzluk ve ödeme kolaylığı sağlayacak çözümlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle ülkemizde konut kredisi olanaklarının geliştirilmesi ve tüketiciye uygun bir kredi sistemi oluşturulması şarttır.

Sonuç olarak, özellikle son yıllarda yurtiçi ve yurt dışı deneyimlerle artan potansiyel ve tecrübe birikimi ülkemizde prefabrikasyona gelişmeye açık ve umutlu bir gelecek vaatmektedir. Bugün Türkiye’de 100’den fazla firma prefabrikasyon sektöründe faaliyet göstermektedir. Ayrıca 24 firmada amacı Türkiye’de prefabrikasyonu tanıtmak ve yaygınlaştırmak, prefabrikasyonun teknolojik altyapısını oluşturmak, mesleki ilerleme ve dayanışmayı sağlamak suretiyle üyelerinin teknik ve ekonomik gelişmelerini ulusal çıkarlar doğrultusunda yönlendirmek olan Türkiye Prefabrik Birliği çatısı altında bir oluşuma girmişlerdir.

3. PREFABRİKE ELEMANLAR VE SİSTEMLER

3.1 Prefabrike Elemanlar

Fabrika veya atölyelerde önceden imal edilmiş olan ve birleştirildiklerinde bir taşıyıcı sistemi meydana getiren betonarme veya öngerilmeli parçalara prefabrike eleman denir, (Şekil 3.1).



- 1- "T" Kesitli Döşeme Elemanı
- 2- Çift "T" Kesitli Döşeme Elemanı
- 3- Boşluklu Döşeme Paneli
- 4- Taşıyıcı Çerçeve Bileşeni

- 5- Çok Katlı Taşıyıcı Panel
- 6-7- Tek Katlı Prefabrike Paneller
- 8- Prefabrike Kolon ve Kiriş

Şekil 3.1 : Prefabrike Elemanlar

3.1.1 Kolonlar

Prefabrike çerçevesi sistemlerde döşeme ve kirişlerden gelen düşey ve yatay yükleri temele aktaran elemanlardır. Prefabrike kolonlar kare, dikdörtgen, T, L veya H kesitli olarak imal edilebilir, kirişlerin veya çatı elemanlarının oturmasını kolaylaştırmak veya birleşim noktalarını gizlemek amacı ile düz, dişli, oyuk, çatallı, tek veya çift konsollu olarak üretilebilirler. Konsollar kolon yapımını güçleştirmekle birlikte bağlantı kolaylıkları getirir. Kolon-kolon ve kolon-kiriş birleşimleri mafsallı veya rijit olabilir. Kolonların biçimlendirilmesi ve kesitlerinin saptanmasında, seçilmiş olan statik sistem, yapının yüksekliği, projedeki kolon açıklık ve aralıkları gibi etkenler rol oynamaktadır. Kolonlar daha çok basınca çalıştığı için öngermeli yapılmaz. Ancak çerçeve ayağı şeklinde çalışan kolonlara büyük eğilme momentleri geldiği takdirde, bu ayaklara öngerme uygulanması zorunlu olur.

Son yıllarda kolonlar, özellikle bağlantı bölgelerinde meydana gelen zayıflıkları önlemek amacıyla 20-30 m'ye kadar yekpare üretilmektedir.

TS 9967'ye göre prefabrike binalar için en az kolon boyutları;

- Dikdörtgen ve benzeri kesitlerde.....20 cm
- Profil kesitlerde,

Başlık ve gövde kalınlığı.....7 cm

Başlık genişliği..... 20 cm'dir.

TS 9967'ye göre prefabrike kolonlarda en az boyuna teçhizat çapı;

BÇ I için 14 mm,

BÇ III için 12 mm, olmalıdır.

3.1.2 Kirişler

Prefabrike çerçevesi sistemlerde kolonları birleştirip sürekliliği sağlayan sürekli, basit veya çerçeve kirişini oluşturmak amacıyla kullanılan elemanlardır. Prefabrike yöntemler sayesinde bu elemanlar, geleneksel yöntemlerin aksine statik gereksinmelere cevap verecek en ince kesit ve en uygun profillerde yapılabilmektedir. Bu elemanların kiriş-kiriş ve kolon-kiriş şeklindeki birleşimleri mafsallı veya rijit olabilir. Prefabrike kirişlerin enkesitleri herhangi bir biçimde ve yükseklikleri sabit veya değişken olabilir.

Kirişler genellikle 12-15 m'lik açıklığa kadar için normal donatılı olarak yapılmaktadır. Ancak daha büyük açıklıklar için öngerme metodu kullanılır. Öngerme metodu kirişin ince kesitli olmasını sağlar ve donatıdan büyük ölçüde tasarruf sağlar. Normal donatılı betonarme kirişler daha çok dikdörtgen kesitli yapılıdır. İçi boşluklu kirişler, daha hafif olmalarına karşın üretim sürecinde sorun olmaktadır. Geleneksel yöntemlerle yapımı çok zor olan T ve I kesitli kirişler fabrika üretimine en uygun olan kirişlerdir. Malzemenin en ekonomik şekilde kullanıldığı bu kesitler, geleneksel inşaatta kalıp, donatı ve sıkıştırma güçlüklerinden dolayı yapılamamaktadır.

3.1.3 Paneller

Paneller taşıyıcı paneller, taşıyıcı olmayan paneller ve özel işlevli paneller olarak üç grupta incelenebilir.

Taşıyıcı paneller, yüklerin yüzeyleri boyunca yayılarak diğer taşıyıcı sistem elemanlarına ve zemine aktarılması esasına bağlı olarak tasarlanan panellerdir. Taşıyıcı paneller; taşıyıcı duvar panelleri ve döşeme panelleri olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Yapı bu elemanların birbirine montajı ile inşa edilmiş olur. Paneller ayrıntılı olarak Bölüm 3.2.2'de incelenecektir.

Taşıyıcı olmayan paneller, yalnızca bölücülük işlevini üstlenirler ve dış cephede veya iç kısımda kullanılabilirler. Bunlar taşıyıcı paneller gibi dolu veya boşluklu yüzeyli olabilirler. Bu kapsamda yer alan boşluklu panellerin her ne kadar taşıyıcılık işlevleri olmasa da; kaldırma ve montaj sırasında ulaşacak gerilmelerin göz önüne alınmasıyla tasarlanmaları gerekmektedir. Taşıyıcı strüktüre montaj ile binanın dış ve iç kabuğunu oluşturan paneller farklı malzemeler ile üretilebilir.

Özel işlevli paneller, panel yüzeylerinde boruların görülmesini önlemek amacıyla geliştirilen temiz su, pis su, ısıtma, havalandırma ve elektrik tesisatını içeren panellerdir. Özel işlevli paneller, yapıda çoğunlukla düşey konumda (duvar) kullanılmakla birlikte, ısıtma-havalandırma panelleri yatay konumda (döşeme) da kullanılabilirler.

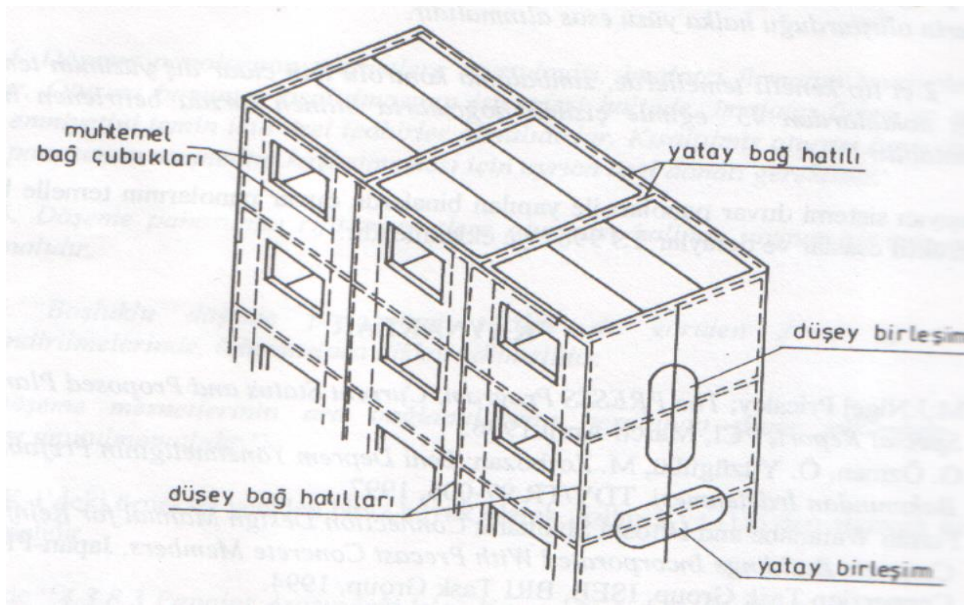
3.1.4 Bağ Elemanları

Bağ elemanları, genellikle pano uç mesnetleri ve panolara dik döşeme kenarları boyunca yerinde beton dökülerek oluşturulan, döşemede oluşan çekme kuvvetlerini,

stabiliteyi sağlayacak yapı elemanlarına aktaran elemanlardır, (Şekil 3.2). Bağ hatılları ve bağ çubukları olmak üzere çeşitlendirilir.

Bağ hatılları, genellikle kiriş, duvar, perde gibi taşıyıcı ile döşeme panel kenarları boyunca yerinde dökülerek oluşturulan elemanlardır. Döşemede oluşan çekme kuvvetlerini, stabiliteyi sağlayacak taşıyıcı sisteme aktarmaya yarar. Ankastre bağ çubuklarıyla kullanılmak şartıyla yerinde dökme veya prefabrike kirişler bağ hatılı olarak kullanılabilir.

Bağ çubukları, panellerin bağ hatılları aracılığı ile taşıyıcı sisteme bağlanmasını sağlayan lokal donatılardır. Çekme kuvvetlerini doğrudan, kesme kuvvetlerini ise kesme sürtünmesi ile mesnete aktarırlar. Bağ çubuğu kesit hesabında çeliğin kopma dayanımı kullanılır. Sünekliği arttırmak için sıcak haddelenmiş çeliklerin bağ çubuğu olarak kullanılması daha uygundur.



Şekil 3.2 : Büyük Boy Panolarla Yapılan Çok Katlı Binalarda Bağ Sistemi Şeması

3.2 Prefabrike Taşıyıcı Sistemler

Gelişen prefabrikasyon teknolojisi sayesinde elemanların fonksiyonu , temini ve montaj kolaylıkları gözönünde bulundurularak bir proje kolaylıkla hesaplanıp boyutlandırılabilir. Yani taşıyıcı sistem konusunda elimizde çok sayıda seçenek vardır. Bu çalışma kapsamında kullanım alanı daha geniş olan prefabrike taşıyıcı sistemler ana hatlarıyla incelenecektir.

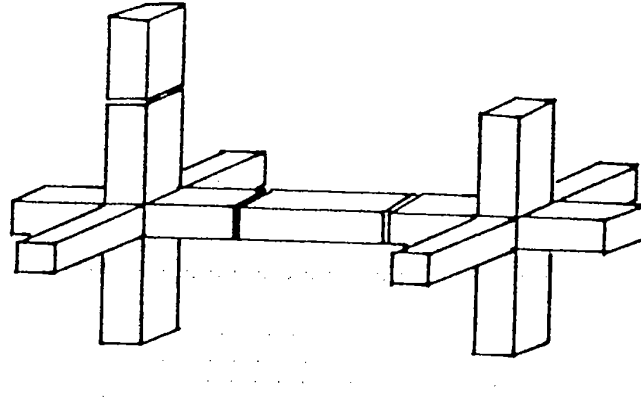
3.2.1 Çerçeve Sistemler

Prefabrike çerçeve sistemlerde yapıya etkiyen yükler kolon ve kiriş elemanların bir araya gelmesiyle oluşan çerçeveler tarafından taşınır. Yükler zemine bu iskelet vasıtasıyla aktarılır. Önyapım betonarme elemanlarla teşkil edilen çerçeve sistemleri taşıyıcı eleman türleri ve bu elemanlarla geçilebilecek açıklıklar incelendiğinde büyük bir çeşitlilik göze çarpar. Geçilebilen açıklıkların, seçilen elemanlara göre 5 ile 50 m arasında değiştiği görülür.

Prefabrike çerçeve sistemlerde taşıma ve bölme işlevleri ayrı ayrı oluşturulur. Taşıma işlevi iskeleti oluşturan kolon ve kiriş elemanlarla, bölme işlevi ise panel ve döşeme plaklarla sağlanır. Bu yüzden bu sistemler genellikle endüstri yapılarında tercih edilir. Bunun en önemli nedeni ise bölme duvarların az olması veya hiç olmamasıdır. Bölme duvarların gerekli olduğu durumlarda ise genellikle yapılan duvarların bir deprem sırasında yatay yük almamaları sağlanır. Taşıyıcı olmayan bu duvarlar, kolonların deformasyonlarına etkili olmasın diye kolon akslarından 50-60 cm kadar uzakta bir aks üzerine yapılmalıdır. Ters olarak eğer bölme duvarlar bir deprem sırasında yatay yük alabilecek şekilde tasarlanırsa buda sisteme ek bir deprem dayanımı ve güvenliği getirir.

Çerçeve sistemlerde diğer sistemlere oranla daha hafif elemanlarla büyük açıklıklar geçilebildiğinden, bina içlerinde kullanım amacına göre değişik bölmeler yapılması olanağı, yani plan esnekliği sağlayacak büyük boş mekanlar elde edilir.

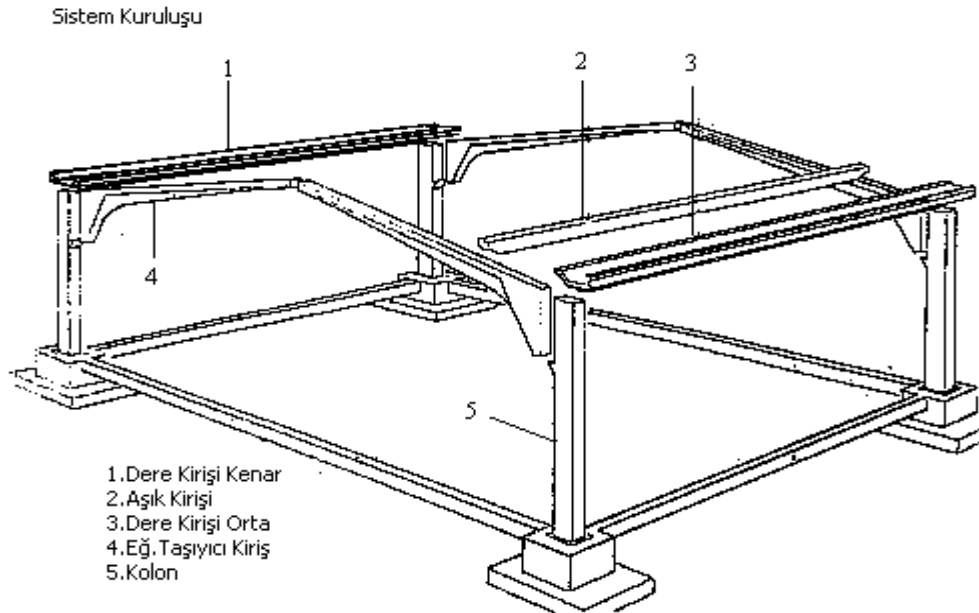
Çerçeve sistemlerde kolon ve kiriş elemanları doğrusal olabileceği gibi üç boyutluda olabilir. Üç boyutlu elemanların kullanımı ile prefabrik elemanlar birbirlerine depremden gelen etkilerin en düşük düzeyde olduğu yerde, yani kolon ve kiriş ortalarında bağlanabilirler ve böylece deprem etkilerinin en büyük olduğu yerlerde ek yeri oluşturmanın getirdiği sakıncalar giderilebilir, (Şekil 3.3). Ancak üç boyutlu elemanları üretim, nakliye ve montaj sırasında sorun çıkarması nedeniyle çok tercih edilmez. Bu sebeple kirişlerden kolonlara kesme kuvvetinin problemsiz aktarılması ve şantiyede kolaylık sağlamasından dolayı genellikle kiriş-kolon birleşim yerlerine denk gelecek şekilde kolonlara guse yapılıdır.



Şekil 3.3 : Üç Boyutlu Elemanlardan Oluşan Prefabrike Çerçeve Sistem

Prefabrike çerçeve sistemleri fonksiyonları gereği iki grupta incelenebilir.

Tek katlı prefabrike çerçeve sistemler; Özellikle büyük açıklıklı endüstriyel binalarda sıklıkça kullanılan çerçeve sistemi türüdür. Yerinde dökme yuvalı temel, prefabrike kolon(genellikle guseli), kolon üstüne veya kısa konsollarına oturan esas kirişler ve esas kirişlere oturan çatı elemanlarından örülü bir sistemdir. Kolon, kiriş ve döşeme taşıyıcı sistemleriyle üretilen yapılar elemanların hafif olmalarından dolayı üretim, taşıma ve montaj aşamasında büyük kolaylıklar sağlayarak gerek zamandan gerekse ekonomiden oldukça tasarruf sağlar.



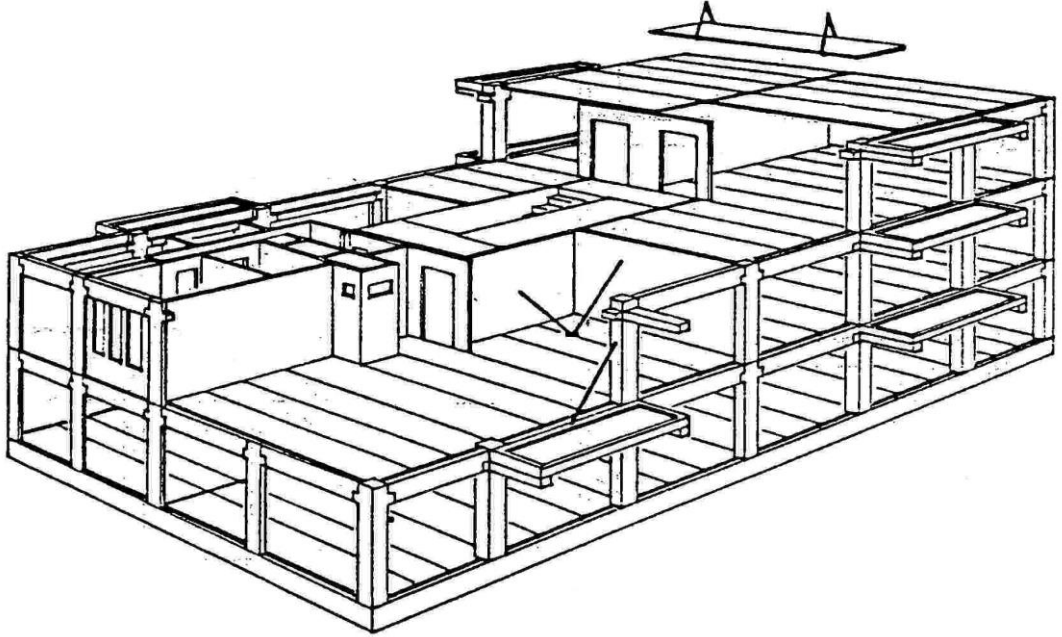
Şekil 3.4 : Tek Katlı Prefabrike Çerçeve Sistem

Ülkemizde son yıllarda yapılan endüstri binalarının hemen hemen tümü bu sistemle yapılan yapılardan oluşmaktadır.

Çok katlı çerçeve sistemler; Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğine göre prefabrike çok katlı yapılarda taşıyıcı sistem iki şekilde oluşturulabilir;

a) Perdeli mafsallı sistemler: Bağlantıları mafsallı çerçeve türü taşıyıcı sistemlere, her iki doğrultuda yatay deprem yüklerinin tamamını taşıyabilen yerinde dökme betonarme perdeler yapılması koşulu ile izin verilmektedir.

b) Ankastre sistemler: Moment aktarabilen birleşimlerle oluşturulan bina çerçevelerine, tüm bağlantıların deprem etkisiyle oluşan tersinir ve yinelenir yükler altında monolitik davranışa eşdeğer dayanım ve süneklığe sahip olmaları koşuluyla izin verilmektedir.



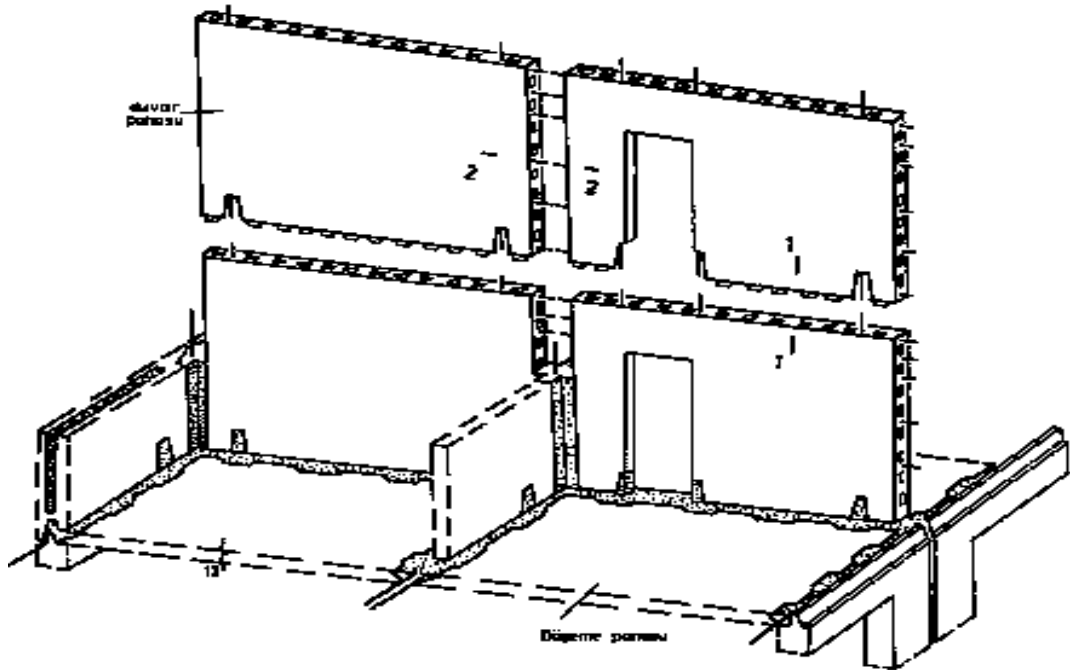
Şekil 3.5 : Çok Katlı Prefabrik Çerçeve Sistem

Şekil 3.5’de çok katlı bir prefabrike çerçeve sistemin kuruluş şeması görülmektedir. Deprem yüklerinin tamamını taşıyan perdeli sistemlerin kullanılması, uygulama zorluğu yüzünden tercih edilmemektedir. Bu tür uygulamalar, prefabrikasyonun konvansiyonel sisteme göre olan üstün özellikleri (hız, yüksek kalitede üretim, denetim v.s.) ile çelişmektedir. Ayrıca çok katlı çerçeve sistemlerde kolonlarla yapılacak birleşimlerin gerek yapının yatay yüklere karşı direncini azaltacağından, gerekse de süreklilik sağlayacak şekilde yapımının zor olduğundan tek katlı çerçeve

sistemler için Şekil 3.4 'de gösterilen sistemden kaçınılır. Ancak 4 kata kadar kolonlar ağırlık ve taşıma sınırlamaları çerçevesinde tek parça olarak imal edilebildiklerinden, 4 kata kadar olan yapılar açısından bakıldığında bu sakınca ortadan kalkmaktadır.

3.2.2 Panolu Sistemler

Panolu sistemler, birbirleri ile yatay ve düşey yönlerde bağlantıları yapılan düşey panolarla, tek veya çift yönde çalışan döşeme panolarından oluşan sistemlerdir. Bu sistem özellikle çok katlı konut türü yapılarda kullanılır. Bunun sebebi ise taşıyıcı sistemin oluşturulmasıyla birlikte cephelerin ve iç bölmelerin büyük bir bölümünün de oluşmuş olması, taşıyıcı elemanların, yani duvar ve döşeme panolarının büyük ölçüde benzer nitelikte olmasıyla üretimin seri bir şekilde yapılması ve aynı nedenlerden dolayı nakliye ve montaj sırasında da ekonomi ve zaman tasarrufu sağlamasıdır. Taşıyıcı duvar ve döşemeleri dar (50-75 cm genişlikli), orta boy (75-150 cm genişlikli) ve büyük boy (≥ 150 cm genişlikli) panellerle oluşturmak mümkündür. Ancak, stabilite sorunlarının çözümü daha kolay olduğundan, çok katlı yapılarda öncelikle büyük boy panelli sistemler uygulanmaktadır. Şekil 3.6'de panolu sistem kuruluş şeması görülmektedir.

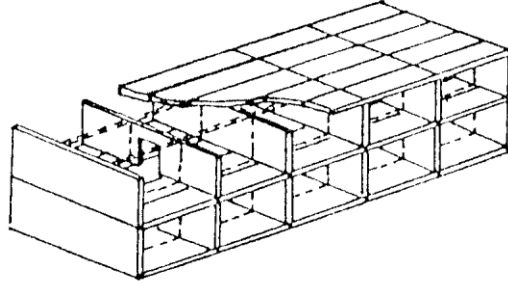


Şekil 3.6 : Panolu Sistem Kuruluş Şeması

Prefabrike panolardan yapılmış olan bir yapının taşıyıcı sistemi yığma yapılara benzer bir özellik gösterir. Betonarme panolardan oluşmuş döşemeler yüklerini duvar panolarına aktarır ve bu şekilde düşey yönde taşınan yükler duvar temellerine ulaştırılır. Duvar panoları ve döşeme panoları ek yerleri kuru veya ıslak birleşimlerle birleştirilebilir. Ancak kuru veya geçmeli birleşimlerde “aşamalı yıkılma” tehlikesi vardır. Son yıllarda yapılan uygulamalarda gerek deprem tehlikesine, gerekse de aşamalı yıkılmaya önlem oluşturmak amacıyla pano ek yerleri yerinde dökme betonla birleştirilmektedir.

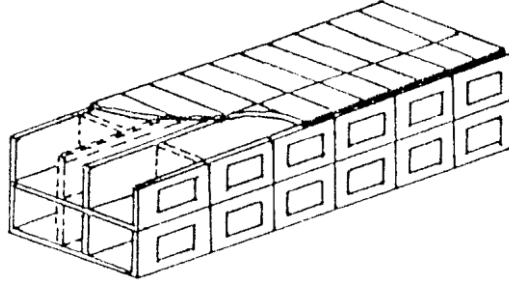
Panolu sistemler, panoların sistem içine yerleştirmeleri bakımından üçe ayrılırlar;

- i) Yapının Kısa Doğrultusundaki Panoların Düşey Yük Taşıdığı Sistemler: Bu sistemlerde Şekil 3.7’de görüldüğü gibi döşemelerden gelen düşey yükleri taşıyan duvar panoları yapının uzun eksenine dik yönde yerleştirilmişlerdir. Binanın uzun eksenine dik yönde yerleştirilmiş duvar panoları ile diğer yönde yerleştirilmiş panolar depremde gelen yatay yükleri taşırlar.



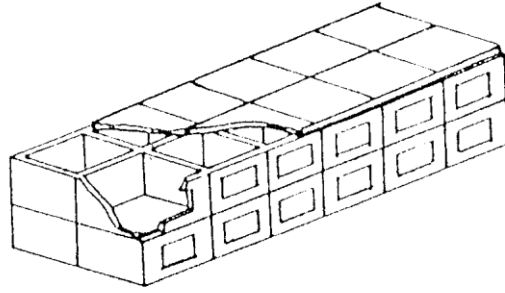
Şekil 3.7 : Kısa Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem

- ii) Yapının Uzun Doğrultusundaki Panoların Düşey Yük Taşıdığı Sistemler: Bu sistemlerde Şekil 3.8’de görüldüğü gibi döşemelerden gelen düşey yükler yapının uzun doğrultusunda yer alan duvar panoları tarafından taşınır. Yatay yükler ise her iki yönde uzanan duvar panoları tarafından taşınır.



Şekil 3.8 : Uzun Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem

- iii) İki Yönde Yük Taşıyan Sistemler: Bu tür sistemlerde Şekil 3.9’de de görüldüğü gibi döşeme panoları dört bir kenardan duvar panolarına düşey yük aktarırlar. Bütün duvar panoları hem düşeyde hem de yatayda yük taşırlar.



Şekil 3.9 : Her İki Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem

3.2.3 Hücre Sistemler

Hücre sistemler, döşeme ve duvar elemanlarının fabrikada, birlikte veya ayrı ayrı dökülüp birleştirilerek hücrelerin teşkil edildiği ve bu hücrelerin doğrama, cam ve kaplama gibi ince işleri de tamamlanmış olarak şantiyeye sevk edildiği, şantiye de ise montajı ve bağlantıları yapılarak yapının tamamlandığı sistemlerdir. Hücre sistemlerinin her birinin ağırlığı 7-50 ton arasında değişebilir.

Hücre sistemlerinde işlemin çoğu fabrikada yapıldığından şantiye işlemleri az olur ve çok küçük bir ekiple ve çok kısa bir sürede iş bitirilir. Bu sistemler şantiye olanaklarının kısıtlı olduğu, hızla sonuçlandırılması gereken yapılarda veya iklim şartlarının yapım koşullarına uygun olmadığı durumlarda tercih edilirler. Sistem temelde bir panolu sistemdir, ancak panoların montaj işlemi fabrikada yapıldığından

taşıma ve kaldırma gibi durumlarda zorluk çıkarırlar. Özellikle nakliye ve montaj sırasında çok büyük maddi yükler getirir. Fakat bu sistemlerin şantiye olanağı olmayan yerlerde kullanıldığı gözönüne alınırsa, şantiye işlerini en aza indirgediği için ekonomik problemler görmezden gelinebilir.

3.2.4 Karışık Sistemler

Yukarıda tanımlanan taşıyıcı sistemlerin çeşitli şekillerde karışımından oluşan sistemlerdir. İçlerinde çok değişik çözümler görülebilir. Örnek olarak, dış duvarları taşıyıcı panellerden, iç taşıyıcı sistemi çerçeve elemanlardan ve mutfak, banyo gibi tesisat içeren ıslak mekanları veya merdiven boşluğu gibi çekirdek oluşturacak mekanları hücrelerden oluşan bir sistem verilebilir.

4. PREFABRİKE SİSTEMLERDE KUVVET AKTARMA MEKANİZMALARI

4.1 Giriş

Prefabrike sistemlerde çok çeşitli bağlantı şekilleri ve bunların da çok değişik seçenekleri vardır. Birleşim detayları; statik sorunlar, elemanların öngermeli olup olmadığı, montaj olanakları gibi faktörler dikkate alınarak seçilmelidir.

Deprem davranışı açısından prefabrike ve konvansiyonel yapılar arasındaki en önemli farklılık, birleşim noktalarından kaynaklanmaktadır. İki prefabrike elemanın birleştiği noktalar deprem dayanım zincirinin en zayıf halkasını oluşturmaktadır. Ancak proje aşamasında gerekli detaylandırma yapıldığı takdirde, prefabrike elemanlar arasındaki bağlantılar konvansiyonel yapıma eşdeğer bir davranış gösterir. Burada eşdeğer davranış benzetmesi sadece dayanım açısından yapılmamıştır. Deprem gibi tekrarlı-tersinir etkiler altında elastik sınırlar dışında bir davranışa maruz kalan yapı elemanlarının deprem etkisi altında sünek davranmaları ve yeterli enerjiyi tüketebilmeleri de, dayanım kadar önemlidir.

Birleşim boyutlarının ve detaylandırmada kullanılan yardımcı öğelerin standardisasyonu hem üretim, hem de montaj esnasında büyük ekonomi sağlar ve yapım süresini kısaltır. Ayrıca aynı bağlantı türü ve yöntemlerinin kullanılması işçiliği azaltacağı gibi aynı zamanda işçilik kalitesini de artırır.

4.2 Birleşimler

Prefabrike yapı elemanları depremde hasar görmeyecek kadar yüksek malzeme kalitelerine ve üstün dayanım gücüne sahiptir. Ancak, birleşim noktalarındaki zayıflıklar, bu çok sağlam elemanların oluşturduğu prefabrike taşıyıcı sisteminde, çoğu zaman beklenmedik hasarlara neden olabilmektedir. Yapı elemanlarının dayanımları, taşıyıcı sistemin dayanımı için gerekli olduğu gibi, elemanların birleşim ve bağlantı bölgelerinin doğru projelendirilmesi ve detaylandırılması da elemanların

öngörülen dayanımlarının ortaya çıkması için önemlidir. Birleşim bölgelerindeki çözümler ve büyük dönmeler sistemde önemli zorlamalar oluşmadan geçmeye neden olabilir.

Prefabrike binalar ve onların tüm elemanları, aynen monolitik binalarda olduğu gibi, depreme dayanıklılık bakımından, dayanım, duktilite ve katarası deplasman kriterlerini sağlamalıdır. Ancak, prefabrike elemanların birleşim yerleri dayanım, duktilite veya deplasman bakımından, monolitik bir binanın davranışına kesinlikle benzemez. İşte bu fark, prefabrik yapılarda birleşim yerlerinin önemini derhal ön plana çıkarır. Öyle ki, prefabrik yapıların deprem güvencesi adeta birleşim yerlerinin güvencesi ile özdeşleşir. Denilebilir ki, eğer birleşim yerleri güvencede ise, prefabrik yapı da güvencededir.

4.2.1 Tasarımda Dikkat Edilecek Hususlar

Prefabrike elemanlar arasında veya prefabrike elemanlarla yerinde dökme beton arasındaki birleşimlerin ve bir birleşim çeşidi olan mesnetlerin projelendirilmesinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- a) Prefabrike elemanların bağlantı ve mesnetlendirme noktaları, yapının özelliğine göre o yerde oluşabilecek normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momenti gibi tüm zorlamaları taşınmalı ve bağlanan elemanların birinden diğerine emniyetle aktarabilmelidir.
- b) Bağlantı veya mesnet kabul edilebilir dönme, yerdeğiştirme ve deformasyonlara uygun olmalı ve bağlantıyı oluşturan elemanların rölatif deformasyonlarında kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.
- c) Bağlantılar olabildiğince sünek olmalıdır. Diğer bir deyişle, elastik deformasyondan sonra kırılma olmadan, elastik deplasmanının en az 4-5 katı kadar plastik deformasyon meydana getirebilme özelliği taşınmalıdır.
- d) Birleşim ve mesnet hesaplarında rötre, sıcaklık değişimi ve sünme etkileri hesaba katılmalı ve bu hesaplar TS 500'deki esaslara uygun olarak yapılmalıdır.
- e) Birleşim ve mesnetlerdeki elemanların tolerans sınırları içinde farklı olabilecekleri gözönüne alınmalıdır.

- f) Montaj süresi mümkün olduğunca kısa olmalı, zaman alıcı ve uğraştırıcı birleşim ve mesnet şekillerinden olabildiğince kaçınılmalıdır.
- g) Birleşim ve mesnetler kolayca kontrol edilebilmeli, ve gerekiyorsa düzeltme yapılabilmelidir.
- h) Birleşim ve mesnetler korozyona karşı korunmalı, yangına dayanıklı olmalıdır.
- i) Bağlantı ve mesnetlendirme maliyeti, yapının toplam maliyetinin yanında küçük olmalıdır.
- j) Açıkta kalan birleşim yerlerinin estetik bir görüntüde olması sağlanmalıdır.

4.2.2 Birleşim Malzemeleri

Prefabrike elemanların birleşimlerinde kullanılacak malzemelerin seçiminde en önemli unsur, sözkonusu birleşimden beklenen davranışın sağlanmasıdır. Beton ile birleşim malzemesi arasındaki bağlantı, aderans veya oturma ile sağlanır. Bağlantının sünek bir davranış göstermesi için, sınır durumunda, betondan önce bağlantı içindeki çeliğin akmaya başlaması tercih edilir. Ayrıca, gerekli mukavemetin sağlanabilmesi için, çelik bağlantı elemanlarının betona yeterli derecede kenetlenmesi önemlidir.

4.2.2.1 Yerinde dökme birleşim betonları ve dolgu harçları

Prefabrike yapılarda, elemanlar arasındaki birleşimlerde basınç ve kesme kuvvetlerinin aktarılması için genellikle yerinde dökme beton kullanılır. Kullanılan yerinde dökme betonun, TS 9967'ye göre beton sınıfı en az BS 20, ve en büyük agrega yarıçapı 15 mm olmalıdır. Sıkıştırma işlemi mümkünse vibratörle yapılır, yoksa uygun bir şekilde şişlenerek yapılmalıdır. Gerekiyorsa akışkanlığı arttırıcı katkı maddesi kullanılabilir.

Çimento, kum ve suyun karıştırılmasıyla elde edilen birleşim malzemesine ise dolgu harcı denir. Dolgu harçları prefabrike inşaatlarda genellikle yangın ve paslanmaya karşı, onarım derzlerinin kapatılmasında ve yerinde dökme birleşim betonları gibi basınç kuvvetlerinin aktarılmasında kullanılabilir. Büzülmeyi azaltmak amacıyla katkı maddesi kullanılmak istenmezse, harç mümkün olduğunca katı olmalıdır.

4.2.2.2 Birleşim metalleri

Prefabrike elemanlar arasındaki bağlantı birleşim metalleriyle çok değişik biçimlerde sağlanabilir. Bu yüzden sadece en sık kullanılanlardan birkaç örnek verilecektir.

Prefabrike elemanların birleşiminde kullanılacak çelik teçhizat çubukları TS 708'e uygun olmalıdır. Ayrıca standartlarda belirtilen kenetlenme boylarına uygun olmalıdır. Ancak bazı birleşim noktalarında yeterli kenetlenme boyuna ulaşmak mümkün olmaz. Bu hallerde kenetlenme, kanca oluşturularak, kaynaklı enine çubuk kullanılarak ve kaynaklı veya vidalı çelik plakalar vasıtasıyla sağlanabilir.

Birleşim işleminde montaj hızını arttırmak için bulonlar ve yivli birleşimlerde kullanılabilir. Ancak bu tür bağlantı sıkı imalat toleransları gerektirdiğinden dikkatli olunmalıdır. Genellikle sıkıştırma ve sürtünme kuvveti yaratmak amacıyla yüksek mukavemetli bulonlar, kolon tabanlarında kolonu temele bağlamak içinse yivli çelik çubuklar kullanılabilir. Genleşmeli ve kimyasal olmak üzere iki çeşidi bulunan dübelller ise sertleşmiş betonda açılan deliklere yerleştirilerek birleşimi sağlar.

Prefabrike elemanların birleşimlerinde kullanılan taşıyıcı özelliklere sahip çelik plakalar, I ve U kesitli çelik profiller ve benzerleri kullanılabilir. Çelik plakanın kalınlığı 4 mm'den az olmamalıdır. Gömülü çelik elemanlar ve sapmalar, çelikten imal edilmiş diğer birleşim elemanlarına vidalanmak veya kaynaklanmak üzere bir ana parça ve betona kenetlenme için, imal edilirken ana parçaya kaynaklanmış çelik bir elemandan oluşmalıdır. Sünek davranışın sağlanması için bu tür bağlantı elemanlarının betona çok iyi kenetlenmesine ve bağlantının kırılmasının betondan önce çelikte başlamasına dikkat edilmelidir.

Prefabrike elemanlar arasında moment aktaran türden bir birleşim yapılacaksa ard-germe metodu da uygulanabilir. Ard-germe için toron veya öngerme çubukları kullanılabilir. Normal koşullarda en az 5 ila 7 metrelik ard-germe toronu kullanılır. Boyutlandırma sırasında ard-germenin etkileri araştırılırken ard-germe kuvvetinin hassas olarak belirlenmesi önemlidir. Ancak, kısa toronlar söz konusu ise, ard-germe etkilerinin bulunmadığı varsayılmalı ve boyutlandırmada sadece toronun sünekliği ve çekme mukavemeti gözönüne alınmalıdır.

4.2.2.3 Mesnet yastıkları

Mesnet elemanları, gerektiğinde yük dağılımını sağlamak amacıyla prefabrike elemanların birbirleri üzerine oturdukları birleşimlerde kullanılır. Bu tür elemanlar, yatay düzlemdeki hareketlere ve dönmelere izin vererek gerilmeleri azaltırlar. Mesnetlerde kullanılacak bazı elemanlar ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

- a) Neopren Yastıklar: Bu yastıkların düşey yöndeki mukavemetleri düşük olmakla birlikte diğer yönlerde sağladıkları hareket serbestliği başka mesnet yastıklarına oranla daha yüksektir.
- b) Gelişigüzel Fiber Dizili Yastıklar: Bu tür yastıklar daha yüksek basınç mukavemeti sağlarken yatay ve dönme hareketlerindeki serbestliği neopren yastıklara oranla daha azdır.
- c) Pamuk Lifli Yastıklar: Bu tür yastıklarda pamuk elyafından dokunmuş tabakalar bulunur. Yüksek basınç mukavemeti sağlarlar.
- d) Teflon Kaplı Yastıklar: Yatay hareket serbestliğini kaymaya izin vererek arttıırırlar.

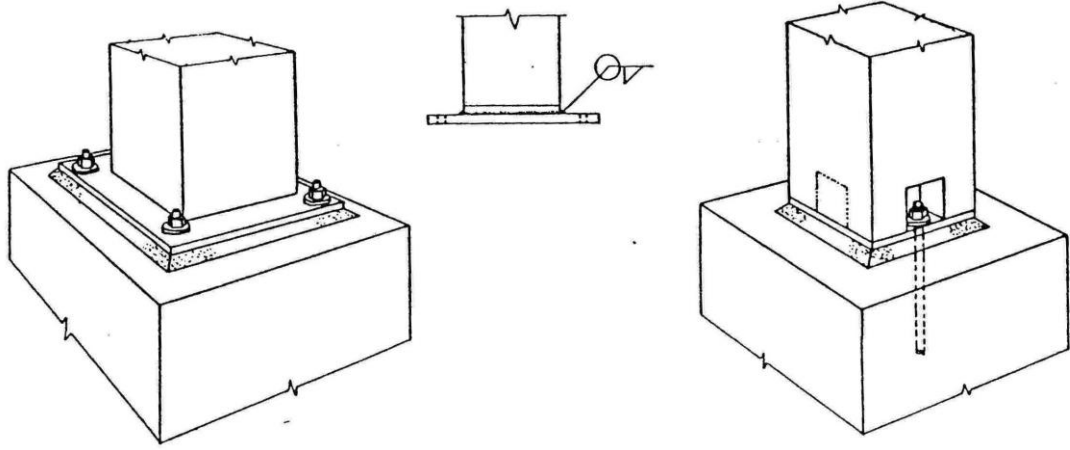
4.3 Temel Bağlantıları

Temeller taşıyıcı strüktürün ana öğelerindendir. Fakat zemin ve yükleme şartlarındaki farklılıklar standartlaşmayı önlediği ve elemanların biçim ve ağırlıkları taşıma sorunları yarattığından dolayı genellikle prefabrike olarak üretilmezler. Ayrıca panolu sistemlerde taşıyıcı duvar perdelerinin farklı oturmalara duyarlı oluşu nedeniyle, hazır temel bileşenlerinin tasmanları önleyebilecek şekilde birleştirilmeleri oldukça güçtür. Bu nedenle panolu sistemlerde yerinde dökme monolitik mütemadi veya radye jeneral tipi temeller uygulanmaktadır.

Prefabrike çerçeve elemanlı sistemlerde ise genellikle tekil temeller kullanılmaktadır. Biçim, boyut ve özellikle ağırlıkları yüzünden bu temeller çoğunlukla yerinde dökme soket temeller olarak yapılmakta ve yerinde dökme veya prefabrike bağ kirişleri ile birbirlerine bağlanmaktadır. Kolonlar çanak şeklindeki hazır temel pabuçlarına oturtulur, (Şekil 4.1). Kolonun, ankastre bir konsol kiriş gibi çalışabilmesi için, temel çanağının içine, en az 65 cm. derinliğince sokulması ve temel çanağının ankastrman momentleri alabilecek ölçüde olması gerekir. Burada yatay kuvvetin bir bölümü sürtünme ile diğer kısmı ise kolonun içine girdiği yuvanın çevresinin kesme dayanımı tarafından karşılanmaktadır. Kolondaki eğilme momenti ise temel yuvası çevresinde eğilme momenti yaratmaktadır. Temel çanağının kenar duvarları oluşan yatay kuvveti taşıyabilecek güçte olmalıdır. Aynı zamanda sömelin kendisinin yükleri zemine aktaracak taşıma gücünde olması ve kesme yada eğilmeden dolayı kırılma ihtimalinin bulunmaması gerekmektedir. Kolonun içine girdiği çanağın derinliği kolonun en

arasında kalan 5-10 cm'lik aralığa harç dökülüp birleşim tamamlanabilir. İstenirse yaban betonu içine pimli bir çelik plaka veya ortası oyuk profilli bir çelik plaka yerleştirilip, kolonun alt tabanında oyuk veya pim bırakmak ve bu sayede merkezileştirmeyi sağlamak mümkündür, (Şekil 4.2).

Temel-kolon kuru birleşiminde kolon tabanına kaynaklanmış kolonla aynı büyüklükte veya kolondan daha geniş bir çelik levha temelde bırakılan ankraj bulonları yardımıyla temelle birleştirilir (Şekil 4.3). Ankraj bulonları kolonda bir yuva içine alınabildiği gibi kolon dışına da yerleştirilebilir. Çelik kısımlar korozyona karşı korunmalıdır. Temel levhasının moment taşıma gücü az olduğundan bu tür bir temel-kolon birleşiminin deprem bölgelerinde yatay yük almayan çerçevelerde kullanılması düşünülebilir.

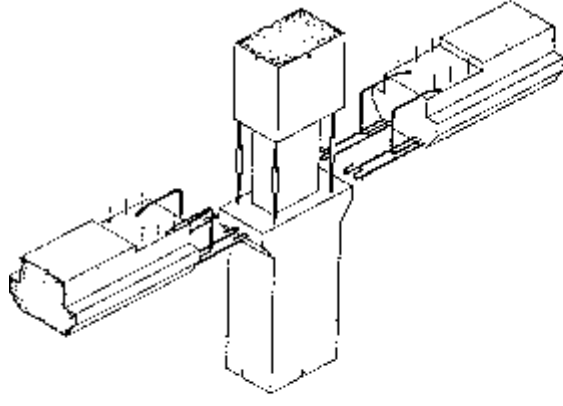


Şekil 4.3 : Temel-Kolon Kuru Birleşimi

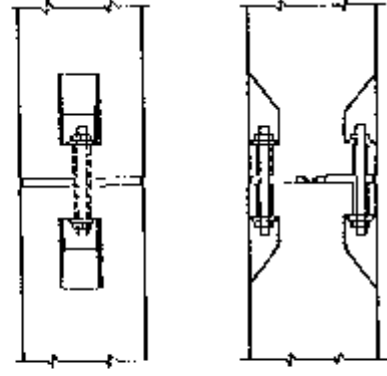
Türkiye’de en yaygın kullanılan birleşim şekli yerinde dökme soket temel ile kolonun dolgu betonu ile birbirlerine bağlandığı moment aktaran birleşimlerdir.

4.4 Kolon-Kolon Bağlantıları

Kolon-kolon bağlantıları genellikle kolon ortalarında yada kiriş seviyesinde yapılır (Şekil 4.4). Bu birleşimlerde kuru, yerinde dökme, ve geçmeli birleşim yöntemleri uygulanır.



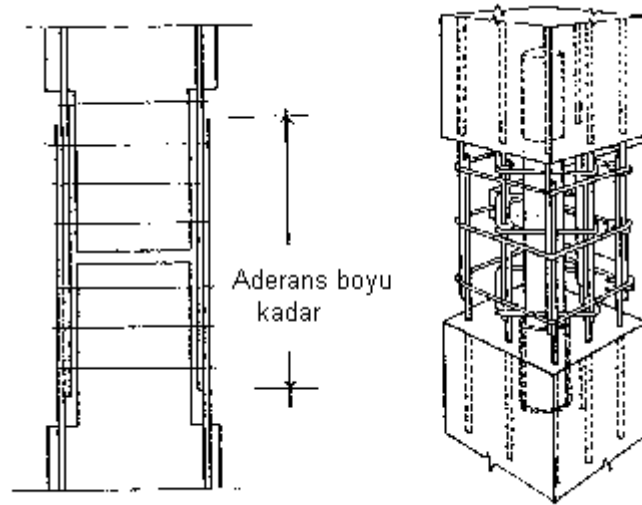
a) Kiriş seviyesinde yerinde dökme kolon-kolon bağlantısı



b) Kolon ortasında bulonlu kolon-kolon bağlantısı

Şekil 4.4 : Kolon-Kolon Bağlantıları

Günümüz teknolojisiyle kolonların 4 kata kadar yekpare dökülebilmesi sebebiyle 4 kata kadar olan yapılarda kolon-kolon bağlantısı yapılmasına gerek kalmamıştır. Ancak 4 kattan fazla olan veya yekpare olarak dökülmeyen kolon elemanlarına sahip yapılarda kolon-kolon bağlantıları mafsallı veya rijit olacak şekilde tasarlanmaktadır. Birleşimlerin olabildiğince rijit olması için yerinde dökme betonla yapıldığı da olur. Bu tür birleşimlerde kolon uçlarındaki donatılar etriyelerle sarılır veya kaynak yapılır. Birleşimin kaynaklı olduğu yerlerde kolonun tek parça olmasını sağlayacak biçimde kaynak yapılması gerekir. Diğer bir deyişle birleşim, moment aktarabilmeli ve kesme kuvveti taşıyabilmelidir.



Şekil 4.5 : Sonradan Betonlanan Rijitleştirilmiş Kolon-Kolon Birleşimi

Şekil 4.5'deki yerinde dökme birleşimde, kolonlarda bırakılan filizler bindirme şeklinde eklendikten ve etriyelerle sarıldıktan sonra beton dökülmektedir. Bu birleşim moment aktarabilir. Donatıların aderans boyları kadar birbirlerine bindirilmeleri ve sonradan dıştan betonlanmaları ile monolitiklik sağlanır. İşçiliği fazla ve zaman alıcı bir uygulamadır.

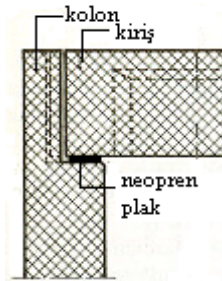
4.5 Kolon-Kiriş Bağlantıları

Kolonun ve kirişin yapı içindeki konumları kolon-kiriş bağlantılarının detaylandırılmasında bazı farklılıklar getirmektedir. Ancak bazı durumlarda kolon biçimi ve birleşim detayının her durumda aynı olması amaçlanmaktadır.

Seçilen statik sisteme bağlı olarak, kirişin kolona serbestçe veya bir çerçeve kurulacak şekilde oturması istendiğinde, bu bağlantının mafsallı veya rijit olarak çözülmesi gerekecektir. Mafsallı bağlantılar prefabrik yapıma daha uygun olup, yapımı da kolay ve suretlidir. Bazen çok yüksek yapılarda veya deprem, vinç gibi yatay kuvvetlerin çok fazla olduğu durumlarda, eğilme momentinin kolonlara da aktarılması daha ekonomik kiriş kesitleri sağlar veya sistemin emniyeti bakımından gerekli görülür.

Kolon-kiriş bağlantıları için birçok mafsallı veya yarı mafsallı çözümler geliştirilmiştir. Bunlar arasında seçim yapılırken özellikle yatay kuvvetlerin büyüklüğü, imalat ve işçilik şartları gözönünde tutulmalıdır.

Kolon-kiriş bağlantılarında genellikle kolona konulmuş kısa konsollardan yararlanılmaktadır. Kısa konsollu da olsa bu bağlantılar mafsallı kabul edilir. Yerinde dökme olarak yapılan kolon-kiriş bağlantısı şekil 4.4.a'da gösterilmiştir.

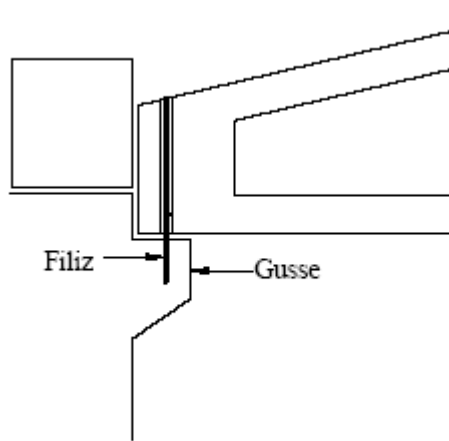


Şekil 4.6 : Kısa Konsollu Kolon - Neopren Plak – Kiriş Arasındaki Bağlantı

En basit ve en kolay yapılan bağlantı, kirişin 5-10 mm kalınlığında bir elastomer plağın aracılığı ile doğrudan kolona oturtulmasıdır. İnce çelikten ara levhalar ile tabaka olarak teşkil edilen çeşitli kalınlıktaki neopren plaklarla, büyük açıklıklı yapılarda ve özellikle köprülerde çok iyi sonuçlar alınmıştır, (Şekil 4.6).

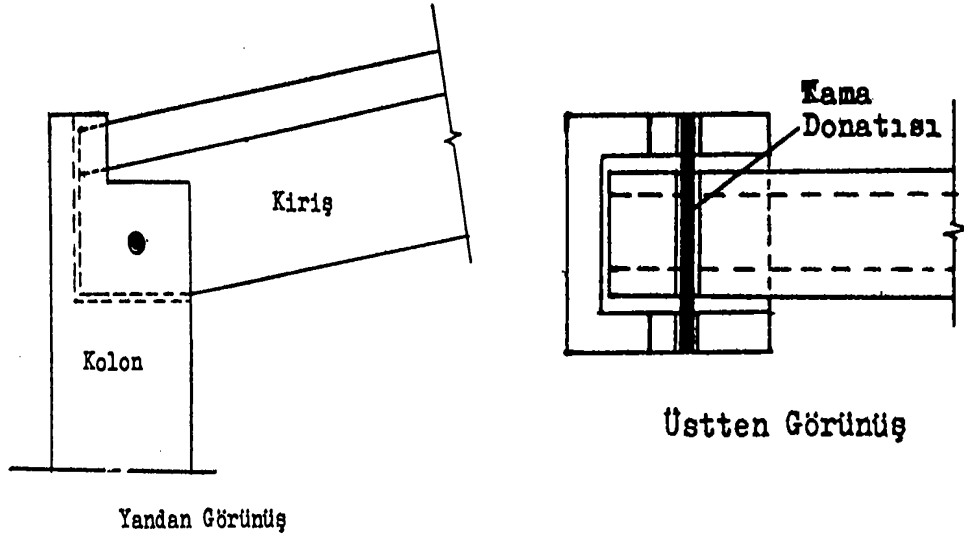
Ancak bu bağlantıların sadece sürtünmeye dayandırılarak yük taşımaları deprem açısından uygun değildir. Geçmeli, kaynaklı olmaları daha doğrudur. Kama donatısında kesme kuvvetleri oluşurken, kiriş betonu ile kolon betonu arasında bir sürtünme, kuvveti oluşmaktadır ve bunun değeri $\mu W / 2$ 'ye eşittir. Burada W kirişten gelen yük, μ ise sürtünme katsayısıdır.

Bir diğer bağlantı şekli kirişin ucunda bırakılan firkete filizlerin kolonun başında bırakılmış olan donatı filizlerine geçirilmesi ve yerinde dökme betonla birleştirilmesidir, (Şekil 4.7). Bu çözüm yatay kuvvetlere karşı oldukça emniyetlidir. Öngerilmeli kiriş uçlarında filiz bırakmak imalat esnasında zorluk çıkaracağından bu bağlantı daha çok normal donatılı prefabrike kolon ve kirişler arasında yapılır.



Şekil 4.7 : Kolon-Kiriş Ek Yeri

Şekil 4.8'deki ek yeri endüstri binalarında çoğunlukla kullanılan mafsallı bir ek yeridir. Buradaki donatılar çifte kesme etkisi altındadır, kama donatılarının kirişlerde oluşabilecek en büyük çubuk kuvvetlerini taşıyabilecek güçte olmaları gerekir. Ayrıca kamaları taşıyan betonların boyutlarının yeterli olması ve kamalardan gelen ezilme gerilmelerini taşıyabilecek güçte olmaları sağlanmalıdır.



Şekil 4.8 : Kamalı birleşim

Kolon-kiriş bağlantısının rijit olarak yapılmasının birçok yöntemi vardır. Bunların en çok kullanılanı ise kolon ve kirişten çıkan donatı filizlerinin kaynaklanması ve yerinde dökme beton ile, monolitik düğüm noktalarına benzer bir bağlantı yapılmasıdır.

Kiriş donatısı ve boyutları ek yerinde oluşacak ve yönü de değişebilecek eğilme momentini karşılayacak güçte olmalıdır. Ayrıca momentin yönü değiştiği zaman ek yerinde olan iç kuvvet dağılımında dikkate alınması gerekir. En uygun çözüm analitik yaklaşımlarla bulunan ek yeri kapasitesinin deneysel olarak kontrolü ve analitik modelin gerçekliğinin saptanmasıdır.

4.6 Panel-Panel Bağlantıları

Panel-panel birleşimleri eleman yüzeyindeki özel profillerin arasındaki boşluğa, montaj aşamasında dayanıklı dolgu harcının yerleştirilmesi ile oluşturulur. Bu birleşimler moment taşımamasına rağmen yatay ve düşey kesme kuvvetlerini aktarabilir ve düşey yükler altında panellerin birlikte çalışmasını sağlar. Panel üzerindeki çizgisel yüklerin (duvar vs.) veya açılan herhangi bir deliğe ait yük tesirinin, diğer komşu paneller tarafından kısmen taşınması da yine bu birleşimler sayesinde sağlanır.

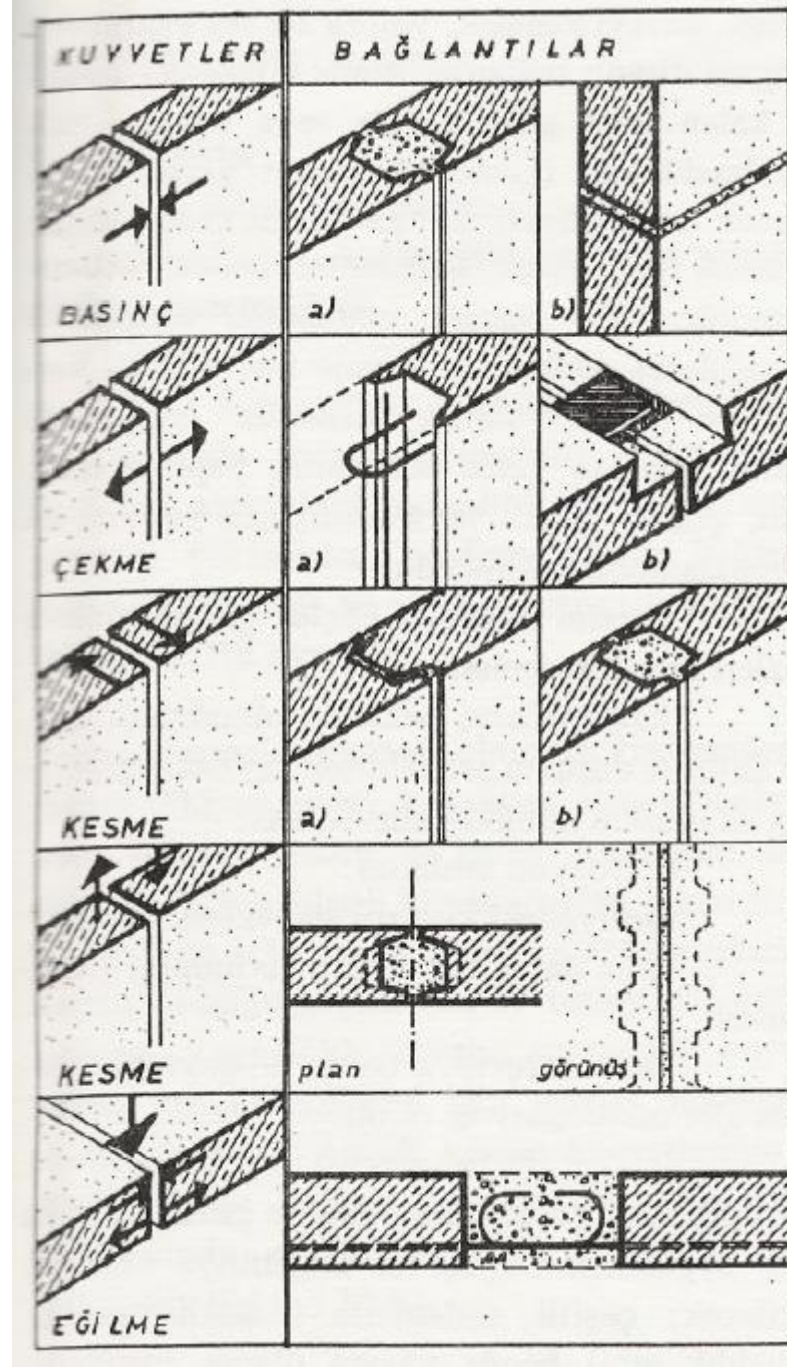
4.7 Panel-Ana Taşıyıcı Mesnet Bağlantıları

Panel-ana taşıyıcı mesnet bağlantıları, eleman özağırlığı ile diğer hareketli ve/veya hareketsiz yüklerin döşeme elemanlarından, kiriş, duvar gibi taşıyıcılara aktarıldığı kısımlardaki bağlantılardır. Paneller çelik elemanlara doğrudan oturtulur. Betonarme kiriş veya yığma duvar hatıllarında ise mesnet yastıkları kullanılır. Devamlı rutubet olan veya dinamik dingil yüklere maruz panel mesnetlerinde neopren gibi elastomer malzemeler tavsiye edilir.

Panel boşluğunda ise mesnet bölgesinde bağ çubuğu yerleştirilir. Eleman içi boşlukları mesnette panel uçlarına dökülecek harç veya beton ile mesnet dış yüzüne kadar doldurulur. Kullanılacak harcın istenmeyen bölgelere gitmemesi içinde uygun tıkaç kullanılmalıdır.

4.8 Taşıyıcı Duvar Panoları Bağlantıları

Panolu sistemlerde, taşıyıcı duvar panoları bağlantıları düşey bağlantılar ve yatay bağlantılar olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. Gerek düşey gerekse yatay bağlantıların detaylandırılmasında önemli bir husus, bağlantıyı etkileyecek kuvvet türünün ve şiddetinin saptanmasıdır. Şekil 4.9’da düzlemsel elemanların arasındaki bağlantılara etkilenen kuvvetlere karşı alınabilecek önlemlerden bazıları gösterilmiştir. Genel olarak bağlantıya sadece basınç kuvvetleri geliyorsa , kaliteli bir beton veya harç dolgu yeterli olabilmektedir. Çekme kuvvetleri, beton içindeki donatı veya ankrajlı çelik plakların ek öğelerin yardımı ile kaynaklanması suretiyle karşılanabilir. Kesme kuvvetlerine karşı, betonla doldurulan cepler yapılması en kolay çözümdür. Ayrıca ek donatı veya kaynaklı plaklar gerekebilir. Eğilme momentlerinin aktarılması ise daha çok döşemelerde süreklilik sağlanmak istendiğinde söz konusudur. Bu durumda üst donatı filizlerinin bağlanması ve ek donatı düzenlemesi suretiyle yapılan çözüm en yaygın olanıdır.



Şekil 4.9 : Düzlemsel Elemanların Arasındaki Bağlantılarda, Kuvvet Etki Tiplerine Göre Alınabilecek Önlemlerden Bazıları

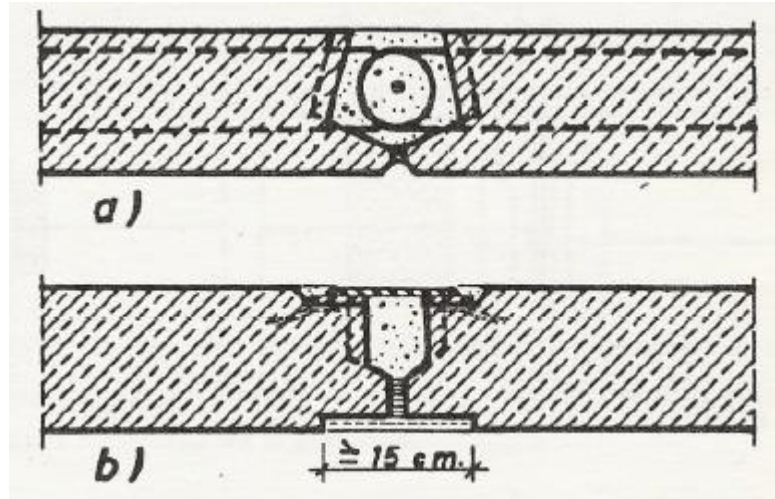
4.8.1 Yatay Bağlantılar

Taşıyıcı duvar panoları ile inşa edilen yapılarda kat seviyelerinde ve temellerde oluşturulan bağlantılardır. Düşey yüklerin duvardan duvara aktarılması ve döşemeye etkileyen yatay kuvvetlerin duvar perdelerine ve temellere iletilmesini sağlarlar. İletilmesi gereken başlıca yükler panel üstlerinden ve kat döşemelerinin diyafram

etkisinden oluşan düşey ve yatay yüklerdir. Hatıllar, döşemelerin kendi aralarındaki bağlantıları ve üstüste yerleştirilen duvar panellerinin hatılla ve kendi aralarındaki birleşimi yatay bağlantılara örnektir. Yük transferi görevini genellikle bağlantının içinde yer alan hatıllar üstlenmiştir. Hatıllar, montaj sapmalarından dolayı oluşabilecek gerilmelerin dengelenmesini sağlamak ve perdelerin düşey birleşiminde meydana gelebilecek çekme gerilmelerini karşılayacak biçimde detaylandırılır.

Döşemeler kat hizalarında rijit perdeler gibi etkiyerek, yatay kuvvetleri duvar perdelerine aktarmaktadır. Ancak bu sırada plakların kendi aralarındaki birleşimlerde kesme kuvvetleri oluşmaktadır. Ayrıca yüzeylerine dik gelen kuvvetlerden dolayı eğilme meydana gelebilmektedir. Burada kesme kuvveti döşeme kenarlarında bırakılan ve sonradan betonlanan cepler tarafından, yatay çekme kuvvetinin ise kenarlarda en az iki noktada düzenlenen donatı veya çelik aksam tarafından karşılanır.

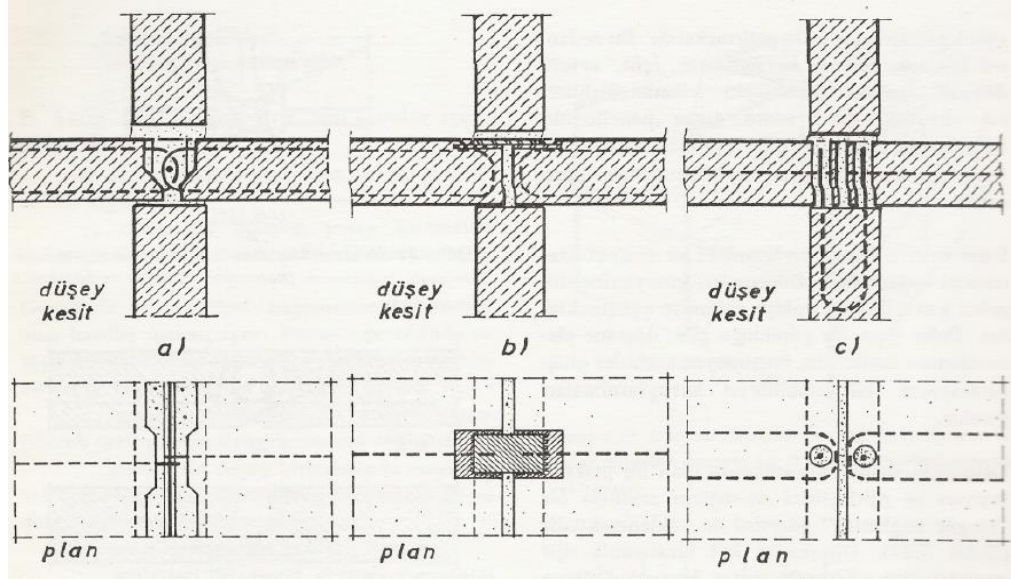
Büyük boy panolu sistemlerde döşemeler genellikle mahal boyutunda detaylandırılır. Aksi durumlarda ise döşeme bileşenleri arasındaki konstrüktif bağlantı, en az iki noktada firkete filizlerin birleştirilmesi ve aralarına ek donatı geçirilmesi, veya ankrajlı plakların ek plaklar yardımıyla kaynaklanması ile çözüme ulaşılabilir (Şekil 4.10). Ancak çoğu kez bağlantı yeri mahal içinde estetik sorunlara yol açtığından bu çözümden olabildiğince kaçınılmalıdır



Şekil 4.10 : Döşemelerin Mahal İçindeki Bağlantı Örnekleri

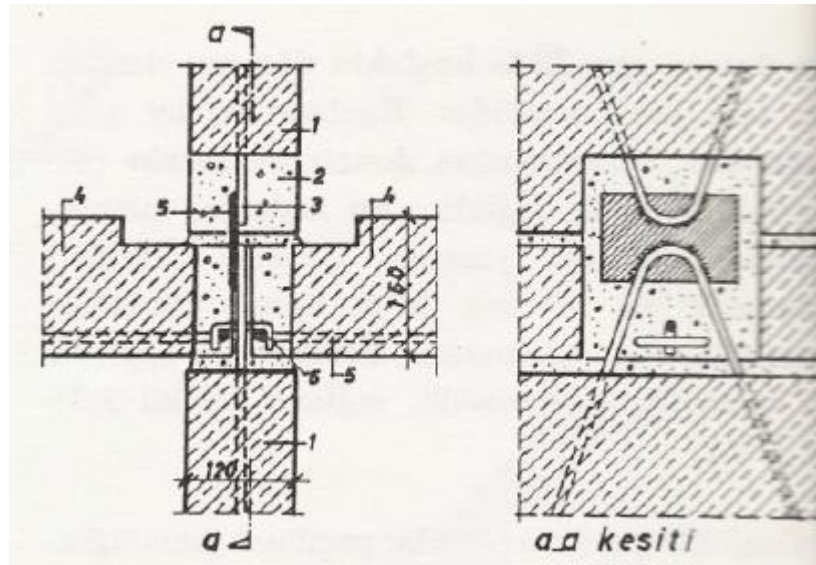
Döşeme elemanlarının taşıyıcı duvar panolarının üzerine oturtulması ise, ya doğrudan, ya da ince bir harç tabakası veya elastomer bir altlık sayesinde olur. Firkete filizlerin içlerinden geçirilen hatıl donatısı ile yapılan bağlantı “klasik” bir çözümdür, (Şekil 4.11). Belli aralıklarla çelik plakaların kaynaklanması veya alt duvardan çıkan pim

şeklindeki donatının döşeme kenarındaki yuvalara geçirilmesi de zaman zaman uygulanan bağlantı türlerindedir.



Şekil 4.11 : Taşıyıcı Duvar Panelleri Üzerinde Yapılabilen Döşeme Bağlantıları

Üstüsten gelen duvar panellerinin bağlantısı ise, iki döşeme plağının bir taşıyıcı duvar üzerine oturduğu bölgede, daha önce sözü edilen hatıllar sayesinde yapılmaktadır. Genellikle taşıyıcı duvar panellerinin sadece üst kenarlarından çıkan donatı filizlerinin bu hatla bağlanması yeterli sayılmaktadır. Panel genişliğine bağlı olarak birkaç noktada toplanabilen bu filizlerin görevini çoğu kez, panellerin üst kenarlarında bulunan taşıma halkaları üstlenmektedir.



Şekil 4.12 : Üstüsten Gelen Duvar Panellerinin Kaynaklı Bağlantısı

Deprem kuşağında bulunan yapılarda ise üstüste gelen duvar panelleri arasında büyük çekme kuvvetleri oluşabileceği düşünülerek, bunların birbirlerine de bağlanması istenmektedir. Bu durumda üst ve alt duvarlardan çıkan donatı filizlerinin yer yer çelik plakaların veya ek profillerin yardımı ile kaynaklanması, alt duvardan çıkan bulonların üst duvardaki ankrajlı plaklara vidalanması gibi çözümler uygulanabilir, (Şekil 4.12).

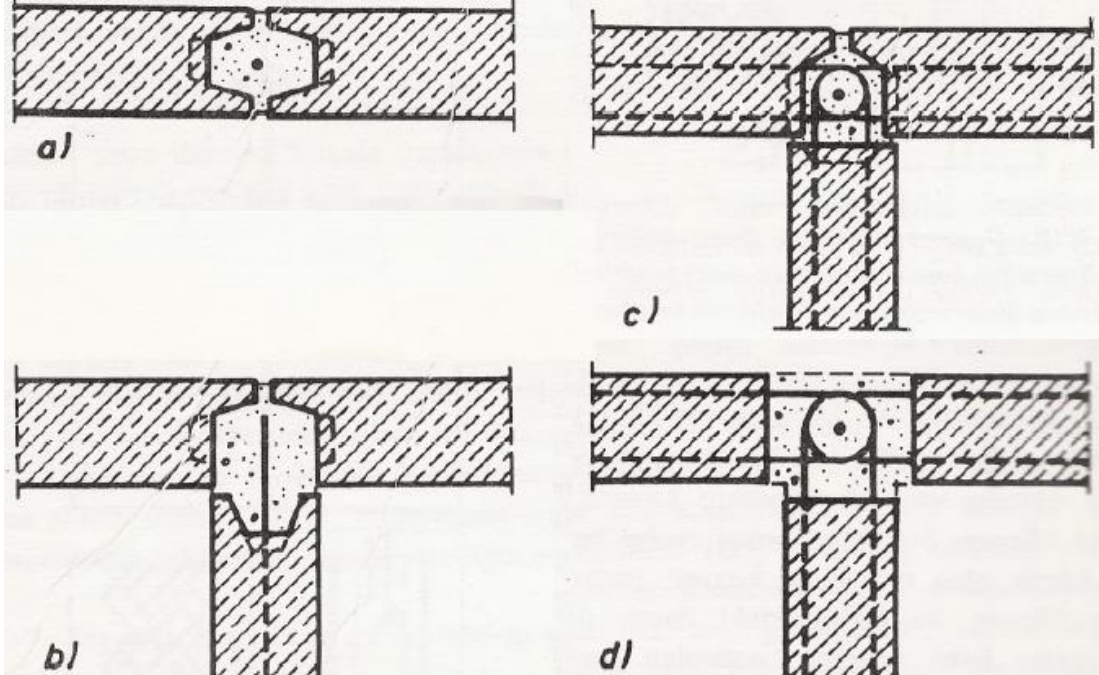
4.8.2 Düşey Bağlantılar

Duvarların düşey kenarları arasında yapılan birleşimler olup, duvar perdeleri arasındaki monolitik etkiyi sağlamak görevini üstlenirler. Böylece rijitliği arttırmak açısından önemli bir rol oynarlar.

Eksenel olmayan yüklemeler ve farklı oturmalar nedeniyle binaya etkiyen yatay kuvvetler, düşey bağlantılarda basınç, çekme ve kesme kuvvetleri oluşturabilir. Elemanların kenarlarında bırakılan firkete filizlerinin iç içe geçirilmesi ve ortalarından ek donatı çubuğu geçirilmesi ve birleşimin betonlanması genellikle basınç ve çekme kuvvetlerinin karşılanması için yeterli olmaktadır. Ancak kesme kuvvetlerinin de etkimesi söz konusu ise, bu durumda duvar kenarına ayrıca cepler ve dişler yapılmaktadır. Kesme kuvvetinin iki bileşene ayrıldığı kabul edilerek, basınç kuvveti şeklindeki bileşen, bu betonlanmış cepler tarafından, çekme kuvveti şeklindeki yatay bileşen ise birleşimdeki demir donatı veya yatay hatıl donatısı tarafından karşılanmaktadır. Bu klasik bağlantı şekline “fermuar bağlantısı” denir.

İki duvarın mahal içindeki birleşimi stabilite ve görünüm sorunları nedeniyle kaçınılan bir yöntemdir. Üç taşıyıcı veya taşıyıcı-rijitleştirici duvarın birleşiminde de aynı sorun vardır. Şekil 4.13’de iki ve üç duvar paneli arasında yapılan klasik bağlantı çeşitlerinin yatay kesitleri görülmektedir. Şekil 4.13.a ve 4.13.b’ de çekme kuvvetleri hatıl donatısı tarafından karşılanmaktadır. Şekil 4.13.c üç duvarın ek kalıp gerektirmeyen birleşimini, Şekil 4.13.d ise üç duvarın ek kalıp gerektiren birleşimini göstermektedir. Dört taşıyıcı duvarın birleşiminde ise en yaygın çözüm firkete filizlerinin ikişer ikişer birleştirilmesi ve içlerinden ek donatı çubuklarının geçirilmesi ile yapılan bağlantıdır. Üst üste gelen bu düşey birleşimler, kat hizalarında hatıllarla bağlanmakta ve bina yüksekliğince devam eden yerinde dökme basit kolonlar oluşturmaktadır. Bu tür bağlantılar deprem kuşağında olmayan bölgelerde,

bağlantılara büyük kuvvetlerin gelmeyeceği yapılarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.13 : Duvar Panelleri Arasında Yapılan Düşey Bağlantılar

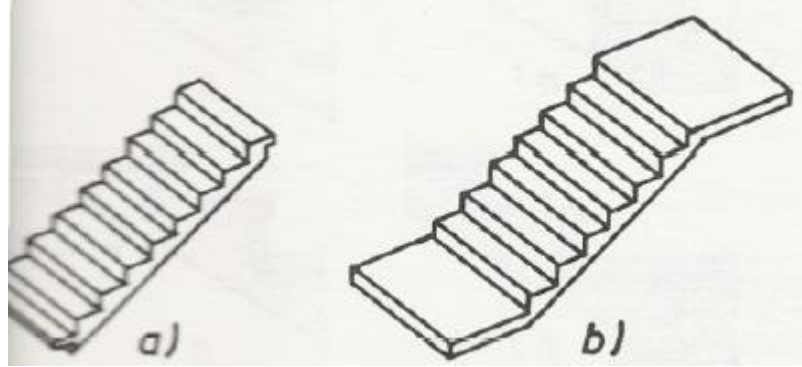
Deprem kuşağında olan bölgelerde ve/veya yüksek yapılarda duvar perdeleri arasındaki düşey bağlantılara oldukça büyük çekme ve kesme kuvvetleri gelebilmektedir. Bu kuvvetlerin karşılanması için donatı filizlerinin ek etriyelerle bağlanması veya ek kenet veya çubuk donatılarla kaynaklanması gibi çözümler sunulabilir. Bu çözümler mukavemeti arttırmakla birlikte ek kalıp gereksinimi ve işçiliğin artması gibi sorunları getirmektedir.

Elemanlardan çıkan donatı filizleri özellikle üretim evresinde bazı güçlükler getirmektedir. Bu nedenle kaynaklı bağlantılar daha kullanılabilir olmaktadır. Duvar panellerinin üst uçlarında ve gerekiyorsa aradaki birkaç noktada üretim sırasında ek donatı ile ankrajı yapılan çelik plakalar, montajdan sonra birbirlerine, çelik çubuklar, plakalar veya korniyer parçalarının yardımı ile kaynaklanmakta ve aralarındaki boşluğa beton dökülmektedir.

4.9 Merdiven Bileşenleri

Merdivenler, üretim, taşıma ve montaj olanakları ve taşıyıcı duvarların düzenleniş şekli gözönüne alınarak çeşitli şekillerde üretilebilir. En yaygın uygulamalar merdiven

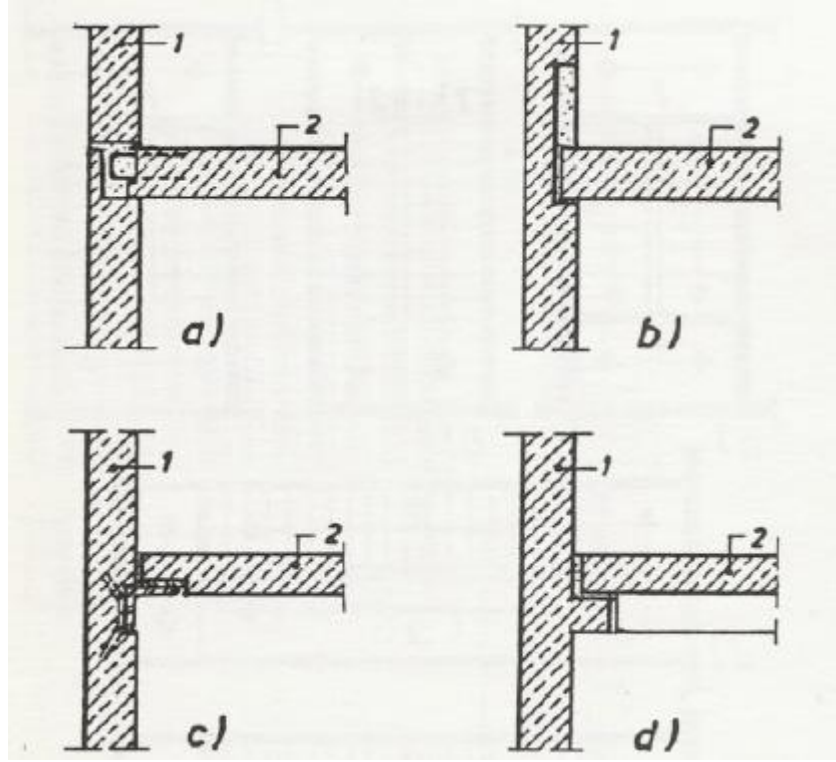
kolunun sahanlıktan ayrı olarak (Şekil 4.14.a) veya yarım sahanlık bölümü ile birlikte (Şekil 3.13.b) üretimidir. Genellikle merdiveni çevreleyen 3 veya 4 duvarın da taşıyıcı veya rijitleştirici olması nedeniyle, merdivenlerin yükü sorun olmaz.



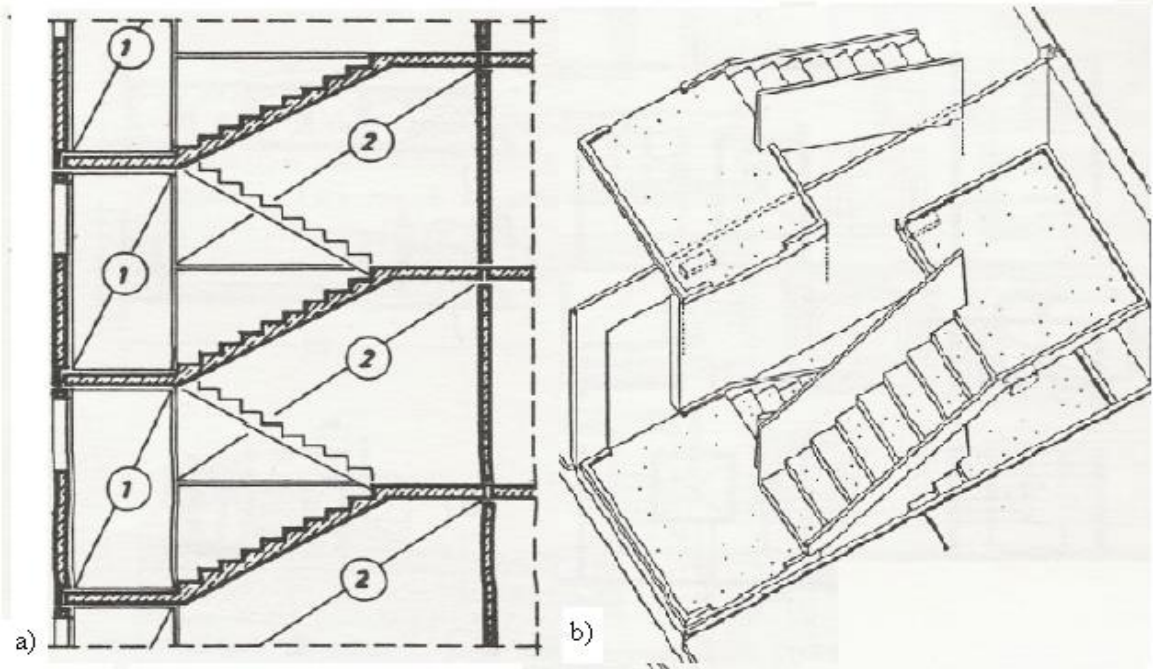
Şekil 4.14 : En Yaygın Merdiven Uygulamaları

Tek doğrultuda çalışan sahanlık döşemelerine oturan merdiven kollu çözümden, elemanlar basit plak kirişler şeklinde ele alınır. Şekil 4.15’de sahanlık döşemesinin taşıyıcı duvarlara oturma çeşitleri gösterilmektedir. Şekil 4.15.a’da sahanlığın yarım kat yüksekliğinde bir duvar bölümüne taşınması gösterilmektedir. Ancak ara sahanlık seviyesinin yarım kat yüksekliğe kadar şaşırtılmış olması, bu mesnetlendirmeyi güçleştirir. Bu nedenle, sahanlığın, taşıyıcı duvarda düzenlenen ve sonradan betonlanan oyuklara veya konsol çıkıntılarına oturtulması daha yaygın olarak kullanılan bir yoldur (Şekil 4.15.b,c,d). Şekil 4.15.b’de sahanlık döşemesinin duvardaki bir oyukta sokulması, Şekil 4.15.c’de duvara tespitli çelik profillerle kaynaklanmasını ve Şekil 4.15.d’de ise duvardan çıkan beton konsollara oturtulması gösterilmektedir.

Merdiven kolunun yarım sahanlık bölümü ile birlikte üretilmesi, yerleştirilecek eleman sayısını azaltır (Şekil 4.16.a). Daha güçlü montaj araçları gerektiren bu çözümde sahanlıkların merdiven kollarına dik doğrultudaki taşıyıcı duvarlara oturtulması Şekil 3.14’deki gibi yapılabilir. Ancak katlanmış plak gibi çalışan bu elemanlarda, kalınlık ve donatı artışı vardır ve sahanlık ortasındaki birleşim derzi sorun yaratabilir. Merdiven kolunun bir tam sahanlık bölümü ile birlikte üretilmesinde ise birleşim derzi sorunu tamamen ortadan kalkar(Şekil 4.16.b). Ancak elemanın biçim ve ağırlığı, taşıma ve montaj sorunları getirir. Striktür ile bağlantıları, sahanlıkların iki veya üç kenarından taşıyıcı duvarlara oturtulması şeklindedir.



Şekil 4.15 : Taşıyıcı Duvar Ve Sahanlık Döşemesi Arasındaki Bağlantı Çeşitleri



Şekil 4.16 : Merdiven Kolunun Yarım Sahanlık Ve Tam Sahanlık Bölümü İle Birlikte Uygulaması

5. PREFABRİKE YAPILAR İÇİN TASARIM İLKELERİ

5.1 Giriş

Prefabrike yapıların deprem davranışları, yerinde dökme betonarme yapılardaki davranıştan farklılık gösterir. Yerinde dökme betonarme yapılarda deprem enerjisi, yapının monolitik ve rijit olan ek yerlerinin hasar görerek mafsallaşması ile tüketilirken, prefabrike yapılarda birleşim yerleri tam olarak monolitik ve rijit olmadığından deprem enerjisini tüketme gücü azdır. Yerinde dökme betonarme yapılarda sünek davranış, betona tam bir aderansla bağlı donatının kalıcı birim deformasyon bölgesine girmesi ile sağlanırken, prefabrike yapılardaki ek yerlerinde donatıların sürekliliğinin kaynak veya bulonlu birleşim ile sağlanması güç olduğundan enerji tüketimi gerçekleşmeyebilir. Dolayısıyla yerinde dökme betonarme yapılar için geliştirilmiş yöntemlerin aynen prefabrike yapılara da uygulanması doğru değildir.

ABD’de prefabrike ve öngörmeli yapılar konusunda en yetkili ve yol gösterici bir kuruluş olan Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) yayımlanan kitapçığında, prefabrike ve öngörmeli yapıların projelendirilmesi ve detaylandırılması konusunda en yetkili bilgileri içermektedir. Kitapçıkta prefabrike ve öngörmeli birleşimlerin elastik olmayan davranışları konusundaki boşluğa değinilmekte ve mevcut çok sayıda bulonlu veya kaynaklı birleşimin tersinir yükler altındaki elastik olmayan davranışının henüz deneysel olarak ispat edilmediği rapor edilmektedir. Bu yüzden eğer bir birleşimin kendisi monolitik değilse veya davranışı mühendislik kabullerine göre monolitik sayılmıyorsa, PCI komitesi ,deprem bölgelerinde yapılacak bu tür yapılarda deprem performansı yüksek birleşimlerin ancak deneysel olarak elde edilebilecek veriler ışığında projelendirilmesini tavsiye etmektedir. Ayrıca Press projesi çerçevesinde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, Japon beton şartnamesi (AIJ Kılavuzu) betonarme prefabrike yapılarında genişletecek şekilde genişletilmiştir.

5.2 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Ülkemizde tüm betonarme yapıların hesap ve tasarımında düşey yükler ile birlikte depremin de mutlaka dikkate alınması zorunluluğu vardır. Bir yapının tasarım ve boyutlandırılması genel olarak, göçme durumunda yeterli güvenliğin sağlanması ve kullanma durumunda kararlılık ve yerdeğiştirme gibi öngörülen koşulların yerine getirilmesi olarak tanımlanabilir.

Deprem bölgelerinde yapılan betonarme yapıları tasarım depremi yükleri altında bile doğrusal-elastik kalacak şekilde tasarlamak ekonomik değildir. TS 500'de “Şiddetli depremlerde can kaybını önlemek amacıyla binaların kısmen veya tamamen göçmesinin önlenmesi” öngörülmektedir.

Yapıyı zorlayan etkilerden biri olması nedeniyle dinamik yük olarak kabul edilen depremin şiddeti ve oluşum sıklığı istatistiksel olarak bulunabilir. Bir yapının sabit yük, hareketli yük ve sıcaklık gibi etkilere maruz kalma sıklığı ile karşılaştırıldığında, depremin çok daha seyrek olduğu görülür. Bir çok yapı tasarımında hesaplanan şiddette bir depreme maruz kalmadan faydalı ömrünü tamamlar. Bu durumda her yapının şiddetli bir depremi hiç hasarsız ve düşey yükler karşısında elastik sınırlar içinde kalarak karşılaşmasını amaçlamak çok pahalı bir çözümdür.

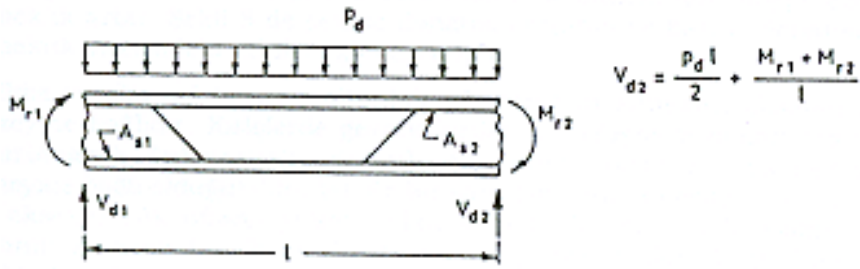
Depreme dayanıklı yapı tasarımındaki temel ilke, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içinde kalarak, orta şiddetteki depremleri elastik sınırın ötesinde fakat taşıyıcı sisteminde kolayca onarılabilecek küçük hasarlarla ve çok şiddetli depremleri taşıyıcı sistem tam olarak göçmeksizin, can kaybı olmayacak kadar hasarla karşılayabilmesidir. Başka bir deyişle yapının ender oluşan şiddetli bir depreme elastik sınırlar içinde kalarak karşı koymasının ekonomik olmayacağı dikkate alınarak, bu tür depremler altında yapının çeşitli yerlerinde oluşacak plastik mafsallar aracılığıyla yeterli enerji tüketebilmesi öngörülmüştür. Şiddetli depremler altında yapının elastik sınırlar içinde kalmayacağı ve plastik mafsallar oluşacağı, yönetmeliğin temel felsefesi içindedir. Bu durumda yapı güvenliği için “dayanım” koşulunun sağlanması yeterli değildir. Betonarme yapının büyük deformasyonlar yaparak gerekli enerjiyi tüketebilmesi, ancak ve ancak yapı elemanlarının gerekli sünekliğe sahip olmasıyla mümkündür. Bununla beraber, plastik mafsallarda oluşan deformasyonlar nedeni ile yapının yanal ötelenmesi belirli sınırları geçmemelidir. Yanal ötelenme veya çok katlı yapılardaki katlar arası görece yerdeğiştirmenin aşırı

olduğu durumlarda taşıyıcı olmayan elemanlarda büyük hasarlar oluşmakta, ayrıca eksenel yük nedeni ile aşırı büyüyen ikinci mertebe momentleri yapının göçmesine yol açmaktadır. Özetlemek gerekirse tüm betonarme yapılarda, depreme dayanıklılık bakımından dayanım, süneklik ve sınırlı yanal yer değiştirme kriterleri sağlanmalıdır.

5.2.1 Dayanım

Seçilen bir deprem etkisine karşı taşıyıcı sistemin gerekli dayanıma sahip olması boyutlandırmanın esasını teşkil eder. Yapı güvenliğinin belirli bir düzeyde olabilmesi için yapıyı oluşturan eleman ve birleşim noktalarının yeterli dayanıma sahip olması gerekir. Şiddetli depremler altında yapının elastik sınırlar içinde kalması olanaksız olduğundan, kesit hesabının emniyet gerilmelerine göre yapılması gerçekçi olmaz. Taşıma gücünün sınır durumlarda gerçekçi sonuçlar verdiği birçok deneyde kanıtlanmıştır.

Depremın sözkonusu olduğu durumlarda, hesaplanan zorlamaların ancak yapılan varsayımlar kadar doğru olduğu unutulmamalıdır. Depremın özellikleri hiçbirzaman kesin olarak saptanamayacağından, analizden elde edilen kesit zorlamaları yol gösterici olmaktan öteye gidemeyecektir. Bu durumda hesaplanan zorlamalar yerine, kesitlerin gerçek taşıma gücünü temel alan “Kapasite Dizaynı” mutlaka yapılmalıdır. Şekil 5.1’de gösterilen örnek olarak bir kirişi ele alalım.



Şekil 5.1 : Eğilme Etkisindeki Kiriş

Bu kirişin eğilme donatısı, hesaplanan eğilme momenti gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Kesme gevrek, eğilme ise sünek bir davranış biçimi olduğundan, kirişin aşırı zorlamalar altında kesme dayanımına ulaşmadan donatısının akması ile eğilme kapasitesine ulaşması sağlanmalıdır. Bu tür bir davranış, hesaplanan kesme kuvveti temel alınarak garanti edilemez, çünkü hesaplanan kesme kuvveti kesin olmaktan çok uzaktır. Bunun yerine, kesme kuvvetinin kiriş kiriş uçlarında hesaplanan

gerçek eğilme kapasitelerine göre saptanması çok daha gerçekçi olacaktır. Kirişin iki ucundaki eğilme donatısı daha önceden saptanmış olduğundan, bu uçlardaki moment taşıma gücü kolayca hesaplanabilir. Kesme kuvveti uçlardaki taşıma gücü dikkate alınarak hesaplanır ve bu kesme kuvveti temel alınarak kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden büyük olması sağlanırsa, zorlamalar ne kadar büyük olursa olsun o elemanın kesme kapasitesine ulaşmadan eğilme kapasitesine ulaşması sağlanmış olur.

5.2.2 Süneklik

Yapıların elastik deformasyonlarla enerji tüketimi çok sınırlıdır. Enerji tüketimi elastik limit ötesindeki kalıcı yerdeğiştirmeler ile sağlanmaktadır. Elastik şekil değiştirme limiti ötesinde kopmadan önce olan kalıcı şekil değiştirmenin elastik limit şekil değiştirmesine oranı “süneklik” olarak tanımlanmaktadır.

Betonarme yapılar için, gerçek deprem kayıtları temel alınarak yapılan dinamik hesaplar, yapıda oluşan yatay kuvvetlerin yönetmeliklerde öngörülen yatay kuvvetlerden çok daha büyük olduğunu kanıtlamıştır. Bu hesaplar, incelenen yapıların yönetmeliklerde öngörülen yükler altında ayakta kalabilmelerinin, ancak ve ancak oluşacak plastik mafsallarda yeterli enerji tüketilmesi ile mümkün olacağı kanıtlanmıştır. plastik mafsallarda göçme olmadan aşırı dönmelerin oluşabilmesi de, ancak süneklikle mümkündür. Sünekliğin ölçüsü “süneklik katsayısı”, maksimum deformasyonun, akma anındaki deformasyona oranı olarak tanımlanmaktadır. Süneklik katsayısı, kesitleri için eğrilik cinsinden denklem 5.1.a, eleman veya yapının tümü için de yerdeğiştirme cinsinden denklem 5.1.b ile ifade edilir.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = K \quad (5.1a)$$

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta_{\mu}}{\Delta_{\mu}} \quad (5.1b)$$

Beton gevrek, donatı çeliği de sünek bir malzeme olduğundan, donatı çeliği akmadan betonun ezilmesi veya kırılması ile taşıma gücüne ulaşıldığında, gevrek bir kırılma kaçınılmaz olur. Deprem bölgelerinde yapılan yapılarda bu tür kırılmalardan olabildiğince kaçınmak gerekir.

Kesme kırılması ve aderans çözülmesi (kenetlenmede zayıflık) gevrek kırılmaya yol açarlar. Bu nedenle kapasite dizaynı yapılarak kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden büyük olması sağlanmalıdır. Kenetlenme çözülmesini engellemenin en

güvenli yolu, yönetmelikte öngörülen kenetlenme boylarına uyulmasıdır. Yapılan deneyler, tekrarlanır ve tersinir yükler altında aderansın zayıfladığını kanıtladığından, kritik bölgelerde kenetlenme boyu arttırılmalı, bindirmeli eklerin etrafı sık etriyelerle sarılmalıdır.

Eğilme ve eksenel basınç altındaki elemanların sünekliği eksenel yük düzeyine bağlıdır. Eksenel yük düzeyi N/N_0 oranı ile gösterilir. N uygulanan eksenel yük, N_0 ise salt eksenel yük altındaki taşıma gücüdür. Kirişler genelde eğilme etkileri altında sünek davranış gösterirler. Ancak süneklik, çekme donatısı oranı arttıkça azalır. Kirişlerde gevrek kırılmanın oluşması donatı oranları sınırlanarak önlenmiştir. Kolonlarda ise sünek davranış eksenel yük düzeyine bağlı olduğundan, bu tür bir sınırlama pratik değildir. Bu nedenle, eksenel yük düzeyi yüksek kolonlarda, betondaki ezilme, donatının akmasından önce oluşmakta ve gevrek kırılma kaçınılmaz olmaktadır.

N/N_0 oranını gevrek kırılma oluşmayacak düzeyde tutmak ekonomik açıdan pratik olmayacağı için, kırılmayı olabildiğince sünek kılabilmek için sargı donatısı kullanmak ve eksenel yük düzeyine sınır getirmek gerekir.

5.2.3 Sınırlı Yanal Yer Değiştirme

Depreme dayanıklı yapı tasarlamanın temel felsefesinde, gerekli enerjinin tüketilebilmesi için elastik sınırlar ötesinde deformasyonlar oluşabileceği varsayıldığından, şiddetli depremler altında büyük yer değiştirmelerin oluşması kaçınılmaz olacaktır. Aşırı yanal yer değiştirmeler, taşıyıcı olmayan duvar, pencere gibi elemanlarda büyük hasara neden olabileceği gibi, kolon gibi eksenel yük taşıyan elemanlarda da çok büyük ikinci mertebe momentlerin oluşmasına ve stabilite sorunlarının doğmasına yol açabilirler. Yapısal olmayan elemanlardaki hasarı sınırlamak ve aşırı ikinci mertebe momentlerinin oluşmasını önlemek için, katlararası yanal yer değiştirmelerin belirli sınırlar içinde tutulması zorunludur. Bugüne kadar oluşan depremlerde gözlenen hasarlar ve göçmeler, fazla önem verilmeyen bu koşulun en az dayanım kadar önemli olduğunu kanıtlamaktadır. ABYYHY katlararası yanal yer değiştirmeyi, kat yüksekliğinin %0,25'i ile sınırlandırmıştır. Bu sınır saptanırken, yanal yer değiştirmenin doğrusal-elastik bir analizle hesaplanacağı varsayılmıştır.

5.3 Prefabrike Çerçeve Sistemlerin Tasarımı

Çerçevesel yapılar deprem enerjisini kalıcı deformasyonlarla tüketilmesi yaklaşımı ile tasarlanırlar. Elastik enerji tüketme güçleri azdır. Yüksek miktarda plastik enerji tüketme gücünde olabilmeleri için donatı, aksel yük ve boyut ayrıntılarına hem proje ve tasarımında hemde yapım sırasında özen göstermek gerekir. Elastik olarak dayandıkları yatay yük düzeyi ve ilk yapım bedelleri düşüktür, [11].

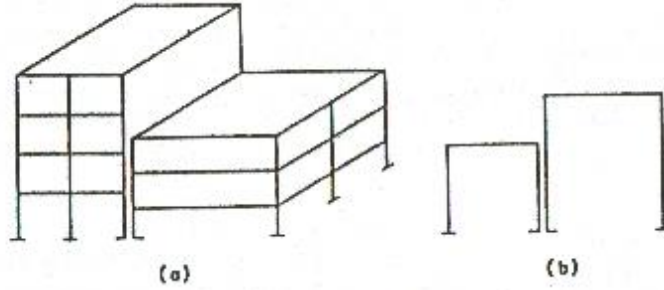
Ülkemizde prefabrike çerçeve türü yapılarda meydana gelen hasar ve göçmeler incelendiğinde tasarım sırasında yapılan iki hata göze çarpmaktadır. Bunlardan biri yanlış sistem seçimi, ikincisi ise yetersiz boyutlandırma ve detaylandırmadır. Tasarım dışında, zemin sorunları ve özellikle yapım aşamasındaki denetimsizlik ve bilgisizlik nedeni ile oluşan birleşim bölgelerindeki zayıflıklarda hasar ve göçmelerin sebebi olarak görülmektedir.

Prefabrike çerçevesel sistemler ülkemizde genellikle endüstri yapılarında tercih edilirler. Konut, iş merkezi gibi çok katlı binaların sayısı oldukça azdır. Uygulamalarda genellikle yerinde dökme temel ve moment aktarmayan kolon kiriş birleşimleri kullanılır. Moment aktaran birleşimler ıslak birleşim olarak uygulanmaktadır. Moment aktarmayan birleşimlerin kullanıldığı prefabrik yapım sistemlerinde deprem etkisi veya benzeri yatay yükler, tamamen prefabrike veya yerinde dökme betonarme perdelerle karşılanmaktadır. Çerçevesel sistemlerde binalarda deprem davranışı açısından prefabrike ve monolitik yapılar arasındaki en büyük fark birleşim noktalarından kaynaklanmaktadır. İki prefabrik eleman arasındaki birleşim noktaları deprem zincirinin en zayıf halkasını oluşturmaktadır. Ancak, günümüzde yapılan deneysel araştırmalar, birleşim bölgelerinde sürekliliğin sağlanabildiğini ve prefabrike yapıların deprem hesabının yerinde dökme yapılarla özdeş sayılabileceğini göstermektedir.

5.3.1 Sistem Seçimi

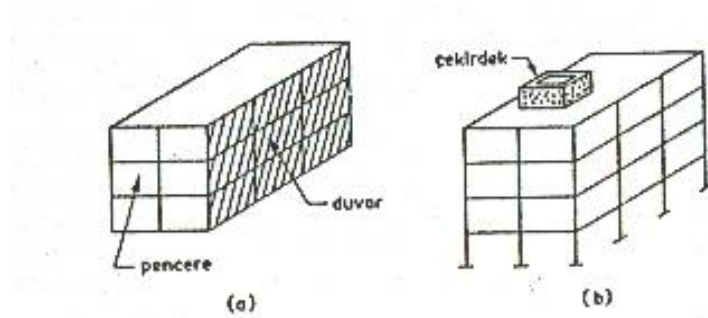
Ülkemizde prefabrike yapılarda depremde oluşan hasarlar gözlemlendiğinde, yanlış sistem seçiminin önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Binanın mimari aşamasında oluşturulan geometrisi, taşıyıcı sistemi ve taşıyıcı olmayan duvar gibi elemanların taşıyıcı sistemle etkileşimi deprem dayanımı açısından son derece önemlidir. Sistem seçiminde bazı temel ilkeler göz önüne alınmalıdır. Örneğin yapının olabildiğince simetrik olmasına, bina yüksekliği boyunca ani rijitlik değişimlerinde kaçınılmasına,

düşey taşıyıcı elemanların sürekliliğine ve kısa kolonlar oluşmamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca bitişik nizamlı çerçeveler birbirlerinden yeterli derzlerle ayrılmalıdır.



Şekil 5.2 : Bitişik Düzende Yapılmış Çerçeveler

Şekil 5.2’de bitişik nizam yapılan çerçeveler gösterilmektedir. Bu çerçeveler birbirlerinden yeterli genişlikte derzlerle ayrılmadığı takdirde, deprem esnasında çekişleme etkisine maruz kalacak ve ağır hasarlara neden olacaktır.



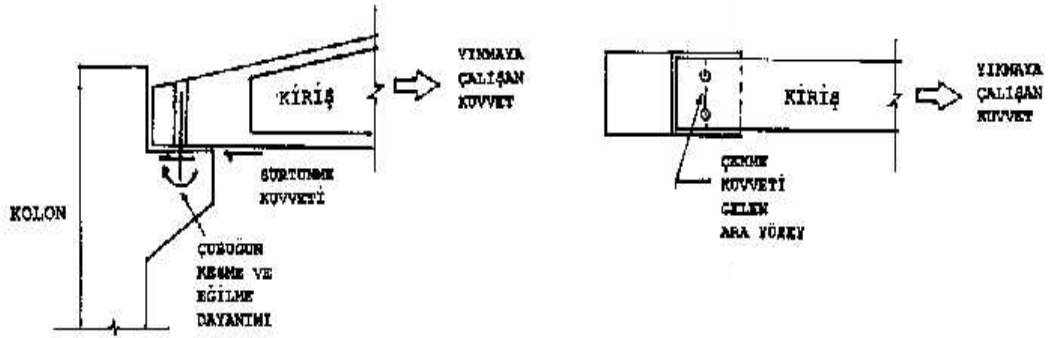
Şekil 5.3 : Planda Simetrik Olmayan Çerçeveler

Şekil 5.3’deki yapılar ise planda simetrik olmadığından, ağırlık merkezi ile rijitlik merkezi üstüste gelmemekte ve bunun sonucu olarak burulma doğmaktadır. Burulma, özellikle dış kolonlarda çok büyük kesme kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Şekil 5.3.a’daki yapı taşıyıcı elemanların simetrik olmaması, Şekil 5.3.b’deki yapı ise çekirdeğin simetri ekseninde bulunmaması nedeniyle burulmaya maruzdur. Şekil 5.3.a’da bir cephe duvar, diğer cephe cam olduğundan binada burulma oluşmaktadır. Bu gibi durumlarda taşıyıcı olmayan elemanlar, çerçevelerden ayrılarak burulma ortadan kaldırılabilir.

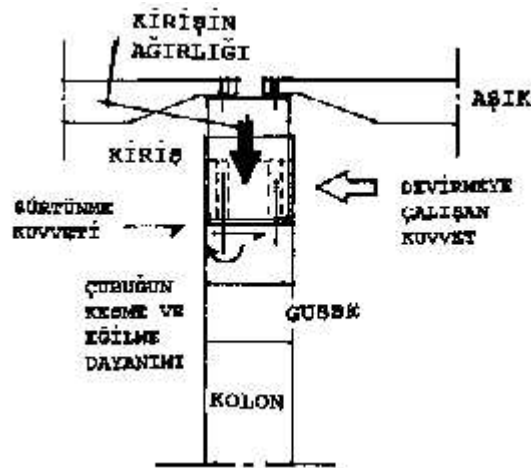
5.3.2 Sistem Davranışı

Birleşim bölgeleri bilinçli detaylandırıldığı takdirde sorun çıkmayacak ve prefabrike elemanlardan oluşan çerçeve, birdöküm çerçevelere özdeş bir davranış gösterecektir. Bu durumda, prefabrike çerçevenin deprem hesabı birdöküm çerçevelerden farksız olacaktır.

Birleşim bölgeleri zayıf prefabrike çerçevelerde ise, gerekli önlemler alınmadığı takdirde şiddetli depremler altında sorun çıkması kaçınılmaz olur. Şekil 5.4 ve 5.5’de kolon ve kiriş birleşim yerlerine etkiyerek düşürmeye çalışan kuvvetler ve buna karşı çalışan kuvvetler eksen ve eksene dik yönde olmak üzere gösterilmiştir. Zayıf bağlantılı çerçeveler yatay yükler altında yeterli enerji tüketemeyecektir.



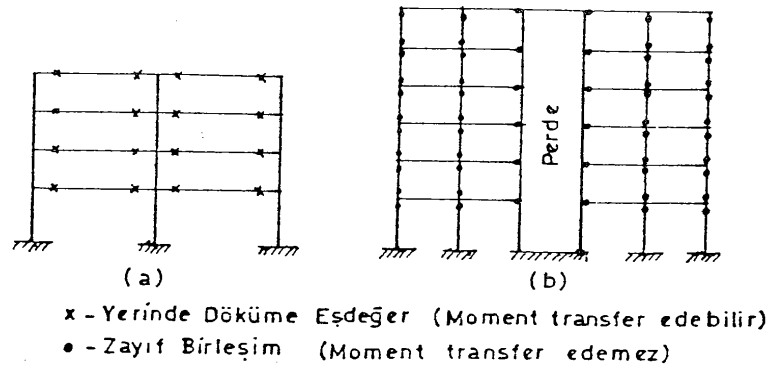
Şekil 5.4 : Kolon Ve Kiriş Birleşim Yerini Düşürmeye Çalışan Kuvvet Ve Karşı Kuvvetler, Eksen Yönünde



Şekil 5.5 : Kolon Ve Kiriş Birleşim Yerini Düşürmeye Çalışan Kuvvet Ve Karşı Kuvvetler, Eksene Dik Yönünde

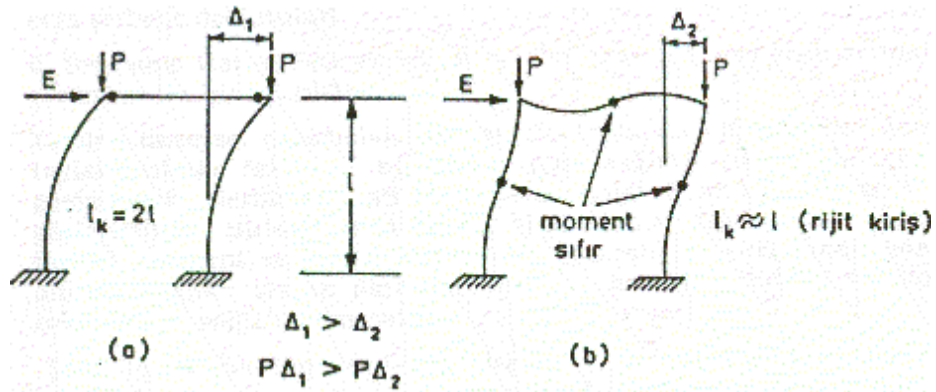
Bu tür çerçevelerden oluşan yapıların depremde sağlıklı davranmalarını sağlamanın en uygun yolu, tüm yatay kuvvetleri alabilecek kapasitede perde duvar oluşturmaktır.

Özetlemek gerekirse, yapı sisteminin salt çerçevelerden oluştuğu durumlarda, birleşim bölgelerinin birdöküme eşdeğer yapılması ve böylece yapıya etkiyen kuvvetleri karşılaması gerekir. Eğer sistemde tüm yatay yükü alabilecek kapasitede perde duvar var ise, çerçeve elemanlarının bağlantılarının nispeten zayıf olmasında bir sakınca yoktur. Burada sözü edilen seçenekler şekil 5.6'de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Moment Transfer Edebilen ve Edemeyen Çerçeveler

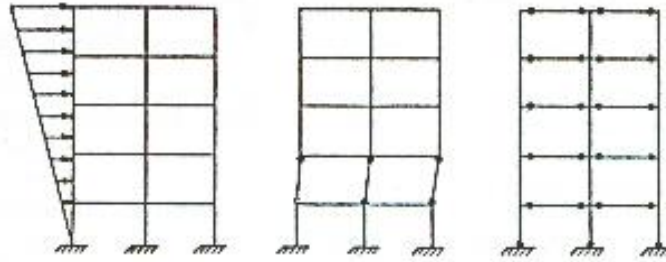
Tek katlı çerçevelerde ise yapı perdesiz de olsa zayıf birleşimlere (mafsal gibi) izin verilebilir. Ancak bu sefer de kolon kesitlerinin birdöküm yapıya göre çok büyük seçilmesi gerekir. Şekil 5.7'te görüldüğü gibi tüm özellikleri aynı olan iki çerçeveden mafsallı olanı aynı yatay yük altında diğerine oranla üç dört katına varan çok daha fazla yanal yerdeğiştirme yapacaktır. Bu nedenle $\Delta M = N * \Delta$ ile ifade edilen ikinci mertebe momentleri mafsallı çerçevede diğerine oranla çok daha büyük olacaktır.



Şekil 5.7 : Çerçevelerin Eşit Yatay Yükler Altında Karşılaştırılması

Ayrıca, aşırı yerdeğiştirme duvar gibi taşıyıcı olmayan elemanlarda önemli hasarlar oluşturabilecektir. Eğer mafsallı detayı iyi düşünülerek hazırlanmamışsa ve kolon en kesit boyları yeterli değilse, kirişlerde düşme meydana gelebilir.

Mafsallı çerçevede Şekil 5.8’de gösterilen kolon mekanizması oluşur. Bu tür çerçevelerde sınır duruma genelde iki türlü erişilir. Birincisi şekilde gösterildiği gibi kolon uçlarında oluşan mafsallar nedeni ile “kolon mekanizması”, ikincisi ise kiriş uçlarında oluşan mafsallar nedeni ile “kiriş mekanizması”dır. Daha öncede belirtildiği gibi kiriş kolondan daha sünek bir malzeme olduğundan boyutlandırma ve detaylandırma yapılırken “kiriş mekanizması”nın oluşması sağlanmalıdır. Kiriş mekanizması, kuvvetli kolon-zayıf kiriş oluşturulması ile mümkündür. Herhangi bir düğüm noktasındaki kirişlerin taşıma güçlerinin toplamı, kolonların taşıma taşıma gücünden küçük ise kuvvetli kolon-zayıf kiriş oluşturulmuş ve “kiriş mekanizması” sağlanmış olur. Mafsallı çerçevede “kolon mekanizması” olduğundan dolayı göçme için kolon tabanlarında oluşacak iki adet plastik mafsallı yeterli olmaktadır. Aynı koşullar altında birdöküm çerçevede ise, kiriş mekanizması için üç, kolon mekanizması için dört plastik mafsallı gerekmektedir. Mafsallı çerçevelerde ankastre kabul edilen “çanak” türü tabanın da tam ankastre olmasının imkansız olduğu dikkate alınır, yerdeğiştirmenin hesaplanandan fazla olacağı ve stabilite sorunun söz konusu olabileceği kolayca görülebilir.



Şekil 5.8 : Çok Katlı Çerçeve

Mafsallı düğüm noktaları enerji yutabilme ve duktilite açısından sistemin en zayıf yerleridir. Montajda kolaylık sağladığı ve üretim maliyeti bir hayli düşük olduğu için mafsallı düğümler, rijit bağlı düğümlere nazaran genelde çok tercih edilen bir bağlantı şeklidir. Ülkemizde, bir katlı endüstriyel yapılarda, bütün kirişler birbirlerine ve kolon

başlarına mafsallı olarak bağlanırlar. Kolonların alt başları temele ankastre bağlı kabul edilir. Deprem esnasında kirişlerde ve kolonların üst uçlarında hiç bir moment aktarılması söz konusu değildir. Dolayısı ile, deprem zorlanmalarında, plastik mafsallaşmalar sadece kolon alt başlarında oluşur. Kolonlar, kirişlerden daha az düktil olduğu için, plastik mafsallaşmanın kirişlerde oluşmasını esas alan monolitik yapılardaki başarılı düktil davranışı betonarme prefabrike taşıyıcılardan beklemek doğru değildir. Bu nedenle, yapı davranış katsayısı ve yük azaltma faktörü olan R' 'yi oldukça düşük seçmelidir.

Tüm bu nedenlerle, sistemin mafsallı çerçevelerden oluştuğu durumlarda sünekliğin az olacağı gözönünde bulundurularak, yönetmelikte öngörülen yatay kuvvetler arttırılmalı, hesaplar ne gösterirse gösterecek, kolon enkesitleri olabildiğince büyük seçilmeli ve kolon alt ucu olabildiğince sık etriyelerle iyice sarılmalıdır. Şekil 5.7'de çerçeveler eşit yatay yükler altında karşılaştırılmıştı. Oysa ki gerçekte yatay yükler eşit olmayacaktır. Mafsallı çerçevenin daha az sünek olması nedeniyle yatay yükün arttırılması gerekir. Ancak, bu çerçevenin birdöküme oranla rijitliği daha az olacağından, yatay yükte azalma olacaktır. Ayrıca iki çerçevenin sönüm özellikleri de farklı olacaktır. Tüm bu nedenlerle en sağlıklı çözüm, çerçevenin belirli bir deprem kaydına göre yapılacak dinamik analizinden elde edilebilecektir.

5.3.3 Diyaframlar

Birçok prefabrike yapıda döşemelerde prefabrike elemanlardan oluşmaktadır. Döşemelerin, depremden oluşacak yatay kuvvetleri bir düşey elemandan diğerine aktarabilecek dayanım ve rijitliğe sahip olmaları gerekir. Diyaframlar, sadece bulunduğu kata etkiyen yatay yükleri aktaran “basit diyaframlar” ve kendi katı dışındaki katlarında yatay yüklerini aktaran “transfer diyaframları olarak ikiye ayrılırlar.

Prefabrike çerçeve sistemlerde deprem hesabı yapılırken, diyafram düzeyinde etkiyen aynı düzlemdeki zorlamalar dikkate alınmalı ve bunların oluşturduğu kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri hesaplanmalıdır. Ayrıca, kiriş ve döşemelerdeki donatının diyafram zorlamalarını karşılamakta etkili oldukları da göz önüne alınmalıdır. Prefabrike elemanlardan oluşan kat seviyesindeki elemanların diyafram olarak etkili olabilmeleri için, elemanlar arasındaki bağlantının çok iyi yapılmış olması gerekir. Çünkü prefabrike elemanlardan oluşan diyaframlarda en önemli sorun

bağlantı sorunudur. Oluşan diyaframlarda, elemanların birbiriyle bağlantısının yanı sıra sağlıklı yük aktarabilecek özelliklere sahip birleşimlerle düşey taşıyıcı elemanlara da bağlanmalıdır. Diyaframları birbirine ve düşey taşıyıcı elemanlara bağlamanın en sağlıklı yolu, bu plakaların birbirine son gerilme ile bağlanması ya da üzerlerine 3-5 cm kalınlığında bir tabliye dökülerek monolitik özelliğe kavuşturulmasıdır.

5.4 Prefabrike Panolu Sistemlerin Tasarımı

Elastik enerji tüketme güçleri salt çerçevesel yapılara göre oldukça yüksektir. Plastik enerji tüketme güçleri aynı düzeyde yüksek değildir. Çerçevesel yapılara göre süneklikleri daha azdır, [11].

Prefabrike panolu yapılarda panolar arasındaki bağlantıların çeşidine göre moment ve kesme kuvvetlerinin aktarma biçimleri de değişir. Bu nedenle sistemlerin farklılaşması sonucu yapının depreme dayanıklı tasarımında da değişik yaklaşımların kullanılması gerekliliği doğar. Prefabrike panolu yapılarda yatay ve düşey ek yerlerinin taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitelerine göre değişik davranışlar gösterdiğinden, bu davranışlara göre çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Yerinde dökme yapıların rijit ek yerlerine göre önceden çatlamış ek yeri, prefabrike yapıların ek yerleriyle özdeş tutulur. Prefabrike panolu yapıların depreme dayanıklı olabilmesi için, yerinde dökme perde duvarlı yapılar kadar monolitik, sünek ve rijit olmalıdır. Bu sayede prefabrike yapıda, yerinde dökme betonarme yapı kadar dayanım sağlanmış olur. Aşağıda prefabrike panolu yapılarda yatay ve düşey ek yerlerinin taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitelerine göre değişik tasarım çözümleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5.4.1 Monolitik Yapı Tasarımı

Monolitik yapı tasarımının amacı, prefabrike yapının yerinde dökme betonarme perdeli yapıların davranışına benzer davranışa sahip olmasıdır. Bu tasarım çözümünde;

a) panoların, hem düşey hem de yatay birleşim yerlerinin perde duvarın tabanında plastik mafsallaşma oluşmasına yol açacak boyuttaki deprem kuvvetlerine dayanabilecek kesme kuvveti taşıma gücünde olmalarının sağlanması gerekir. Perde duvarların tabanında yeterli süneklik sağlanabilmesi için; yapının zemin katındaki ve diğer birkaç kattaki panoların uçlarında sınırlayıcı elemanlar bulunmalı, panoların

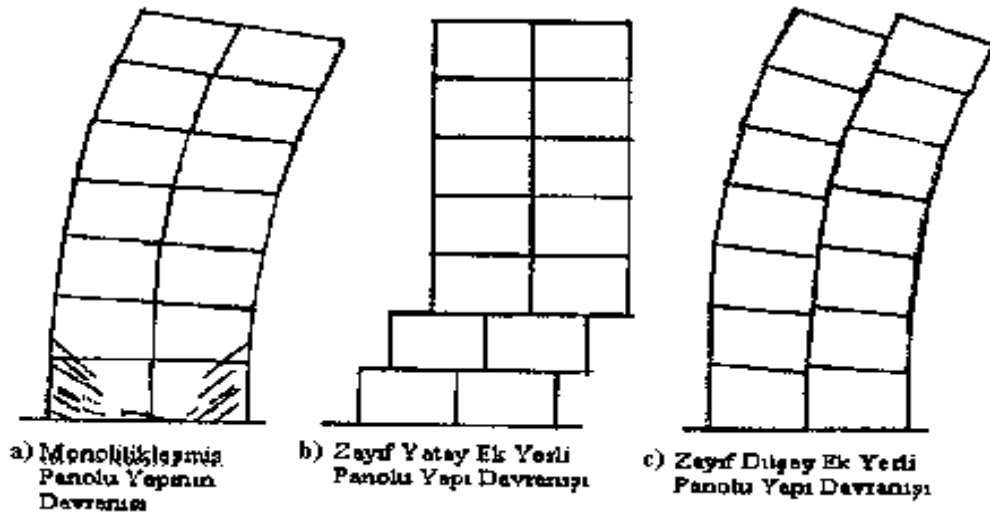
uçları daha kalın olmalı ya da yandan desteklenerek dengesizlikten dolayı erken yıkılması önlenmelidir.

b) Boyuna donatıların bindirmesi, donatıların taşıma gücüne burkulmadan ulaşabilmesini sağlayacak şekilde olmalıdır.

c) Duvarın alt kısımlarında mafsallaşmanın olduğu yerde kesme donatıları, betonun kesme kuvveti taşımaya katkısı olmayacak şekilde hesaplanmalıdır.

d) Duvar panolarının temelden kaymasını önleyecek şekilde özellikle alt katlarda yatay birleşim yerlerine yayılı kesme donatıları konmalı ve donatıların temelden ankrajı uygun biçimde sağlanmalıdır.

Yukarıdaki maddeler ışığında monolitik yapı tasarımı için, yapının ilk birkaç katının yerinde dökme betonarme olarak yapılması, döşemelerin yerinde dökme betonarme olarak yapılması veya bütün duvar panolarının temele ankrajlı çubuklarla son gerilme ile birbirine bağlanması gibi çözümler uygulanabilir.



Şekil 5.9 : Prefabrike Panolu Yapıların Deprem Davranışları

5.4.2 Yatay Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı

Alt ve üst uçları pürüzsüz olan ve ek yerinde bağlantı donatısı olmayan panolarda yatay ek yeri birleşimleri zayıf olmakta ve bu tür yapılarda yatay yükler altında kaymalar oluşmaktadır. Bu tür kaymalar, yapıda kalıcı olarak tek yönde önemli boyutlara ulaşabileceği gibi kaymaların duvar düzlemi dışına doğru olabileme tehlikesi de vardır. Bu durum yapının güvenliğini tehlikeye sokar. Büyük kalıcı kaymalar, yapıda ikinci mertebeden momentler meydana getirebileceğinden temelde ve katlarda

önemli ek devrilme momentleri oluşabilecektir. Yatay ek yerlerinin ayrıca düşey yük taşıyan yerler de olması, bu ek yerlerini kritikleştirir. Bu nedenle yapıda kalıcı kaymalarla deprem enerjisinin tüketimi güvenilir gözükmemektedir.

5.4.3 Düşey Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı

Prefabrike panolu yapıların günümüzde yapılan uygulamalarında genellikle yatay ek yerleri düşey ek yerlerinden daha güçlü olmaktadır. Yatay ek yerlerine etkiyen düşey yükler bir tür son gerilme etkisi yaratarak, ek yerinin kesme kuvveti ve moment taşıma gücünü artırır. Deneysel çalışmalarda da, düşey yük altında olan yatay ek yerlerinin daha büyük kesme kuvveti taşıma kapasitesine sahip oldukları gösterilmektedir. Düşey ek yerlerinde, ek yerlerine dik olarak etkiyen bu tür bir sıkıştırma kuvveti yoktur ve bu bakımdan düşey ek yerleri daha zayıf olur. Depremlerden elde edilen gözlemler, düşey ek yerlerinde çatlamanın daha önce olduğu şeklindedir. bu tür çatlakların olduğu yerlere, özellikle panoların kenarlarına yakın yerlerde açılmış olan kapı ve pencere boşlukları örnek olarak verilebilir. Prefabrike panolu sistemlerde düşey bağlantıların zayıf olması sonucu, düşey ek yerlerinde depremin hemen başında olan çatlamlar, üst üste dizilmiş paralel pano sıraları arasında büyük sürtünme kuvvetleri oluştururken, önemli miktarda da enerji tüketilebilmektedir.

5.4.4 Depremde Elastik Kalmayı Sağlayan Yapı Tasarımı

Prefabrike panolu sistemlerde, yapının herhangi bir yerinde sünek davranış beklentisi yoktur ve yapının oluşabilecek en büyük kuvvetlere hiçbir hasar görmeden karşı koyması beklenmektedir. Bu tür davranışın sağlanabilmesi için yatay hesap kuvvetleri oldukça büyük seçilmeli, yatay hesap kuvvetleri yerinde dökme betonarme sünek yapılara göre en az 2-3 kat daha büyük alınmalı ve panoları ve birleşim yerleri olabildiğince yüksek taşıma kapasitesiyle yapılmalıdır. Yapıda ek yerlerinin kritik oluşları nedeniyle ek yerlerinin elemanlara göre daha büyük alınmış yatay kuvvetlere dayanabilecek güçte olmaları sağlanmalı, bunun için panoların yeterli genişlikte olması ve yatay birleşim yerini kesen pek çok sayıda düşey donatı bulunması, düşey birleşim yerlerinin ise çatlamayacak biçimde tasarlanması gerekmektedir.

Tüm bu tasarım yaklaşımları incelendiğinde prefabrike panolu sistemlerin depreme dayanıklı tasarımında üç ana sonuca varılmaktadır.

a) Prefabrike panolu yapıların en uygun tasarımı, düşey ek yerlerinin enerji tüketebilecek güçte, eleman ve yatay ek yerlerinin ise yüksek taşıma güçlü ve elastik bölgede kalacak biçimde tasarlanmasıdır. Bu ise pano ve yatay ek yerlerinin, düşey ek yerlerine göre iki katı kadar daha büyük yatay kuvvetlere göre tasarlanmasını gerektirebilir.

b) Prefabrike yapıların tasarımında kullanılacak yatay kuvvetlerin, yerinde dökme betonarme yapılar için öngörülenden daha büyük olması gerekir. Çünkü her türlü prefabrike yapının ek yerleri, yerinde dökme yapılar kadar rijit ve enerji tüketebilecek güçte değildir. Bu durum gerek deneysel olarak, gerekse deprem sonrası gözlemler sonucu saptanmıştır.

ABD ve Japonya'nın müştereken yürüttükleri PRESSS (Precast Seismic Structural Systems) projesi kapsamında depreme dayanıklı prefabrike inşaat konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, Japon beton şartnamesi prefabrike betonarme yapıları da içerecek şekilde genişletilmiştir. Japon araştırmacılar prefabrike betonarme yapılarda bağlantıların Eşdeğer Monolitik Birleşim özelliklerine sahip olduğu durumlarda normal betonarme şartname kurallarının kullanılabilirliği belirtmektedir.

Bu özellikler şöyle sıralanabilir;

- 1) Bağlantılar monolitik sisteme eşdeğer rijitlik ve dayanıma sahip olmalı
- 2) Bağlantılar hesap momentini ve/veya kuvvetlerini aktaracak mukavemette olmalı
- 3) Monolitik sisteme eşdeğer dayanımlılıkta, kullanılabilirlikte ve yangına karşı dayanımlılıkta olmalıdır.

6. PREFABRİKE YAPILARIN HESAP ESASLARININ ÇEŞİTLİ YÖNETMELİKLERE GÖRE İRDELENMESİ

6.1 Yönetmeliklerin Amacı Ve Kaynakları

Yapı yönetmeliklerinin temel amacı, yapının gerekli güvenliği ve kullanılabilirliğe sahip olabilmesi için minimum koşulları belirlemektir. Yönetmeliklerin diğer bir amacı da, yapı güvenliği ve kullanılabilirliğini, ekonomik sınırlar içinde sağlamaktır. Çağdaş yönetmeliklerde, göçmeye karşı yeterli güvenliğin sağlanmasının yanı sıra, servis yükleri altında yapının kullanılabilir kalmasına da önem verilir (aşırı deformasyon, çatlama ve titreşimin önlenmesi). Hem göçmeye karşı gerekli güvenliğin elde edilmesi, hem de servis yükleri altında yapının kullanılabilir kalması, en sağlıklı biçimde, "Sınır Durumlar Yöntemi" ile sağlanabilir. TS-500 de benimsenen bu yöntemde göre hesaplar " taşıma gücü sınır durumuna göre " yapılır, " kullanılabilirlik sınır durumu" ayrıca kontrol edilir. Bu yöntemde yükler aşırı yüklenme olasılığı göz önüne alınarak belirli katsayılarla çarpılarak büyütülürken, malzeme dayanımları da çeşitli olasılıklar dikkate alınarak malzeme katsayılarına bölünerek azaltılır.

Yük ve malzeme katsayıları elde ki istatistiksel verilere dayanılarak, kabul edilen bir yıkılma olasılığına göre saptanır. Yıkılma olasılığının, dolayısı ile yük ve malzeme katsayılarının saptanmasında ülkenin sosyal ve ekonomik koşulları ile teknolojik düzeyi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Yönetmelikler yapılırken başlıca üç kaynaktan yararlanır :

- a-Deneysel ve teorik araştırma sonuçları,
- b-Uygulamada edinilen deneyimler,
- c-Uluslar arası veya diğer ulusal yönetmelikler.

Her üç kaynaktan da sağlıklı bir biçimde yararlanabilmek için belirli bir düzeye erişmiş olmak şarttır. Amatörlerden oluşan kurullarca hazırlanmış yönetmeliklerde

literatürdeki bazı araştırma sonuçlarının, irdelenip, süzgeçten geçirilmeden, sanki tartışmasız bilimsel gerçeklermiş gibi aynen benimsenmesi sonucu birçok sorun doğmuş hatta bu tür yaklaşımlar bazen felaketle sonuçlanmıştır.

O ülkede ve ya başka ülkelerde uygulamada edinilen deneyimlerin de irdelenip tartışılmadan yönetmeliklere aktarılması tehlikelidir. Bu irdelemeleri yapabilecek düzeyde olmadıklarına inanan bazı gelişmekte olan ülkelerin başvurdukları temel kaynak, uluslar arası veya diğer gelişmiş ülke yönetmelikleri olmuştur. Başka bir ülkenin yönetmeliğini tercüme edip aynen kabul etmek, birçok ülkede güvenli ve tutarlı yol olarak görülmektedir. Kanımızca, başka bir ülkenin, özellikle gelişmiş başka bir ülkenin ekonomik, sosyal ve teknolojik koşullarına göre hazırlanmış yönetmeliklerin, koşulları çok değişik diğer bir ülkeye aynen uygulanması son derece sakıncalıdır. Bu gibi durumlarda ülkenin ekonomik ve sosyal yapısı, teknolojik düzeyi göz önünde bulundurularak gerekli değişiklikler yapılmalıdır.

Yönetmelikler nedeni ile mühendisler aynı kalıplar içinde hesap yapmaya zorlandığından bunların kolayca kontrol edilmesi de mümkün olmuştur. Yönetmeliklerin bu sayılan avantajları yanında bazı sakıncaları da vardır. Alışlagelmişin dışında görkemli yapıtların katı kurallar ve standartlaşmış yöntemlerle oluşturulamayacağı yadsınmaz bir gerçektir. Bu gibi yapıtların hesabında yönetmelikler maalesef yetenekli ve usta mühendisin yaratma gücünü sınırlamaktadır. Yönetmelikler vasat ve vasatın altında mühendisler için yapılmış olduğundan, olağanüstü mühendislik önsezisine sahip yaratıcı mühendisler için bazı handikaplar oluşturmaktadır. Bu durumun henüz tasarı aşamasında olan, ABYYHY 2005 'in "taşımaya gücü" yerine "performansa dayalı" çözümlenmeleriyle önüne geçilmesi beklenmektedir.

6.2 Türk Deprem Yönetmeliği (ABYYHY'98)

ABYYHY'98'e göre binaların ve bina türü yapıtların deprem hesabında üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlar; Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleridir. Bu çalışma kapsamında sadece Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi incelenecektir.

6.3 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkileyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti), V_t , (6.1) formülüyle hesaplanır:

$$V_t = WA(T_1)/R_a(T_1) \quad (6.1)$$

Bu değer $0.10A_0IW$ değerinden küçük olmamalıdır. Burada;

Bu bağıntıda yer alan, W binanın toplam ağırlığını, $A(T_1)$ göz önüne alınan deprem doğrultusu için binanın birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen spektral ivme katsayısını ve $R_a(T_1)$ göz önüne alınan deprem doğrultusu için binanın birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e karşı gelen deprem yükü azaltma katsayısını, A_0 etkin yer ivmesi katsayısını, I ise bina önem katsayısını göstermektedir.

Bina önem katsayısı I , binanın kullanım amacı veya türüne göre değişmekte olup, değerleri Tablo 6.1 'de verilmiştir.

Tablo 6.1: Bina Önem Katsayısı (I)

Binanın kullanım amacı ve türü	Bina önem katsayısı (I)
Deprem sonrası kullanımı gereken binalar (Hastane, dispanser, itfaiye, PTT)	1.5
İnsanların uzun süreli olarak bulunduğu ve eğerli eşyaşların saklan dığı binalar (Okullar, yurt ve yatakhaneler, kışlalar, ceza evleri)	1.4
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar (spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları)	1.2
Diğer binalar (Konutlar, işyeri, oteller, bina türü endüstri yapıları vs.)	1.0

Bina toplam ağırlığı, W , (6.2) formülüyle hesaplanır.

$$W = \sum g_i + nq_i \quad (6.2)$$

Burada n , Hareketli Yüğü Katılım Katsayısı olup, değerleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Endüstri binalarında; sabit ekipman ağırlıkları için $n = 1$ alınır, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında gözönüne alınmaz. N , toplam kat sayısı, g_i ve q_i ise binanın i 'nci katındaki toplam hareketli ve sabit yüklerdir.

Tablo 6.2: Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)

<i>Binanın Kullanım Amacı</i>	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan ve tanım olarak %5 sönüm oranı için elastik Tasarım İvme Spektrumu'nun yer çekimi ivmesi g 'ye bölünmesine karşı gelen Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$,

$$A(T) = A_0 IS(T) \quad (6.3)$$

Bu formülde, deprem bölgelerine göre değişen ve deprem tehlikesinin bölgedeki durumunu gösteren Etkin yer ivme katsayısı, A_0 , Tablo 2.1 'de tanımlanmıştır.

Tablo 6.3: Etkin Yer İvme Katsayısı, A_0

DEPREM BÖLGESİ	$A_0(G)$
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

Spektrum katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesap edilir.

$$S(T) = 1 + 1.5 T / T_A \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (6.4)$$

$$S(T) = 2.5 \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (6.5)$$

$$S(T) = 2.5 (T_B / T)^{0.8} \quad T_B \leq T \quad (6.6)$$

$$S > 0.10R$$

Tablo 6.4'de yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B (saniye), değerleri görülmektedir.

Tablo 6.4: Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B)

Yerel zemin sınıfı	T_A (s)	T_B (s)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Deprem yönetmeliklerinde genel eğilim, meydana gelme olasılığı düşük olan deprem etkisinin taşıyıcı sistemin elastik ötesi kapasitenin de göz önüne alınarak taşınmasıdır. Fakat çözümlemede bir zorluk nedeniyle deprem yükü belirli bir katsayıya bölünerek azaltılır ve taşıyıcı sistemin doğrusal elastik çözümü kullanılır. Buradaki azaltma katsayısı $R_a(T)$ “Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı”dır.

$$R_a(T)=1.5+(R-1.5)T/T_A \quad 0 \leq T \leq T_A \quad (6.7)$$

$$R_a(T)=R \quad T_A \leq T \quad (6.8)$$

R Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, T_1 Yapı Periyoduna ve T_A Zemin Spektrum Karakteristik Periyoduna bağlı olarak verilmiştir. Yeni deprem yönetmeliğinde yerinde dökme betonarme binalar, prefabrik betonarme binalar ve çelik binalar için süneklik düzeyine bağlı olarak Tablo 6.5 'de gösterildiği gibi verilmiştir.

6.3.1 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

Toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak tanımlanır ve (6.9)'deki gibi formüle edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum F_i \quad (6.9)$$

$H_N > 25$ m için binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'nin değeri, birinci doğal titreşim periyodu T_1 'e bağlı olarak (6.10)'daki formülle belirlenir. $H_N \leq 25$ içinse $\Delta F_N = 0$ alınacaktır.

$$\Delta F_N = 0.07T_1V_T \leq 0.2V_t \quad (6.10)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci (en üst) kat dahil olmak üzere, bina katlarına aşağıdaki (6.11) formülüyle dağıtılır.

$$F_i = (V_i - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)} \quad (6.11)$$

Tablo 6.5: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
1) Yerinde Dökme Betonarme Binalar		
1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	8
1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
1.4) Deprem yüklerinin, çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	4	7
2) Prefabrike Betonarme Yapılar		
2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar.....	3	6
2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	--	5
2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	--	4
2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluksuz) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	5
3) Çelik Binalar		
3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	7
3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	3	--
b) Çaprazların dış merkez olması durumu.....	--	7
c) Betonarme perde durumu.....	4	6
3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	--
b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	--	8
c) Betonarme perde durumu.....	4	7

6.3.2 Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden görelî kat ötelemesi Δ_i , aşağıdaki formülle elde edilir;

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (6.12)$$

Bu formüldeki d_i ve d_{i-1} , binanın i 'nci ve $i-1$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesapla elde edilen yatay yer değiştirmeleri gösterir.

Her bir deprem doğrultusu için, hesaplanan gerekli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\Delta_i)_{\text{maksimum}}$, 1.8 göre hesaplanan değerlerden elverişsiz olanını sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{\text{max}} / h_i \leq 0.0035 \quad (6.13a)$$

$$(\Delta_i)_{\text{max}} / h_i \leq 0.02R \quad (6.13b)$$

6.13'de verilen koşulların binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak, verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların elde edilen görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanmalıdır.

6.3.3 Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan binaların, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu (6.14) formülüyle hesaplanır.

$$T_1 = C_t H_N^{3/4} \quad (6.14)$$

Buradaki C_t değeri, bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak iki türlü belirlenir.

a) Deprem yüklerinin tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda C_t değeri (6.15) daki gibi hesaplanır.

$$C_t = 0,075 / A_t^{1/2} \leq 0.05 \quad (6.15)$$

Burada A_t eşdeğer alanı;

$$A_t = \sum A_{wj} \left[0.2 + \left(l_{wj} / H_N \right)^2 \right] \quad (6.16)$$

formülüyle hesaplanır. Bu bağıntıda (l_{wj} / H_N) oranının en büyük değeri 0.9 olarak gözönüne alınır.

b) Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda $C_t = 0.07$, taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.08$, diğer tüm binalarda ise $C_t = 0.05$ alınacaktır.

6.3.4 Prefabrike Betonarme Binalara İlişkin Özel Koşullar

ABYYHY'ye göre prefabrike yapılar;

- 1) Prefabrike mafsallı (moment aktarmayan) çerçeveli,
 - 2) Moment aktarabilen bağlantılara sahip prefabrike çerçeveler,
- şeklinde iki grupta toplanabilir.

Yönetmelikte bağlantıları mafsallı prefabrike yapılara, endüstri yapısı türü tek katlı binalar dışında, her iki doğrultuda yatay deprem yüklerinin tamamını taşıyabilen yerinde dökme perdeler yapılması koşuluyla izin verilebilir. Kaynaklı olarak yapılan mafsallı bağlantılarda hesaplanan depremden oluşacak bağlantı kuvvetlerinin en az 1,5 katını, diğer mafsallı bağlantılar ise en az 1.2 katını taşıyacak yeterli dayanıma sahip olacak şekilde dizayn edilmelidir.

Yönetmelikte bağlantıları moment aktarabilen prefabrike yapılar için 7.12.2.1. maddesine “Prefabrike bina çerçevelerindeki moment aktarabilen tüm bağlantıların deprem etkisi ile oluşan tersinir ve yinelenir yükler altında monolitik davranışa eşdeğer dayanıklılığa ve sünekliğe sahip oldukları, literatürden kaynak verilerek, analitik yöntemlerle veya deneylerle kanıtlanmış olacaktır.” koşulunu getirmiştir. Öne sürülen koşul oldukça ağırdır. Özellikle çok katlı prefabrike yapılarda yatay yüklerin etkisiyle oluşan deplasmanların ve kesit tesirlerinin küçültülmesi amacıyla moment aktaran birleşimlerden oluşan çerçeve sistemlerin oluşturulması kaçınılmazdır. Dolayısıyla bu tür bağlantıları sahip prefabrike çerçevelerin monolitiğe eşdeğer bir davranış sergilemesi istenmektedir. Ayrıca birleşim yerleri, dayanımlarında ve düktil özelliklerinde herhangi bir azalma olmadan, en büyük moment, kesme kuvveti ve eksenel yüklerin transferini sağlayabilecek dayanımda olmalıdırlar. Hesap aşamasında birleşime etkiyen sismik kuvvetler kaynaklı birleşimlerde 1.5 kat, diğer birleşimlerde

ise 1.2 kat daha fazla olarak dizayn edilecektir. Bağlantılar, bağlanan elemanlarda plastik mafsal oluşma olasılığı yüksek olan yerlerden olabildiğince uzakta düzenlenmelidir.

6.4 UBC'97

6.4.1 Statik Deprem Kuvveti Prosedürü

Göz önüne alınan doğrultuda etkiyen toplam taban kesme kuvveti, V , aşağıdaki formüllerle açıklanmıştır, [35].

$$V=WC_vI/RT \quad (6.17)$$

$$V<2.5WC_aI/R \quad (6.18)$$

$$V>0.11C_aIW \quad (6.19)$$

Toplam taban kesme kuvveti 4.Derecedeki deprem bölgesinde $0.8WZN_vI/R$ değerinden küçük olamaz. Bu bağlantılarda yer alan W yapının toplam ağırlığı olup, binanın toplam ağırlığını alırken, hareketli yükün 0.5 kN/m^2 'lik bir kısmı ile, kar yükünün tamamı bina yüküne eklenir. Kar yükünün 1.44 kN/m^2 'daha az olduğu bölgelerde, kar yükü ilâvesi yapılmaz. T yapının periyodu, R taşıyıcı sistem davranış katsayısını ifade etmektedir. Z etkin yer ivme katsayısını, C_a ve C_v etkin yer ivme katsayısına bağlı katsayıları, N_a , N_v depremin merkez üssüne uzaklığa bağlı etkileşim katsayılarını, I ise yapı önem katsayısını ifade etmektedir. Bu katsayılara tablo 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11' den ulaşılabilir.

6.4.2 Taban Kesme Kuvvetinin Düşey Dağılımı

Toplam yatay kuvvet yapı yüksekliğine bağlı olarak aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$V=F_t + \sum_{i=1}^n F_i \quad (6.20)$$

Yapının üst noktasından yatay bir F_t toplam kuvvet uygulanır ve F_n yatay kuvvetine dahil edilir.

$$F_t=0,07TV \quad (6.21)$$

F_t , değeri hiçbir zaman $0.025V$ 'yi geçemez. $T \leq 0,7$ sn için sıfır alınabilir. Taban kesme kuvvetinin artı kalan kısmı, n 'inci katı da kapsayarak yapının bütün yüksekliği boyunca dağıtılmalıdır ve toplam yatay kuvvet katlara aşağıdaki formülle dağıtılır.

$$F_x = \frac{(V - F_t)W_x h_x}{\sum_{i=1}^n W_i h_i} \quad (6.22)$$

W_i , W_x kat kütlelerini, h_i , h_x kat kütlelerinin temelden yüksekliğini tayin eder.

6.4.3 Yapı periyodunu tayini

Tüm binalar için T 'nin yaklaşık değeri aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$T = C_t * h_N^{3/4} \quad (6.23)$$

Burada C_t katsayısı moment yüklerinin çerçevelerle taşındığı çelik binalarda 0.08, betonarme binalarda 0.07 ve diğer tüm binalarda 0.05 alınabilir, h_N toplam bina yüksekliğidir. Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması

Temel periyodu T 'nin 0.7 sn'den küçük olan binalarda, Δ_m kullanılarak hesaplanan kat yerdeğiştirmesi, kat yüksekliğinin 0,025 katını aşmamalıdır. Temel periyodu T 'nin 0.7 sn'ye eşit veya daha büyük olan binalarda, hesaplanan kat yerdeğiştirmesi kat yüksekliğinin 0.02 katını aşmamalıdır.

$$\Delta_m \leq 0.025 h \quad T < 0.7 \text{ sn} \quad (6.24a)$$

$$\Delta_m \leq 0.02 h \quad T \geq 0.7 \text{ sn} \quad (6.24b)$$

Yapıda oluşacak ikinci mertebeli momentleride dikkate alarak bulunan maksimum inelastik deplasmanlar;

$$\Delta_m = 0.7R\Delta_s \quad (6.25)$$

olarak hesaplanır.

Δ_m = Taban kesme kuvveti etkisi altında malzemelerin inelastik davranışlarında dikkate alınarak bulunan toplam yer değiştirmesi

Δ_s = Deprem kuvvetleri etkisinde yapıda oluşacak toplam deplasmanı ifade eder.

6.4.4 Prefabrike binalar için özel kurallar

- a) Prefabrike elemanları birleştirmek için kullanılan malzemeler, eleman birleşimlerinin dayanımlarını geliştirmeye yeterli olmalıdır.
- b) Tüm tasarımlar prefabrike binaların birleşim noktalarının güçlendirilmesi için yapılmalıdır. Birleşim noktalarında dikkate alınacak yanal deprem kuvvetleri;

$$F_p = 4C_a I_p W_p \quad (6.26a)$$

veya

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p}{R_p} \left(1 + 3 \frac{h_x}{h_r}\right) W_p \quad (6.26b)$$

formülleriyle hesaplanmaktadır. Burada F_p değeri $0.7C_a I_p W_p$ ile $4C_a I_p W_p$ arasında olmalıdır. Prefabrike yapılar birleşim noktalarında $a_p=1$ ve $R=3$ alınır. h_r çatı yüksekliğini ve h_x ise eleman yüksekliğini ifade eder.

- c) Yapı davranış katsayısı, R , ise konsol kolonlu sistemler için 2.2 alınır.

Tablo 6.6: Etkin Yer İvme Katsayısı, Z

Deprem Bölgesi	1	2A	2B	3	4
Z	0.075	0.15	0.20	0.30	0.40

Tablo 6.7: Zemin Profil Tipi

Zemin Profili Tipi	Zemin Cinsi	Üstten 30 M'lik Kısım İçin Zemin Özellikler		
		Kayma Dalgası Hızı (m/s)	Standart Pen. Katsayısı, N	Drenajsız Kayma mukavemeti, (kPA)
A	Sert Kaya	>1500	-	-
B	Kaya	760'dan 1500'e	-	-
C	Çok Sıkı Zemin	360'dan 760'a	>50	100
D	Sert zemin profili	180'den 360'a	15'den 50'ye	50'den 100'e
E	Yumuşak zemin Profili	<180	<15	<50

Tablo 6.8: Sismik Katsayı, C_v

Zemin Profili Tipi	Sismik Bölge Katsayısı				
	Z=0.075	Z=0.15	Z=0.20	Z=0.30	Z=0.40
S _A	0.06	0.12	0.16	0.24	0.32 N _v
S _B	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40 N _v
S _C	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56 N _v
S _D	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64 N _v
S _E	0.26	0.50	0.64	0.84	0.96 N _v

Tablo 6.9: Yakınlık Katsayısı, N_v

Deprem Tipi	Deprem Kaynağına Olan Mesafe			
	<2 km	5 km	10 km	>15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 6.10: Sismik Katsayı, C_a

Zemin Profil Tipi	Sismik Katsayılar, Z				
	$Z=0.075$	$Z=0.15$	$Z=0.2$	$Z=0.3$	$Z=0.4$
S_A	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32 N_a$
S_B	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40 N_a$
S_C	0.09	0.18	0.24	0.33	$0.40 N_a$
S_D	0.12	0.22	0.28	0.36	$0.44 N_a$
S_E	0.19	0.30	0.34	0.36	$0.36 N_a$

Tablo 6.11: Yakınlık Katsayısı, N_a

Deprem Tipi	Deprem Kaynağına Olan Mesafe		
	<2 km	5 km	>10 km
A	1.5	1.2	1.2
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Tablo 6.12: Sismik Kaynak Tipi

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynağın Tanımı	En Büyük Moment Şiddeti	Kayma Oranı (mm/yıl)
A	Büyük Deprem Üretme Kapasitesine Sahip Faylar	$M \geq 7.0$	$SR \geq 5$
B	A ve C'ye Uymayan Tüm Fay Tipleri	$M \geq 7.0$	$SR < 5$
		$M < 7.0$	$SR > 2$
		$M \geq 6.5$	$SR < 2$
C	Büyük Deprem Üretme Kapasitesine Sahip Olmayan Faylar	$M < 6.5$	$SR \leq 2$

Tablo 6.13: Bina Önem Katsayısı

Kategori	Yapıcı Fonksiyonu	Önem Katsayısı	
		I	I _p
Önemli Yapılar	Enerji Santralleri, Yangın ve Polis İstasyonları, Acil Durum ve Haberleşme Merkezleri	1.25	1.5
Zararlı Atık İçeren Yapılar	Toksit ve Patlayıcı Madde İçeren Yapılar	1.25	1.5
Özel Yapılar	Ofis, Otel, Tatil Köyü ,Endüstri Yapıları	1	1

6.5 Eurocode-8'e Göre Deprem Tasarımı

6.5.1 Statik Deprem Kuvveti Prosedürü

Sismik taban kesme kuvveti, F_b , uygulanacak deprem doğrultusu için aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$F_b = S_d * W \quad (6.27)$$

Burada T yapının doğal titreşim periyodunu, W yapının toplam ağırlığını ifade eder. Yapı toplam ağırlığı bulunurken kar yüklerinin %20'si yük olarak dikkate alınır. S_d , dizayn spektrumu olup farklı durumlar için aşağıdaki formüllerle hesaplanır;

$$S_d = \alpha S \left[1 + \frac{T}{T_B} \left(\frac{\beta_0}{q} - 1 \right) \right] \quad 0 \leq T \leq T_B \quad (6.28)$$

$$S_d = \alpha S \frac{\beta_0}{q} \quad T_B \leq T \leq T_C \quad (6.29)$$

$$S_d = \alpha S \frac{\beta_0}{q} \left[\frac{T_C}{T} \right]^{k_{d1}} \quad T_C \leq T \leq T_D \quad (6.30)$$

$$S_d = \alpha S \frac{\beta_0}{q} \left[\frac{T_C}{T_D} \right]^{k_{d1}} \left[\frac{T_D}{T} \right]^{k_{d2}} \quad T_D \leq T \quad (6.31)$$

Formül 6.30 ve 6.31'de dizayn periyodu $S_d > 0.2\alpha$ olmalıdır. α deprem ivmesinin yer çekim ivmesine oranıdır. S zemin parametresi, β_0 spektral ivme katsayısı, k_{d1} ve k_{d2} katsayıları, T_B , T_C , T_D zemin sınıfları için karakteristik zemin periyotları Tablo 6.14'dan alınabilir. Davranış katsayısı q tablo 6.18'den alınabilir.

6.5.2 Yatay Sismik Kuvvetlerin Katlara Dağılımı

Temel mod biçimi, yükseklik boyunca linner olarak artan yatay yer değiştirme ile örtüştürülür ve toplam yatay kuvvetler katlara yükseklik ve kütleleriyle orantılı olarak dağıtılır.

$$F_i = F_b + \frac{z_i W_i}{\sum_{j=1}^n z_j W_j} \quad (6.32)$$

F_i = i. kata etkiyen yatay kuvveti

z_i, z_j = kat kuvvetleri W_i ve W_j 'nin temelden yüksekliğini ifade eder.

6.5.3 Yapı temel periyodu

Eurocod-8'de binanın temel titreşim periyodunu bulmak için, yapı dinamiği-Rayleigh Metodu önerilir. Ancak başlangıç dizayn aşamasında aşağıdaki yaklaşık formül kullanılır.

Yüksekliği 80 m'den az binalar için T ;

$$T = C_t * h_N^{3/4} \quad (6.33)$$

Burada C_t katsayısı moment yüklerinin çerçevelerle taşındığı çelik binalarda 0.08, betonarme binalarda 0.07 ve diğer tüm binalarda 0.05 olarak alınır, h_N toplam bina yüksekliğidir.

Yüksekliği 80 m'den büyük binalarda ;

$$T = 2d^{1/2} \quad (6.34)$$

d, metre cinsinden binanın tepe noktasının deplasmanıdır.

6.5.4 Kat deplasmanı sınırlamaları

Eurocode-8 'de yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması kullanılabilir limit durum içindir. Burada iki farklı durum tanımlanmıştır. Denklem (6.35) taşıyıcı olmayan elemanların gevrek olduğu yapılarda kullanılır. Denklem (6.36) ise yapısal olmayan elemanların taşıyıcı elemanlara sabitlenmesi durumu dikkate alınmıştır.

$$d_r/v = 0,004 h \quad (6.35)$$

$$d_r/v = 0,006 h \quad (6.36)$$

v , azaltma faktörü olup bu değer önem katsayısıyla ilişkilidir (Tablo 6.16).

d_r ise katlar arasındaki kat ötelemeleri farkını (Görelî Kat Ötelemesi) ifade eder.

$$d_r = d_s - d_{s-1} \quad (6.37)$$

$$d_s = k_d * q_o * d_e * \gamma_I \quad (6.38)$$

d_s , belirtilen noktanın yer değiştirmesi; k_d , süneklik katsayısı (Tablo 6.17); q_o , davranış katsayısı (Tablo 6.18); d_e , elastik analiz yöntemine göre noktaların deplasmanı ve γ_I , önem katsayısı (Tablo 6.19)'nı ifade eder.

6.5.5 Prefabrike binalar için özel kurallar

Eurocode-8'de prefabrike binalar beş ayrı kategoriye ayrılmıştır.

- Çerçeve Sistemler
- Panolu Sistemeler
- Karma Sistemler (prekast kolon, kiriş ve prekast veya monolitik panolar)
- Hücre Sistemler
- Ters sarkaçlı Sistemler (Yapının kütleinin % 50 veya daha fazlasının yapı yüksekliğinin üst 1/3'de toplandığı binalar mesela prefabrike endüstri yapıları gibi)

Prefabrike binalarda davranış katsayısı q_p ;

$$q_p = k_p * k_d * q_o \quad (6.39)$$

formülüyle ifade edilir. Burada;

$k_p = 1,0$ (Birleşim yerlerinin kritik bölgeden uzak yerleştirildiği prefabrike sistemler)

$k_p = 0,75$ (Eleman boyutların fazla tutulduğu veya enerji sönümleyicilerin kullanıldığı binalar -enerji dağıtabilen sistemler-)

$k_p = 1,0$ (üsteki özel kurallara uymayan binalar)

6.5.6 Prefabrike bina birleşim bölgeleri için özel kurallar

- Mafsal bölgelerinin dışında yapılan birleşimlerde; bu tür birleşimlerin hesabında dikkate alınan kesit tesirler 1.1 katsayısıyla artırılmalıdır.
- Aşırı dizayn birleşimleri; Birleşimlerin mafsal bölgelerinde yapıldığı fakat aşırı dizayn yapılarak inelastik bölgenin birleşimin dışına taşındığı birleşimlerdir. Bu tür birleşimlerde kesit tesirleri yüksek-orta sünek davranış için 2.0, düşük süneklik için 1,5 katsayısıyla artırılmalıdır.
- Enerji sönümleyicilerin kullanıldığı birleşimler; bu tür birleşimlerde yerel süneklik kurallarını sağlamalıdır.
- Birleşimin mafsal bölgelerinde yapılan binalarda hesap kuvveti;

$$R_{pd} = R_d / (\gamma_{Rd} \gamma_{cycl}) \quad (6.40)$$

R_d : Monolitik yüklemeye dizayn kuvvetleri

γ_{Rd} : Ekstantirisite faktörü

γ_{cycl} : Bireleşimin sünekliğine bağlı bir azaltma faktörü.

Normal kuvvet etkisi altında $\gamma_{Rd} = 1,2$ (yüksek sünek birleşimlerde), $\gamma_{Rd} = 1,1$ (orta sünek birleşimlerde), $\gamma_{Rd} = 1,0$ (Düşük sünek birleşimlerde) alınır. Kesme kuvveti etkisi altında yüksek, orta, düşük süneklik seviyelerine göre sırasıyla $\gamma_{Rd} = 1.35, 1.25, 1.15$ 'dir. Düşey birleşimlerde normal kuvvet etkisi altında $\gamma_{cycl} = 1.15$, kesme kuvvetleri etkisi altında $\gamma_{cycl} = 1.2$, yatay birleşimlerde kesme kuvveti etkisi altında;

$$\gamma_{cycl} = 1 + 0,15 q_p \geq 1,20 \quad (6.41)$$

Kritik bölge dışında oluşturulan birleşimlerin dizayn dayanımlarının γ_{Rd} ve γ_{cycl} katsayıları ile azaltılmasına gerek yoktur.

Kritik bölge içerisinde yapılacak olan kolon-kolon birleşimlerine ancak düşük süneklik sınıflarında izin verilebilir.

Tablo 6.14: Temel zeminin sınıflandırılması

Temel Zemini	Tanım	Vs (m/s)
A	Kaya veya diğer jeolojik formasyonlar sık kum veya aşırı konsolide kil zemin	>800
		>400
B	Orta sıkı kum, çakıl veya sert killer	350-200
C	Gevşek korozyonsuz zeminler orta katı yumuşak korozyonsuz zeminler	<200
		<200

Tablo 6.15: Elastik davranışta parametreler

Temel zemini	S	β_0	k_{d1}	k_{d2}	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
A	1.0	2.5	2/3	5/3	0.1	0.4	3.0
B	1.0	2.5	2/3	5/3	0.15	0.6	3.0
C	0.9	2.5	2/3	5/3	0.2	0.8	3.0

Tablo 6.16: Azaltma katsayısı, v

Önem kategorisi	I	II	III	IV
Azaltma katsayısı	2.5	2.5	2	2

Tablo 6.17: Düktilite sınıfı katsayı, k_d

süneklik sınıfı	yüksek	orta	düşük
k_d	1	0.75	0.5

Tablo 6.18: Davranış faktörü, q_0

Yapı Tipi	q_0	
Çerçeve Sistemi	5.0	
Karışık Sistemler	Çerçeve Sistemleri	5.0
	Perdeli Sistemler Çift Yönlü	5.0
	Perdeli Sistemler Tek Yönlü	4.5
Panel sistemler	Çift yönlü paneller	5.0
	Tek yönlü yapılar	4.0
Çekirdek sistemler	3.5	
Ters sarkaç tipi yapılar	2.0	

Tablo 6.19: Önem katsayısı, γ_1

Önem Kategorisi	Yapılar	Önem Faktörü, γ_1
I	Hastaneler, itfaiyeler, enerji santralleri	1.4
II	Okul, enstitüler, toplantı salonları	1.2
III	Sıradan yapılar	1.0
IV	Düşük öneme sahip yapılar	0.8

7. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde prefabrike çerçevesi ve panolu sistemler için deprem yönetmeliklerinin karşılaştırıldığı sayısal uygulamalara yer verilmiştir. Seçilen prefabrike sistemin TDY'98, UBC'97 ve Eurocode 8 'e göre ayrı ayrı taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

7.1 Prefabrike Çerçeve Yapılar İçin Sayısal Uygulama

Bu bölümde tek katlı endüstriyel prefabrike bina dizayn örneği olarak alınmış ve çeşitli yönetmeliklere göre taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

7.1.1 Yapı Hakkında Bilgiler

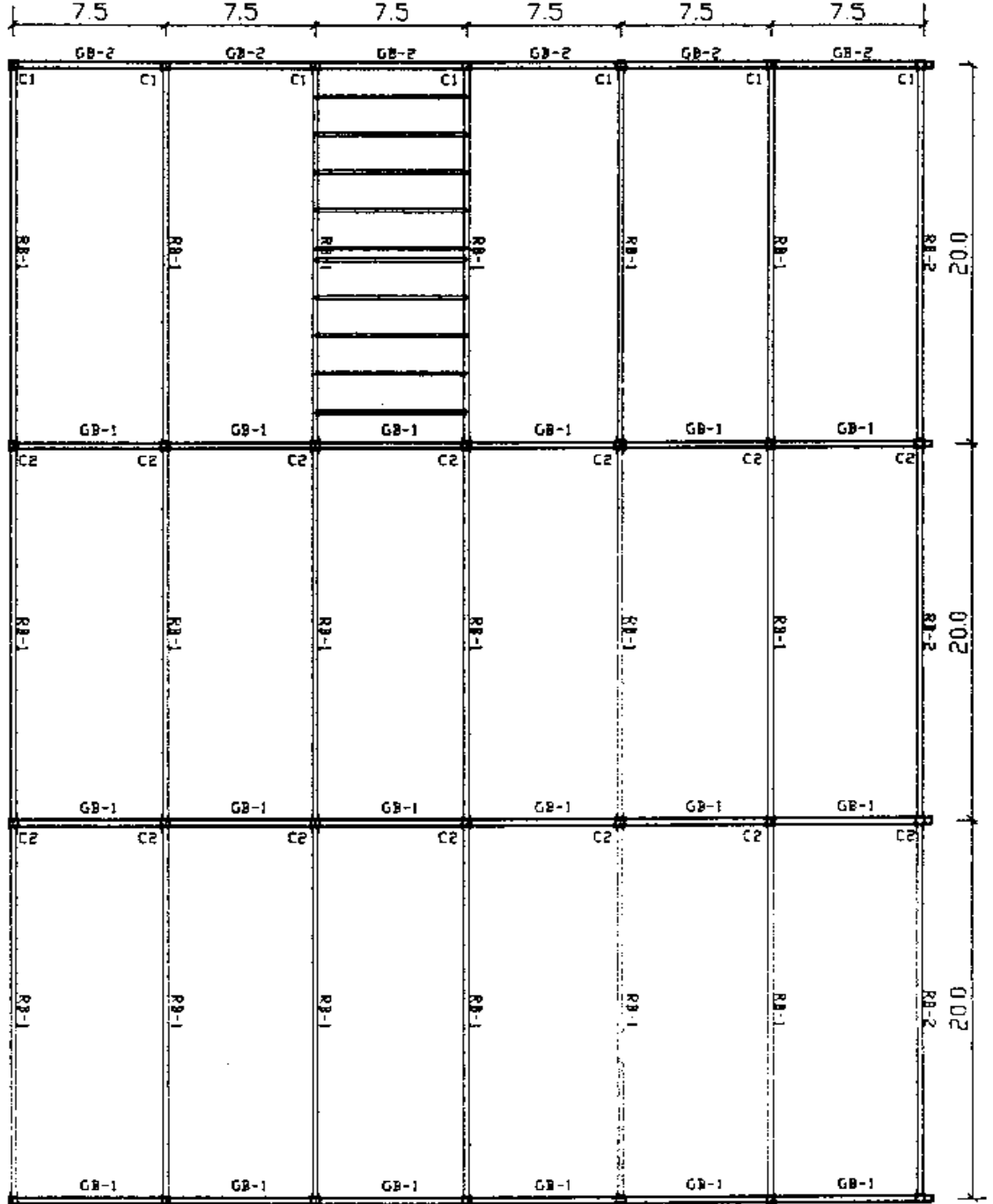
Yapının oldukça sismik bir bölge olan Marmara Bölgesinde olduğu varsayılmıştır. Zemin tipi ise TDY'98, UBC'97 ve Eurocode 8' göre sırasıyla Z3, SD ve B olduğu varsayılmıştır. Bina oldukça sünek dizayn edilmiştir. Kesik duvarlar yoktur, bu yüzden toplam deprem yükü ankastre tip kolonlara yüklenmiştir. Ölü yük ve kar yükü TS 498'in ve TS 500'ün ilgili parçalarından alınmıştır. Hesaplar;

- Kütlenin kolon tepelerinde toplanması
- Kolon tepe noktalarının yatay kuvvetler altında aynı deplasmanı yapmaları
- Yapılan sistemlerde yatay veya düşey herhangi bir düzensizliğin bulunmaması
- Malzemelerin lineer elastik davranış sergilemesi

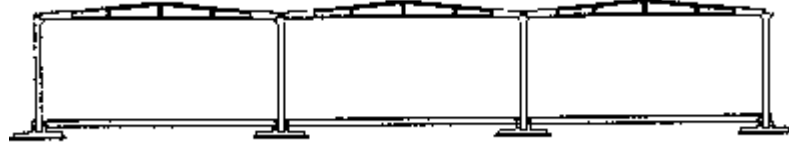
kabulüne göre yapılmaktadır.

Binanın taban alanı yaklaşık 2700 metrekaredir ve plan ebatları 60 m'ye 45 m'dir. 20m'ye 7,5 m plan ebatlarında 18 bölüm bulunmaktadır. Bina uzun tarafta 3 ve kısa tarafta 6 duvar bölmesinden oluşmaktadır. Taslağın planı ve ön cephesi Şekil 7.1 ve 7.2'de gösterilmektedir. Kiriş ve kolon oyukları temellerinin örnek birleşimleri şekil 7.3'de gösterilmiştir.

Kolonlar (50*50) boyutlarında olup, beton C30, donatı S420 kullanılmıştır. C30 için elastisite modülü $E_b = 3.2 \cdot 10^7$ kN/m² alınmıştır. Kar yükü kategorisi TS 498’de II ve 0,75 kN/m²’dir. Yapısal elemanlar ve çatı kaplama aşağıda tanımlanmıştır.



Şekil 7.1 : Örnek Yapı Planı



Şekil 7.2 : Örnek Yapının Ön Görünüşü

Kolonlar; kare, 50cm'e 50 cm. 8 mt uzunlukta ve 50 kN toplam ağırlığındadır. Kirişler; 19,5 mt uzunluğunda, üçgen şekilli ve yükseklikleri 50cm ile 150 cm arasında değişmektedir. Karşılama bölgesi I şeklinde, ağ kalınlığı 10 cm ve çıkıntılı kenar kalınlığı 25 cm'dir. Toplam ağırlığı 70kN'dir.

U kirişleri; kolonlar kısa tarafa doğru birleşir. U şeklindedir ve yağmur suyu boşaltılması için de kullanılabilir. Toplam ağırlık 15kN'dir.

Aşıklar; Önceden sıkıştırılmış, 7,5 mt uzunluğunda ve 4,1 kN ağırlığındadırlar. Çatı ağırlıkları çatı kirişlerine transfer edilir. Binanın 1 hücresinde 10 tanesi bulunur.

Çatı kaplama; alüminyum poliüretan sandviç paneller şeklindedir. 0,06 kN/m²'lik dağıtılmış ağırlık vardır.

Bir sıra makas sisteminin toplam çatı ağırlığı W=544 kN dur.

7.1.2 Bina doğal titreşim periyodunun Hesaplanması

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{mh^3}{3nEI}}$$

m: kolonların tepesindeki toplam kütle

w: 4 kolonun tepesindeki toplam ağırlık 679 kN

g: yerçekimi ivmesi 9,81 m/s²

h: kolon yüksekliği, 8m

n: uzun yünde kolon sayısı, 4

e: beton esnekliği modülüsü (BS30), 32 10(6) kN/m²

I: brüt beton parça durgunluğu momenti (b⁴/12)

$$EI = 3.2 \cdot 10^7 * \frac{0.5 * 0.5^3}{12} = 166666 \text{ kN/m}^2$$

$$m = W / g$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{69,22 * 8.0^3}{3 * 4 * 166666}} = 0,84 \text{ sn}$$

7.1.3 Deprem kuvvetleri

7.1.3.1 TDY' 98 'e göre

Taban kesme kuvveti V Denklem (6.1)'e göre hesaplanır.

$$A_0 = \text{Etkin yer ivme katsayısı} = 0.4 \text{ (Tablo 6.3)}$$

$$I = \text{Yapı Önem katsayısı} = 1 \text{ (Tablo 6.1),}$$

$$S = \text{Spektrum Katsayısı} = 1,93 \text{ (Denklem 5.6)}$$

$$W = \text{Ağırlık} = 679 \text{ kN (}\%30 \text{ kar yükü)}$$

$$S = 2.5 \left(\frac{0.6}{0.84} \right)^{0.8} = 1,91 \text{ sn}$$

$$R = \text{Yapı davranış katsayısı} = 5 \text{ (Tablo 6.5)}$$

$$V_t = W * A_0 * I * S / R = 679 * 0.4 * 1 * 1,91 / 5 = 103,75 \text{ kN}$$

7.1.3.2 UBC'97'ye göre

Toplam taban kesme kuvveti, V, denklem (6.17)'ye göre;

$$R = \text{Yapı davranış katsayısı} = 2.2$$

$$C_v = \text{Sismik katsayısı} = 0.64 \text{ (Tablo 6.8)}$$

$$I = \text{Yapının önem katsayısı} = 1 \text{ (Tablo 6.13)}$$

$$T = \text{Yapının Doğal Titreşim Periyodu} = 0.84 \text{ sn}$$

$$W = \text{Toplam kütle} = 544 \text{ kN (Kar yüklemesi = 0)}$$

$$V = W C_v I / R T = 544 * 0.64 * 1 / (2.2 * 0.84) = 188,4 \text{ kN}$$

7.1.3.3 Eurocode-8'e göre

Toplam taban kesme kuvveti, V, denklem (6.30), (6.39), (6.27)'den hesaplanır.

$$W = \text{Toplam kütle (Kar yükleri \%20)} = 634 \text{ kN}$$

$$\alpha = \text{Deprem ivmesinin yer çekim ivmesine oranı} = 0,3$$

$$S = \text{Zemin parametresi} = 1 \text{ (Tablo 6.15)}$$

$\beta_o = \text{İvme katsayısı} = 2.5$ (Tablo 6.15)

$k_{d1} = \text{Sismik katsayılar} = 2/3$ (Tablo 6.15)

$k_d = \text{Süneklik katsayısı} = 1$ (Tablo 6.17)

$k_p = \text{Birleşimler bölgeleri yüksek dayanımlı yapıda} = 0.75$

$T_C = \text{Periyot Limiti} = 0.60$ sn

$T = \text{Yapının doğal titreşim periyodu} = 0.84$ sn

$q_o = \text{Davranış katsayısı} = 2.0$

$$V = W * \frac{\alpha * S * \beta_o}{k_p k_d q_o} [T_C / T]^{k_{d1}} = 634 * \frac{0.3 * (1) * 2.5}{0.75 * 1 * 2} [0.6/0.84]^{2/3} = 253,28 \text{ kN}$$

Tablo 7.1: Deprem yükleri

TDY'98	$V = W \frac{A_0 IS}{R}$	Zemin Tipi: Z3 $A_0 = 0.40$ $I = 1$ $T = 0.84$ $T_B = 0.6$ s. $S = 2.5(T_B/T)^{0.8} = 1,91$ $R = 5$ $W = DL + 0.3 SL$	$V = 0.153 W$
	$V > W (0.10 A_0 I)$		$V > 0.04 W$
UBC'97	$V = W \frac{C_v I}{RT}$	Zemin Tipi: S _D $C_v = 0.64$ $I = 1$ $R = 2.2$ $T = 0.84$ $W = DL + 0.25 SL$ Eğer $DSL > 1.44$ kN/m ² $W = DL$ Eğer $DSL < 1.44$ kN/m ²	$V = 0.346 W$
	$V < W (2.5 C_a I / R)$ $V > W (0.11 C_a I)$ $V > W (0.8 Z N_v I / R)$	$C_a = 0.44$ $Z = 0.4$ $N_v = 1$	$V < 0.5 W$ $V > 0.05 W$ $V > 0.14 W$
Eurocode-8	$V = W \frac{\alpha S \beta_0}{k_p k_d q_0} \left[\frac{T_C}{T} \right]^{k_{d1}}$	Zemin Tipi: B $\alpha = 0.3$ $S = 1$ $\beta_0 = 2.5$ $T_C = 0.6$ s. $T = 0.84$ $k_{d1} = 2/3$ $k_p = 0.75$ $k_d = 1$ $q_0 = 2$ $W = DL + 0.2 SL$	$V = 0.4 W$
	$V > W (0.20 \alpha)$		$V > 0.06 W$

Tablo 7.2: Birleşim noktalarına gelen deprem kuvvetleri

TDY'98	$F_p = 1.2W_p \frac{A_0 IS}{R}$	Zemin Tipi: Z3 W _p : Bölümün ağırlığı A ₀ = 0.4 I = 1 T = 0.84 s. T _B = 0.6 s. S=2.5(T _B /T) ^{0.8} = 1.91 R = 5	F _p = 0.183 W _p
UBC'97	$F_p = W_p(4C_a I_p)$	Zemin Tipi W _p : bölümün ağırlığı C _a = 0.44 I _p = 1 R _p = 3 a _p = 1 h _p : bağlantının yüksekliği h _x : çatı yüksekliği	F _p = 1.76 W _p
	$F_p = W_p \frac{a_p C_a I_p}{R_p} (1 + 3h_x/h_r)$		F _p = 0.59 W _p
	$F_p > W_p(0.7C_a I_p)$ $F_p < W_p(4C_a I_p)$		F _p > 0.3 W _p F _p < 1.76 W _p
Eurocode-8	$F_p = 2W_p \frac{\alpha S \beta_o}{k_p k_d q_o} [T_C/T]^{k_{d1}}$	Zemin Tipi : B W _p : Bölümün ağırlığı α = 0,3 S = 1 β ₀ = 2.5 T _C = 0.6 s. T = 0.84 k _{d1} = 2/3 k _p = 0.75 k _d = 0.75 q ₀ = 2	F _p = 0.8 W _p

7.2 Prefabrike Panolu Yapılar İçin Sayısal Uygulama

Bu bölümde prefabrike panolardan oluşan 2 ila 10 katlı farklı yapılar dizayn örneği olarak alınmış ve çeşitli yönetmeliklere göre taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

7.2.1 Yapı Hakkında Bilgiler

Prefabrike duvar ve döşeme panolarıyla oluşturulmuş yapının her bir kat yüksekliği 2.7 m olup kat ağırlıkları tablo 7.3'de verilmiştir, [21].

Tablo 7.3: Toplam Kat Ağırlıkları

	G (kN)	Q (kN)
Çatı Katı	2796.01	495.095
Normal Kat	2918.22	581.97
Bodrum Kat	2.964.135	581.97

Öncelikle kat sayısına göre bina toplam ağırlıkları ve yükseklikleri ve bina toplam yüksekliklerine bağlı olarak yapının doğal titreşim periyotları bulunmuştur. Daha sonra Bölüm 6'daki formüller yardımıyla sırasıyla TDY'98, UBC'97 ve Eurocode 8'e göre taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

TDY'98'e göre hesap yaparken ilk olarak Spektrum katsayısı, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak (5.4), (5.5) ve (5.6) denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Daha sonra (5.3) denklemiyle spektrum katsayısına bağlı olan spektral ivme katsayısı, $A(T)$, hesaplanarak taban kesme kuvvetleri bulunmuştur, Binanın kat sayısının 10 olması durumunda bina yüksekliği 25 m'yi geçtiğinden, ΔF_N hesaba katılmıştır. Son olarak $V > W$ ($0.10A_0I$) şartı kontrol edilmiştir (Tablo 7.4).

UBC'97'ye göre hesap yaparken ilk olarak yakın kuvvet faktörü, N_v ve N_a , değerlerine bağlı olarak sismik katsayı C_v ve C_a bulunmuştur. Yapı davranış faktörü, R , ve bina önem katsayısı, I , bulunarak taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Son olarak dördüncü sismik bölge için $V > W(0.8ZN_vI/R)$ şartı kontrol edilmiştir (Tablo 7.5).

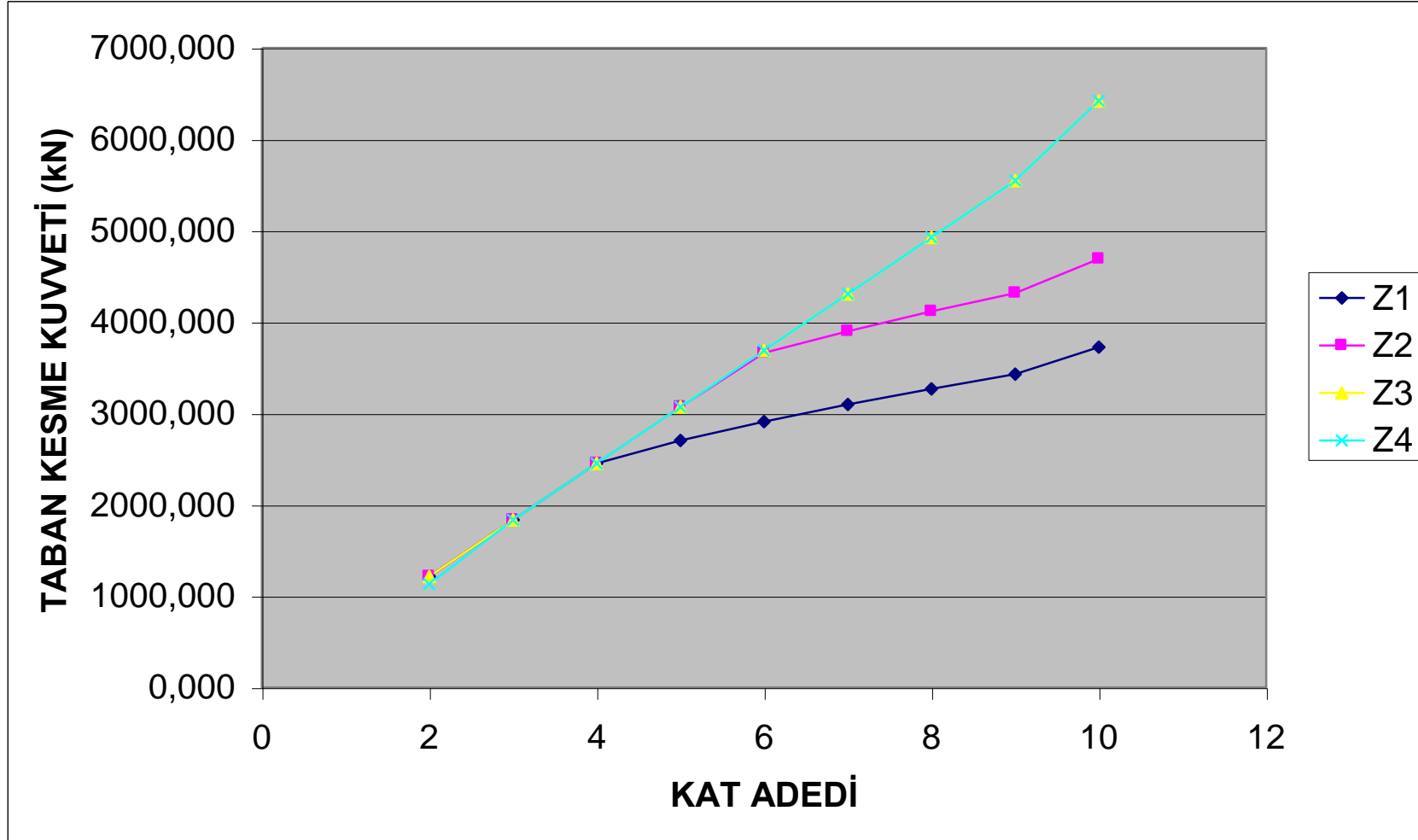
Eurocode 8'e göre hesap yaparken ise elastik davranış spektrumu parametreleri S , β_0 , k_{d1} , k_{d2} , T_B , T_C , T_D , en olumsuz deprem bölgesi için α değeri ve davranış faktörü, q_0 , kullanılarak dizayn spektrumu ve sismik taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır (Tablo 7.6).

Tablo 7.4.a: TDY'98'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri

Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H_n (m)	T	T_(A) (sn)	T_(B) (sn)	R_a	I	A₀	S(T)	A(T)	V_t (kN)	W (0.10A₀I)
2	Z1	6083,265	5,4	0,177	0,1	0,3	5	1	0,4	2,500	1,000	1216,653	243,331
3	Z1	9176,076	8,1	0,24	0,1	0,3	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z1	12268,89	10,8	0,298	0,1	0,3	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z1	15361,7	13,5	0,352	0,1	0,3	5	1	0,4	2,199	0,880	2702,651	614,468
6	Z1	18454,51	16,2	0,404	0,1	0,3	5	1	0,4	1,971	0,789	2910,345	738,180
7	Z1	21547,32	18,9	0,453	0,1	0,3	5	1	0,4	1,797	0,719	3097,898	861,893
8	Z1	24640,13	21,6	0,501	0,1	0,3	5	1	0,4	1,659	0,664	3269,804	985,605
9	Z1	27732,94	24,3	0,547	0,1	0,3	5	1	0,4	1,546	0,618	3429,124	1109,318
10	Z1	30825,75	27	0,592	0,1	0,3	5	1	0,4	1,451	0,580	3726,383	1233,030
Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H_n (m)	T	T_(A) (sn)	T_(B) (sn)	R_a	I	A₀	S(T)	A(T)	V_t (kN)	W (0.10A₀I)
2	Z2	6083,265	5,4	0,177	0,15	0,4	5	1	0,4	2,500	1,000	1216,653	243,331
3	Z2	9176,076	8,1	0,24	0,15	0,4	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z2	12268,89	10,8	0,298	0,15	0,4	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z2	15361,7	13,5	0,352	0,15	0,4	5	1	0,4	2,500	1,000	3072,340	614,468
6	Z2	18454,51	16,2	0,404	0,15	0,4	5	1	0,4	2,481	0,993	3663,494	738,180
7	Z2	21547,32	18,9	0,453	0,15	0,4	5	1	0,4	2,262	0,905	3899,583	861,893
8	Z2	24640,13	21,6	0,501	0,15	0,4	5	1	0,4	2,088	0,835	4115,975	985,605
9	Z2	27732,94	24,3	0,547	0,15	0,4	5	1	0,4	1,946	0,778	4316,524	1109,318
10	Z2	30825,75	27	0,592	0,15	0,4	5	1	0,4	1,826	0,731	4690,709	1233,030

Tablo 7.4.b: TDY'98'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri

Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H _n (m)	T	T _(A) (sn)	T _(B) (sn)	R _a	I	A ₀	S(T)	A(T)	V _t (kN)	W (0.10A ₀ I)
2	Z3	6083,265	5,4	0,177	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	1216,653	243,331
3	Z3	9176,076	8,1	0,24	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z3	12268,89	10,8	0,298	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z3	15361,7	13,5	0,352	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	3072,340	614,468
6	Z3	18454,51	16,2	0,404	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	3690,902	738,180
7	Z3	21547,32	18,9	0,453	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	4309,464	861,893
8	Z3	24640,13	21,6	0,501	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	4928,026	985,605
9	Z3	27732,94	24,3	0,547	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	5546,588	1109,318
10	Z3	30825,75	27	0,592	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	6420,735	1233,030
Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H _n (m)	T	T _(A) (sn)	T _(B) (sn)	R _a	I	A ₀	S(T)	A(T)	V _t (kN)	W (0.10A ₀ I)
2	Z4	6083,265	5,4	0,177	0,2	0,9	5	1	0,4	2,328	0,931	1133,138	243,331
3	Z4	9176,076	8,1	0,24	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z4	12268,89	10,8	0,298	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z4	15361,7	13,5	0,352	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	3072,340	614,468
6	Z4	18454,51	16,2	0,404	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	3690,902	738,180
7	Z4	21547,32	18,9	0,453	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	4309,464	861,893
8	Z4	24640,13	21,6	0,501	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	4928,026	985,605
9	Z4	27732,94	24,3	0,547	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	5546,588	1109,318
10	Z4	30825,75	27	0,592	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	6420,735	1233,030



Şekil 7.3 : TDY'98'e Göre Hesaplanan Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adetleri ve Zemin Türlerine Göre Değişimi

Tablo 7.5.a: UBC'97'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri

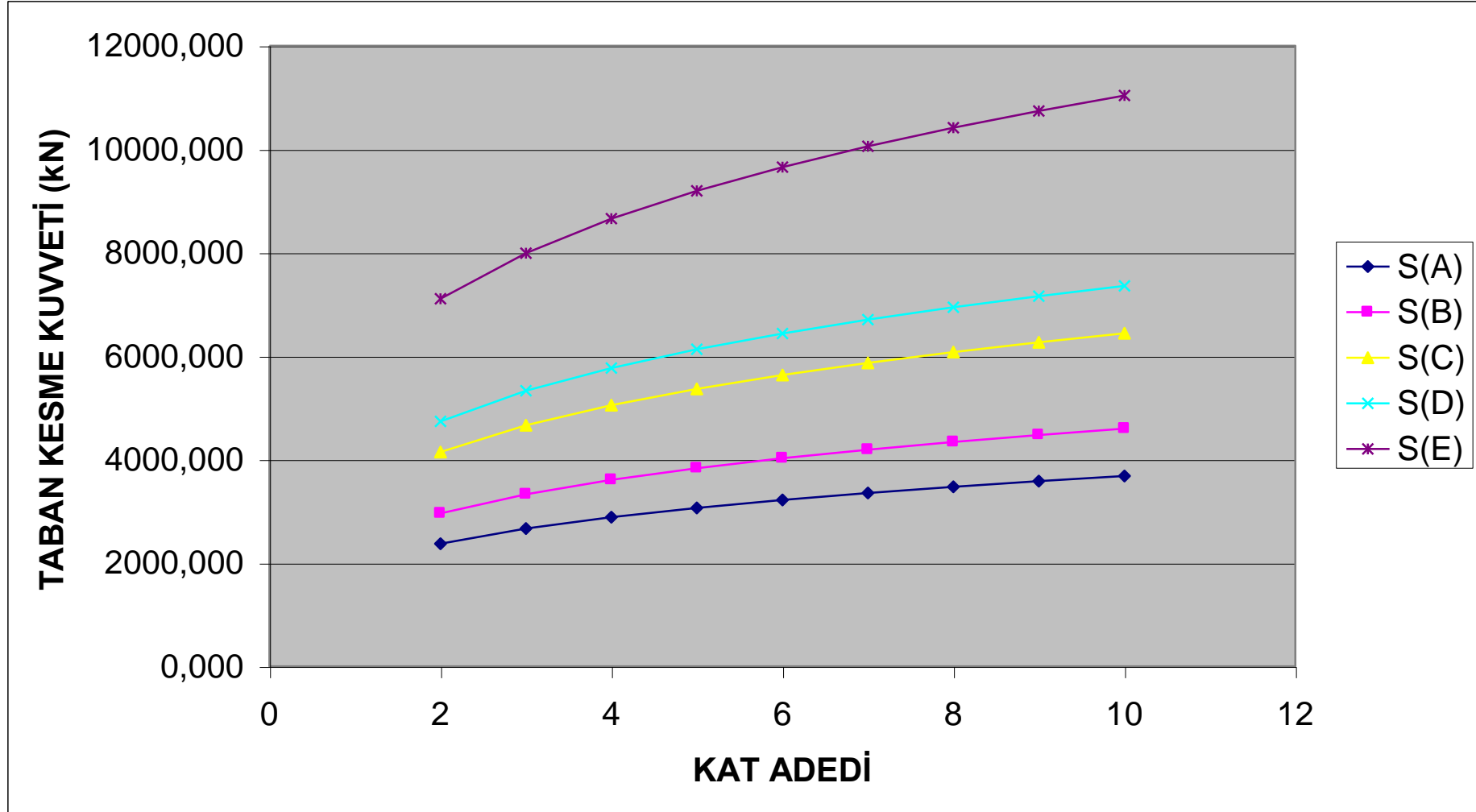
Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H _n (m)	Z	N _v	N _a	C _v	C _a	I	T	R	V _t (kN)	W(0.8ZN _v I/R)
2	S(A)	5900,2	5,4	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,177	4,5	2368,857	419,570
3	S(A)	8993,011	8,1	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,240	4,5	2663,844	639,503
4	S(A)	12085,82	10,8	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,298	4,5	2885,199	859,436
5	S(A)	15178,82	13,5	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,352	4,5	3065,136	1079,369
6	S(A)	18271,44	16,2	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,404	4,5	3218,134	1299,303
7	S(A)	21364,26	18,9	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,453	4,5	3352,037	1519,236
8	S(A)	24457,07	21,6	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,501	4,5	3471,614	1739,169
9	S(A)	27549,88	24,3	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,547	4,5	3579,995	1959,102
10	S(A)	30642,69	27	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,592	4,5	3679,353	2179,036
Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H _n (m)	Z	N _v	N _a	C _v	C _a	I	T	R	V _t (kN)	W(0.8ZN _v I/R)
2	S(B)	5900,2	5,4	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,177	4,5	2961,071	419,570
3	S(B)	8993,011	8,1	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,240	4,5	3329,805	639,503
4	S(B)	12085,82	10,8	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,298	4,5	3606,499	859,436
5	S(B)	15178,82	13,5	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,352	4,5	3831,420	1079,369
6	S(B)	18271,44	16,2	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,404	4,5	4022,667	1299,303
7	S(B)	21364,26	18,9	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,453	4,5	4190,047	1519,236
8	S(B)	24457,07	21,6	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,501	4,5	4339,518	1739,169
9	S(B)	27549,88	24,3	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,547	4,5	4474,994	1959,102
10	S(B)	30642,69	27	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,592	4,5	4599,192	2179,036

Tablo 7.5.b: UBC'97'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri

Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H _n (m)	Z	N _v	N _a	C _v	C _a	I	T	R	V _t (kN)	W(0.8ZN _v I/R)
2	S(C)	5900,2	5,4	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,177	4,5	4145,500	419,570
3	S(C)	8993,011	8,1	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,240	4,5	4661,727	639,503
4	S(C)	12085,82	10,8	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,298	4,5	5049,099	859,436
5	S(C)	15178,82	13,5	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,352	4,5	5363,988	1079,369
6	S(C)	18271,44	16,2	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,404	4,5	5631,734	1299,303
7	S(C)	21364,26	18,9	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,453	4,5	5866,065	1519,236
8	S(C)	24457,07	21,6	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,501	4,5	6075,325	1739,169
9	S(C)	27549,88	24,3	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,547	4,5	6264,991	1959,102
10	S(C)	30642,69	27	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,592	4,5	6438,680	2179,036
Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H _n (m)	Z	N _v	N _a	C _v	C _a	I	T	R	V _t (kN)	W(0.8ZN _v I/R)
2	S(D)	5900,2	5,4	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,177	4,5	4737,714	419,570
3	S(D)	8993,011	8,1	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,240	4,5	5327,688	639,503
4	S(D)	12085,82	10,8	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,298	4,5	5770,399	859,436
5	S(D)	15178,82	13,5	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,352	4,5	6130,272	1079,369
6	S(D)	18271,44	16,2	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,404	4,5	6436,267	1299,303
7	S(D)	21364,26	18,9	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,453	4,5	6704,075	1519,236
8	S(D)	24457,07	21,6	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,501	4,5	6943,229	1739,169
9	S(D)	27549,88	24,3	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,547	4,5	7159,990	1959,102
10	S(D)	30642,69	27	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,592	4,5	7358,707	2179,036

Tablo 7.5.c: UBC'97'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri

Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H_n (m)	Z	N_v	N_a	C_v	C_a	I	T	R	V_t (kN)	W(0.8ZN_vI/R)
2	S(E)	5900,2	5,4	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,177	4,5	7106,571	419,570
3	S(E)	8993,011	8,1	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,240	4,5	7991,532	639,503
4	S(E)	12085,82	10,8	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,298	4,5	8655,598	859,436
5	S(E)	15178,82	13,5	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,352	4,5	9195,409	1079,369
6	S(E)	18271,44	16,2	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,404	4,5	9654,401	1299,303
7	S(E)	21364,26	18,9	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,453	4,5	10056,112	1519,236
8	S(E)	24457,07	21,6	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,501	4,5	10414,843	1739,169
9	S(E)	27549,88	24,3	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,547	4,5	10739,985	1959,102
10	S(E)	30642,69	27	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,592	4,5	11038,060	2179,036



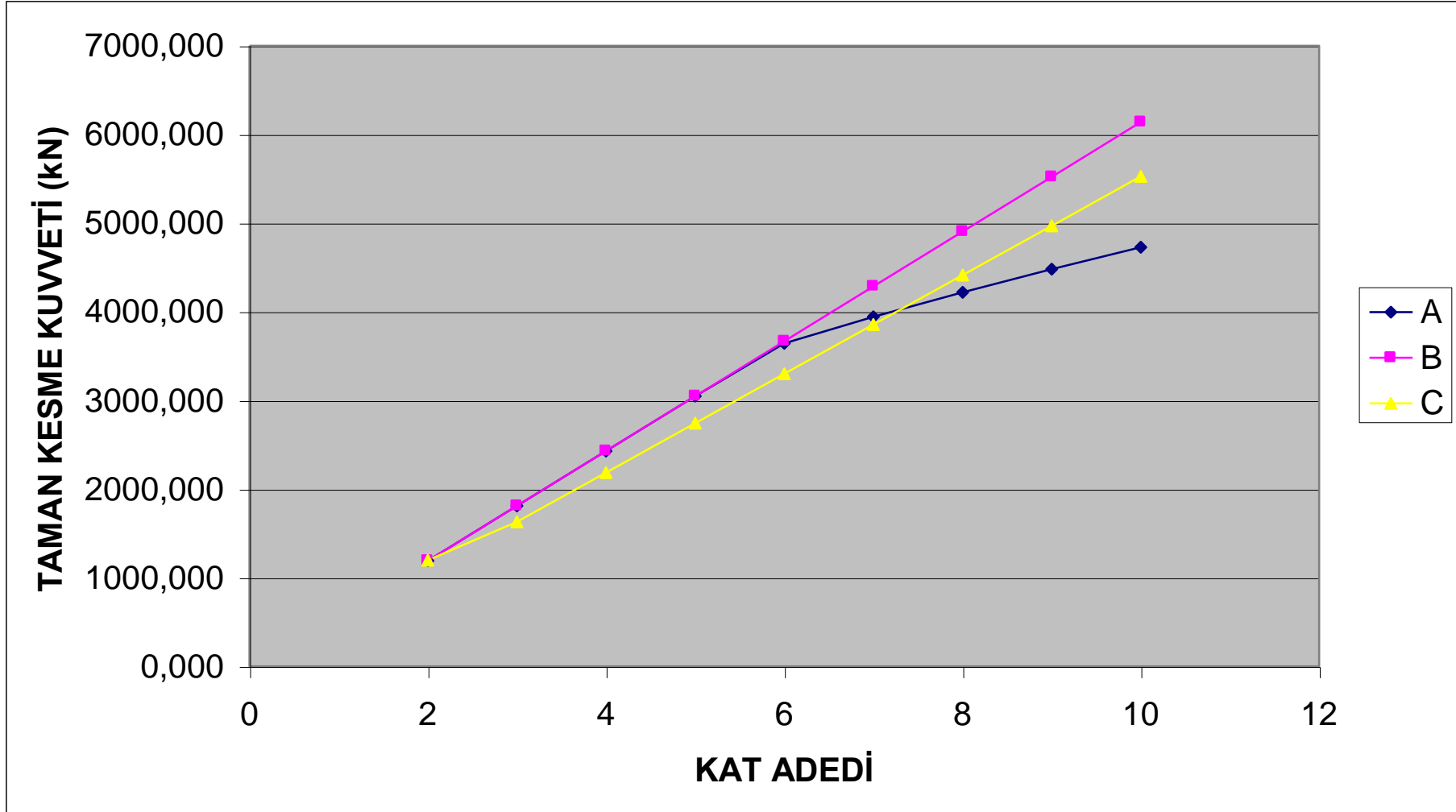
Şekil 7.4 : UBC'97'e Göre Hesaplanan Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adetleri ve Zemin Türlerine Göre Değişimi

Tablo 7.6.a: Eurocode 8'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri

Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H_n (m)	T	T(B)	T(C)	T(D)	q₀	S_a	F_b (kN)
2	A	5961,24	5,4	0,177	0,1	0,4	3	5	0,200	1192,248
3	A	9054,051	8,1	0,24	0,1	0,4	3	5	0,200	1810,810
4	A	12146,862	10,8	0,298	0,1	0,4	3	5	0,200	2429,372
5	A	15239,673	13,5	0,352	0,1	0,4	3	5	0,200	3047,935
6	A	18332,484	16,2	0,404	0,1	0,4	3	5	0,199	3643,794
7	A	21425,295	18,9	0,453	0,1	0,4	3	5	0,184	3942,629
8	A	24581,106	21,6	0,501	0,1	0,4	3	5	0,172	4220,365
9	A	27610,917	24,3	0,547	0,1	0,4	3	5	0,162	4480,925
10	A	30703,728	27	0,592	0,1	0,4	3	5	0,154	4727,148
Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H_n (m)	T	T(B)	T(C)	T(D)	q₀	S_a	F_b (kN)
2	B	5961,24	5,4	0,177	0,15	0,6	3	5	0,200	1192,248
3	B	9054,051	8,1	0,24	0,15	0,6	3	5	0,200	1810,810
4	B	12146,862	10,8	0,298	0,15	0,6	3	5	0,200	2429,372
5	B	15239,673	13,5	0,352	0,15	0,6	3	5	0,200	3047,935
6	B	18332,484	16,2	0,404	0,15	0,6	3	5	0,200	3666,497
7	B	21425,295	18,9	0,453	0,15	0,6	3	5	0,200	4285,059
8	B	24581,106	21,6	0,501	0,15	0,6	3	5	0,200	4903,621
9	B	27610,917	24,3	0,547	0,15	0,6	3	5	0,200	5522,183
10	B	30703,728	27	0,592	1	1	3	5	0,200	6140,746

Tablo 7.6.b: Eurocode 8'e göre farklı kat yükseklikleri ve zemin türleri baz alınarak hesaplanmış taban kesme kuvvetleri

Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H_n (m)	T	T(B)	T(C)	T(D)	q₀	S_a	F_b (kN)
2	C	5961,24	5,4	0,177	0,2	0,8	3	5	0,201	1195,782
3	C	9054,051	8,1	0,24	0,2	0,8	3	5	0,180	1629,729
4	C	12146,862	10,8	0,298	0,2	0,8	3	5	0,180	2186,435
5	C	15239,673	13,5	0,352	0,2	0,8	3	5	0,180	2743,141
6	C	18332,484	16,2	0,404	0,2	0,8	3	5	0,180	3299,847
7	C	21425,295	18,9	0,453	0,2	0,8	3	5	0,180	3856,553
8	C	24581,106	21,6	0,501	0,2	0,8	3	5	0,180	4413,259
9	C	27610,917	24,3	0,547	0,2	0,8	3	5	0,180	4969,965
10	C	30703,728	27	0,592	0,2	0,8	3	5	0,180	5526,671



Şekil 7.5 : Eurocode 8'e Göre Hesaplanan Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adetleri ve Zemin Türlerine Göre Değişimi

8. DEPREMLERDE PREFABRİKE YAPILARDA OLUŞAN HASARLAR VE ONARIM VE GÜÇLENDİRME

8.1 Depremlerde Prefabrike Yapılarda Oluşan Hasarlar

Depremlerde can ve mal kaybı en çok yapı hasarları nedeniyle olduğundan depreme dayanıklı yapı üretmek inşaat sektöründe vazgeçilmez unsurlardan biridir. Prefabrikasyon inşaat kurallarına göre kusursuz olarak yapılmışsa, konvansiyonel (geleneksel) sisteme göre daha dayanıklı ve daha güvenlidir. Özellikle fabrika koşullarında, denetimli ve kaliteli üretim özelliklerine sahip olan prefabrik yapı sistemi son 20 yılda ülkemizde göz ardı edilemez bir gelişme göstermiş, sanayi yapılarının vazgeçilmez unsuru olmuştur. Bu bölümde yurtdışındaki depremlerde prefabrike yapılarda oluşan hasarlardan bahsedilecek ve 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinde oluşan hasarlar ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

8.1.1 Yurtdışındaki Depremlerde Prefabrike Yapılarda oluşan hasarlar

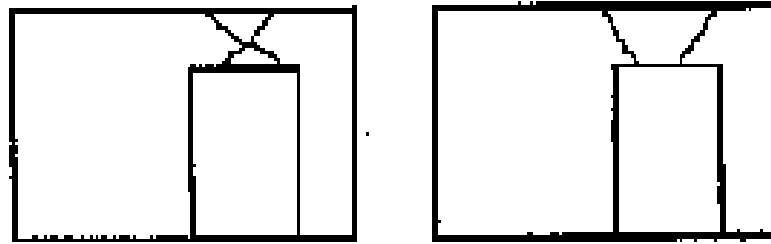
27 Mart 1964 tarihli Alaska Depremi. Ms:8,4 büyüklüğündedir ve bu deprem, deprem mühendisliği açısından büyük önem taşır. Ağır prefabrike çatılı kirişler Alaska depremi öncesi tasarımcılar tarafından önemle incelenmişti. Özellikle de 20 ila 24 m uzunluğundaki önceden sıkıştırılmış T-kirişler ticari ve endüstriyel binaların yapımında kullanılmıştı. Bu uzun ve ağır kirişler ya kirişlerden daha zayıf kolonlarla ya da takviyeli el yapımı duvarlarla desteklenmişti. Bu her iki sistemin de yanal yük dayanımı eksikti. Genellikle kirişler kolon ya da duvarlara kaynak yöntemi ile birleştirilmişti ki bu da ağır ve uzun süren bir işçilik gerektirmekteydi. Heyelan yüzünden kısalan kirişler, muhtemelen kaynak birleşimlerde ek bir yatay kesme kuvveti oluşturmuştu. Metal ile metal birleşimler genelde metal parçaların belirgin uzamaları olmadığından başarısız oldu. Prefabrike binalardaki hasarlar gösterdi ki bağlantılar diğer unsurlar arasında en zayıf olanlarıydı.

Bu deprem o yıllarda Amerika'daki depreme dayanıklı modern binaların ölçülmesine olanak veren ilk ve en büyük depremdi. Çok katlı depreme dayanıklı yapılar büyük ölçüde zarar görmüştü. Önceki depremlerde binalardaki prefabrike takviyeli beton

kullanımı oldukça azdı ve örnekleri izole edilmiş ve benzeri bulunmayan cinstendi. Çok katlı binalardaki ve prefabrike takviyeli betonlardaki hasarlar UBC’de bazı değişiklikler ve eklemeler yapılmasını sağladı.

17 Ocak 1994 tarihli Northridge Depremi ise, ABD’de Northridge yakınlarında Ms: 6,8 büyüklüğünde olan bir depremdir. Deprem merkezi yarıçapı 40 km’lik alan içinde büyük hasara neden olmuştur. Prefabrike binalar, güçlü yer sarsıntılarının olduğu bölgelerde genelde iyi bir performans sergilemiştir. İstisnalar genelde deprem merkezinin çok yakın civarında olan binalardır. Özellikle büyük otoparklar diğer tip binalar kadar iyi bir performans gösteremedi.

Prefabrike yapıların sıklıkla uygulandığı doğu bloku ve eski SSCB ülkelerinde deprem sonrası hasarlar farklılık göstermektedir. 1977 Romanya ve 1979 Karadağ depremlerinde prefabrike çerçevesi yapılar ne yazık ki kötü bir sınav vermiş ve özellikle bu şekilde imal edilen endüstri yapılarında oldukça can ve mal kaybına yol açmıştır. Prefabrike panolu yapılarda ise yüksek dayanımlarından ve rijitliklerinden dolayı önemli hasarlar meydana gelmemiştir. Bu durumun en önemli sebebi bu bölgelerde inşa edilen panolu sistemlerdeki yatay ve düşey ek yerlerinin oldukça yüksek dayanımlı olmalarıdır. Yapılarda genellikle düşey ek yerlerinde kılcal veya orta derecede çatlaklar oluşmuştur. Çatlakların oluşmasında önce panolar arasındaki düşey ek yerlerinde çatlaklar başlamış, üst üste dizilmiş panolar birbirlerinden ayrıldıktan sonra her bir düşey pano kulesi eğilme ile zorlanmaya başlamış ve panolar arasındaki yatay ek yerlerinde çatlaklar ve açılmalar oluşmuş, sonuçta ek yerindeki yerinde dökme beton ezilmiştir.



Şekil 8.1 : Romanya Depreminde Panolu Yapılarda Oluşan Hasarlar

Ermenistan da, tek ve çok katlı beton prefabrik yapıların en yaygın olarak kullanıldığı ülkelerden biridir. 1988 yılındaki (6.9 Mw) depremde sözkonusu yapıların tamamına yakını çökmüş veya kullanılamayacak derecede ağır hasar görmüştür. Bu depremden sonra tüm dünyada yapılan yoğun çalışmalar sonucu eleman birleşim bölgeleri başta

olmak üzere taşıyıcı sistem detaylarında yapılan düzeltmelere karşın, Ceyhan ve Gölcük depremlerinde görüldüğü gibi, yatay yüklere karşı dayanımında önemli bir gelişme olmadığı ya da ülkemizdeki uygulamaların hatalı olduğu görülmektedir.

8.1.2 Adana – Ceyhan Depremi

27 Ocak 1998 yılında Türkiye'nin güneyinde Adana şehri yakınlarında Yerel saat ile 16,55'de meydana gelen 6,3 büyüklüğünde bir depremdir. Odaksak derinliğin yaklaşık 23 km olduğu tahmin edilmiştir. Alan incelemelerine ve mevcut tektonik verilere göre, deprem 23 km derinlikte 10 ila 12 km uzunluğunda bir kırılmaya sebep olmuştur.

Ülkemizde 1980'li yıllardan bu yana giderek yaygın bir biçimde yapılan prefabrike yapılarda kullanılan "taşıyıcı" sistemlerden bir tanesi, tek katlı prefabrike çerçeveli yapı sistemi, ilk kez 27 Haziran 1998'de Adana'da yoğun bir biçimde deprem hasarı ile karşılaşmıştır. Daha önce 13 Mart 1992 Erzincan depreminde yine bir prefabrike yapıda deprem hasarı görülmüştür, ancak hasarın yankısı bu kadar büyük değildir. Adana Organize Sanayi Bölgesinde ve Ceyhan yakınlarında çok sayıda betonarme prefabrike çerçeveli yapı depremde önemli yıkım ve hasar görmüştür. Yapıların kendisinde, hasar nedeni ile olan kayıplardan kat kat fazlası yapıların üzerini örttüğü fabrikalardaki "üretim kaybı" ile ortaya çıkmıştır. Belki de hasarın daha çok yankılanması, ortaya çıkan üretim kaybı nedeni ile olmuştur. Özellikle Misis Kasabası'na çok yakın bir bölgede yer alan Adana Organize Sanayi Bölgesinde önemli sayıda fabrika yapısında ağır hasar ve yıkım olmuştur. Hasar sadece yapı hasarı ile sınırlı kalmayıp, genellikle sanayi yapılarında kullanılan prefabrike yapı sisteminin yıkılması nedeniyle büyük oranda makine, donanım ve malzeme de zarar görmüştür. Bu Organize Sanayi Bölgesinde 101 endüstriyel firma bulunmaktaydı. Deprem hem binalara hem de makinelere öyle büyük bir hasar verdi ki 101 firmanın her biri çalışamaz hale geldi. Prefabrike binalardaki yıkılma ve hasar sayısı beklenen çok üstündeydi Yine aynı prefabrike sistemle yapılmış inşa halinde bir prefabrike çerçevenin bütün kiriş ve aşıkları da kolonlardan düşerek yıkılmıştı, (Şekil 8.2).

Yıkım iki türlü olmuştu. Kirişler mesnetlerinden yanlamasına devrilerek yere düştüler, ya da kirişler uçlarından kırılarak uzunlamasına yönde bir uçlarındaki mesnetten düştüler (şekil 6.1). Gözlenen bir diğer önemli hasar çerçeve kolonlarının alt uçlarına

yakın yerlerde betonda eğilme çatlaklarıdır. Bu hasar kolonların alt uçlarında elastik moment taşıma gücünün aşıldığının göstergesidir.



Şekil 8.2 : Adana Organize Sanayi Bölgesinde İnşa Halinde Hasar Gören Prefabrikte Bina

Fabrikaların ana üretim holleri ve ek binaları tamamen prefabrikte yapılarıdır. Tek katlı pin-bağlantılı endüstriyel binalar en çok hasar görenleriydi. Üçgen şekilli ağır takviyeli beton çatı kirişleri projedeki çıkma dirseklerinde sadece dış kolonlarla desteklenmişti. Çok büyük sayıdaki prefabrikte çatı kirişleri desteklerinden yere düşmüş ve aşağıdaki önemli makine ve teçhizata büyük hasarlar vermişti. Çatı kirişlerinin bu düşmesinin sebebi kolon başlarında bulunun beklenmedik yanal boşluklardı.

Hasar gören prefabrikte yapılardan, kirişleri Doğu-Batı yönünde uzanan prefabrikte yapılarda, kirişler güney yönünde yıkılmıştır. Kirişleri kuzey-güney yönünde uzanan prefabrikte yapılarda ise hasar, kirişlerin uçlarında kolonlara bağlantı deliklerinin bulunduğu yerlerde düşey çatlaklar biçiminde olmuş, bu yapıların bazılarında da kirişler çerçeve yönünde mesnetlerinden koparak devrilmişlerdir. Kirişleri birbirlerine aşiklarla bağlı ve üstleri çatı kaplama malzemeleri örtülmüş olanların bazılarında, saç örtülerinde yer yer yerel buruşmalar gözlenmiştir. Bu durum çatı örtüsünün çatı kirişlerini birbirine bağladığı ve kirişlerin yanal devrilmesine karşı destek verdiği izlenimini vermektedir. Depremin çerçeve düzlemine dik yatay doğrultudaki etkileri altında çatıyı taşıyan trapez kirişlerde oluşan atalet kuvvetleri, mesnet bağlantılarının yetersizliği nedeniyle kolonlara aktarılamamış, bunun sonucu çatıyı oluşturan eğik

çatı kirişleri ve aşıklar çatı kaplamalarıyla birlikte domino taşları gibi aynı yönde devrilip yara inmişlerdir. Ayrıca yapılarda dilatasyon için oluşturulan kayar mesnetlerde belli bir deplasmandan sonra tutulması gereken kirişler serbest kalmıştır. Birleşim hesaplarının çerçeveye dik doğrultuda bu atalet kuvvetlerinden doğan devrilme momenti ve kesme kuvvetleri de dikkate alınarak yapılması, pimli bağlantılarda kullanılacak donatıların çaplarının ve ankraj boylarının bu etkilere göre belirlenmesi gerekmektedir.

8.1.3 Kocaeli Depremi, 17 Ağustos 1999

17 Ağustos 1999 yılında yerel saat ile saat 03:02'de Marmara Bölgesinde Kocaeli şehrinde olan 7,4 büyüklüğünde bir depremdir. Deprem merkezi yaklaşık İzmit'in 11 km güneydoğusudur. Resmi tahminlere göre ölü sayısı 16000'den fazladır. 35000'den fazla da yaralı vardır. En az 40000 bina ya yıkılmış ya da çok ağır biçimde hasar görmüştür. Aynen Adana – Ceyhan depremi gibi yıkılan ya da tamamen hasar gören binaların büyük çoğunluğu 5 ila 8 katlı binalar olmuştur. İkinci tip ağır hasar gören ya da yıkılan binalar prefabrike beton yapılarıdır.

Kocaeli depremi 1939 Erzincan depreminden sonra Türkiye'de yaşanan ikinci büyük depremdir. Fakat bölgedeki toplam ekonomik kayıplar göz önüne alınırsa içinde bulunduğumuz asrın en büyük depremidir.

Kocaeli depreminde yıkılan ya da ağır hasar gören binaların çoğu Adapazarı Organize Sanayi Bölgesinde ve de Adapazarı'ndaki Karapürçek köyündedir. Sakarya'da, ODTÜ ekiplerinin Adapazarı Organize Sanayii Bölgesinde yaptıkları incelemelerde, tümünden veya kısmen göçen sanayii tesisi oranının % 80'e ulaştığı gözlenmiştir. Bölgedeki sanayicinin ön dökümlü yapı sistemlerine olan güveni tamamen kaybolmuş durumdadır. Sistem hataları vardır ve bu sistem hataları 17 Ağustos 1999 öncesinde biliniyordu.

Aynen Adana – Ceyhan depreminde olduğu gibi ağır hasar gören ya da yıkılan prefabrik beton binaların önemli bir yüzdesi tek katlı ve pin-birleşimli binalardır. Ağır takviyeli beton çatı kirişler kolon çıkma dirseklerinden düşmüş ve büyük hasar vermişlerdir.

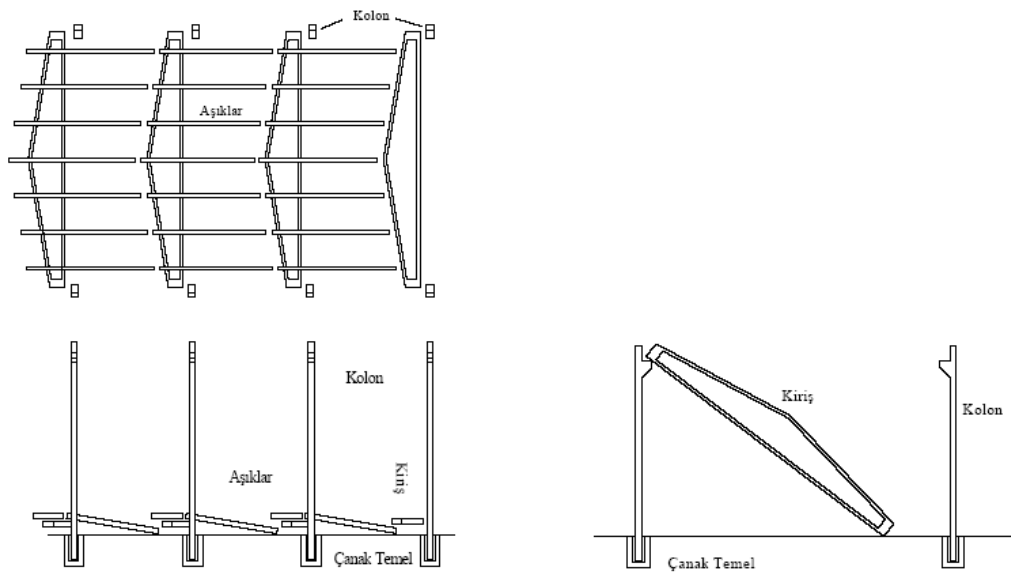
Düzensiz ve eksik bağlantılar, ince kolonlar, kolon temellerindeki plastik menteşeler ve kesme duvarların olmayışı böyle bir hasarın temel nedenleridir. Kolonlardaki plastik mafsallaşmalar nedeniyle kolon alt başlarında hasarlar oluşmuştur, (Şekil 8.3)

Adapazarı'nda yumuşak toprak yıkımların bir diğer sebebidir. Tüm hasarlı binaların toprakları düşük taşıma kapasitesine sahip topraklardı. Soket tipi temellerin rotasyonu kolon tepelerindeki yanal boşlukların artmasına sebep olmuştur.



Şekil 8.3 : 1999 Kocaeli Depreminde Sıklıkla Görülen Kolon Hasarı

Bu depremde, prefabrik yapı sisteminde meydana gelen hasar iki türlü olmuştur, (Şekil 8.4). Bu hasar tiplerinden ilki, çatı kirişlerinin yana devrilerek mesnetten düşmesi ve bu sırada kiriş üzerindeki guseden çıkan kirişin ucundaki betonlaşmış delikten geçen donatılar bükülmüş, delikten düşmüş ve devrilen kiriş yere düşmüştür. Kiriş, devrilirken üzerine oturan aşıklar kirişlerden çıkan ve aşıkların uçlarındaki deliklerden geçen 5-6 cm uzunluğundaki demirlerden kurtularak yere düşmüştür, (Şekil 8.5). Ayrıca kirişlerin düşmemesine rağmen, pek çok yapıda kirişlerin oturduğu konsolların kenarlarında betonda ezilmeler gözlenmiştir. Bu hasar görünümü prefabrike sistemin üçgen kirişlerinin yeterli yanal bağlantısının olmadığını göstermektedir.



Şekil 8.4 : Prefabrike Çerçevesel Yapıların Yıkılma Biçimleri



Şekil 8.5 : 1999 Kocaeli Depreminde Yıkılan Bir Prefabrik Yapı

İkinci tür hasar, konsola oturan kirişlerin yanal yüzeylerinde, uçlarında konsoldan gelen demirlerin içinden geçtiği deliklerin olduğu yerlerde gözlenen düşey çatlaklardır. Bazı yapılarda kirişlerin bir uçları konsoldaki demirlerden kurtularak yere düşmüşlerdir. Bu arada kirişin ucu konsolun ucundaki betonu da ezmiştir. Bunun yanında konsoldaki demirler de bükülerek kiriş uçlarındaki deliklerden çıkmıştır.

8.1.3.1 Kocaeli Depremi'nde hasar gören prefabrike yapıların türlerine göre incelenmesi

Marmara, Bolu ve Düzce bölgelerinde bulunan prefabrike yapıları prefabrike panolu çok katlı yapılar, moment aktarabilen bağlantılara sahip çerçevelerden oluşan çok katlı yapılar ve tek katlı mafsallı çerçevelerden oluşan endüstri yapıları olarak üç ana grupta toplamak mümkündür.

Bölgede bulunan prefabrike panellerden oluşan çok katlı yapılarda panellerin iki doğrultuda yeterli perde alanını sağlaması nedeniyle hasar oluşmamıştır.

Bölgede oldukça az sayıda bulunan moment aktarabilen birleşimlere sahip prefabrike çerçevelerden oluşan çok katlı yapılarda ise göçme ve ağır hasara rastlanmamış ancak bazı binalarda kolon-kiriş bağlantılarında ağır olmayan türde hasar saptanmıştır. ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda bu tür bağlantı detaylarına sahip eleman deneye tabi tutulmuş ancak hiçbir bağlantı detayı istenen davranışı gösterememiştir. Moment aktarabilen bağlantılara sahip üretilmiş çerçevelerden oluşan çok katlı yapılardaki hasar nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

1. Depremde yükün tersindiği dikkate alınmadığından, kirişin alt donatısının sürekliliği ya hiç sağlanmamış veya yetersiz kalmıştır.
2. Plaka ankrajları yetersiz kalmıştır.

3. Üstte kiriş donatısının kolondan çıkan filizlere bindirmeli olarak eklenmesi yetersiz kalmıştır.

4. Bu tür bağlantılar düğüm noktasında yapıldığından, iki zayıflık bir araya gelmiştir.

5. Bağlantıların sağlıklı davranmaması, yanal ötelemeleri arttırarak taşıyıcı olmayan dolgu duvarlarında önemli hasar oluşturmuştur.

Bölgede yapılan incelemelerde, bu sistem kullanarak yapılan bazı binalarda hiçbir yapısal veya yapısal olmayan hasara rastlanmamıştır. Hatta üretici firması ve projesi aynı olan iki özdeş yapıdan birinin hasar görmesine karşın diğesinde hiçbir hasara rastlanmamıştır. Bu da zeminin etkili olduğunu göstermiştir.

Bu binalardaki bağlantılar, deney sonucu geliştirilen detaylara sahip olsalardı, büyük olasılıkla hasar görmeyeceklerdi.

Bölgede bulunan tek katlı, mafsallı bağlantılı prefabrike çerçevelerden oluşan endüstri yapıları 1998 Ceyhan, 1999 Kocaeli Depremlerinde büyük hasar görmüştür (Şekil 8.5). Bu tür yapılarda, ön üretimli kolonlar, temellerde yerinde dökme soketlere oturtulduktan sonra, kolon çevresi harçla doldurulmaktadır. Ön üretimli kirişler kolonlardan çıkan konsollara mafsallı olarak bağlanmaktadır. Bu tür binalarda mafsallı bağlantı tek veya çift pimlerle sağlanmıştır. Tek katlı, mafsallı bağlantılı prefabrike, çerçevelerden oluşan endüstri yapılarındaki sistem kusurları aşağıdaki gibidir;

1. Yanal rijitlik yetersizdir. Hasar gören hiçbir yapıda kolonlar, 1998 yönetmeliğindeki yanal ötelenme sınırını sağlayacak kesite sahip değildir. Aşırı yanal ötelenme bağlantılarda aşırı zorlamalara yol açmış ve zaten yetersiz olan bağlantılar kırılarak kirişlerin düşmesine neden olmuştur.

2. Çatı düzeyinde bir diyafram yoktur. Çatıda kirişleri bağlayan tek eleman açıklardır ve bunların da diyafram etkisi oluşturması söz konusu olamaz. Her çerçeve bağımsız çalışmış ve çerçeveler arasında “uyum” ve yardımlaşma olmamıştır.

3. Deprem etkisi ile kirişte oluşmaya başlayan dönmeyi önleyecek elemanlar olmadığından, kirişler serbestçe dönmüş ve mesnetteki pimleri zorlayarak onları ya sıyırılmış ya da kırmıştır.

4. Bazı binalarda kirişler konsolun tam ucuna oturtulmuş ve oluşan yanal ötelemelerde bu kirişlerin düşmesi kaçınılmaz olmuştur.

Ayrıca detay kusuru olarak ta, mafsal bağlantıda tek pim kullanılan durumlarda bu pim, yanal ötelenme veya kiriş dönmesi sonucunda oluşan zorlamaları karşılamanın mümkün olmadığı belirtilmiştir. Çift pimli bağlantılar görece olarak daha iyi davranmıştır.

2003 yılında Bingöl’de meydana gelen depremde 1986 yılında betonarme prefabrik olarak inşa edilen 576 konutluk katlı Genç Deprem Konutlarında yapısal bir hasar meydana gelmemiştir. Bu olumlu durum beton prefabrik teknolojisinin katlı konutlarda uygulanabilirliğini göstermiştir.

8.2 Onarım Ve Güçlendirme

En genel tanımıyla hasar öncesi dayanım düzeyine getirmek onarım, hasar öncesine göre daha yüksek bir dayanım düzeyine getirmek güçlendirme olarak nitelenmektedir. Yapıda yanal rijitlik sağlayan yeni elemanlar oluşturularak ve deprem etkilerinin büyük bir bölümünü bu yeni elemanlara taşıtarak sistem davranışının iyileştirilmesi ve eğer hala gerekiyorsa, sınırlı sayıda elemanın güçlendirilmesi şeklinde özetlenen onarım-güçlendirme stratejisi, prefabrike yapılar için de geçerlidir.

Prefabrik endüstri binaları 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinde büyük hasarlara uğramışlardır. Pek çok hasarlı bina eski Türkiye deprem yönetmeliğine, TDY-75'e göre tasarlanmıştır. Her ne kadar, şimdiki Türkiye deprem yönetmeliği, TDY-98, genelde çok modern ve mükemmel bir deprem yönetmeliği ise de, betonarme prefabrik endüstri binalarının tasarımı bakımından bir takım hayati yetersizlik ve eksiklikler ile malûldür.

Bu hasarların temel nedenleri gerek Türkiye Prefabrik Birliği, gerekse bağımsız kuruluşlar tarafından hazırlanan raporlarda irdelenmiştir. Başlıca hasar nedeni, prefabrik sanayi yapılarının esasında düşey yük için geçerli olan sistemlerle yapılması, deprem etkileri için özellikle bu amaçla tasarlanmış yatay yük dayanım sistemine sahip olmamalarıdır. Prefabrik sanayi yapıları 1999 yılına kadar olan uygulanmış biçimleriyle yatay yüklere karşı iki yönlü çerçeve etkisi oluşturmakta yetersizdirler. Çatı sistemleri genellikle yapıda üç boyutlu sistem davranışını sağlamak için gerekli olan diyafram rijitliği etkisine sahip değildir. Yatay yük dayanımı ise çoğunlukla 15-20 metre aralıklı olarak yerleştirilen 40 ila 50 cm kesitli, kare, altı ankastre, üstü mafsalı bir kolon sistemiyle karşılanmaya çalışılmıştır. Bu sistemin 1. ve 2. Deprem

bölgelerinde yetersiz olduğunu göstermek çok basittir. 1999 depremleri de bu sonucu kanıtlamıştır. Ülkemizdeki deprem bölgelerinde inşa edilmiş olan prefabrik sanayi yapılarının büyük çoğunluğu yukarıda anlatılan sistem özellikleri ile inşa edildiğinden yeterli deprem güvenliğine sahip değildir. Özellikle Marmara Bölgesi'nde bulunan yapılar, 1999 Kocaeli depreminden sonra artan bir deprem riski ile karşı karşıyadır. Prefabrike yapılar, yapıların tipine, deprem dayanımında, hasar derecesine, birleşim tipine ve şekline bağlı olarak birçok şekilde onarılabilir ve güçlendirilebilir.

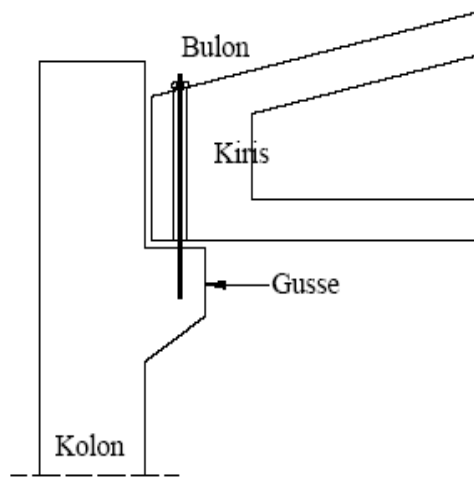
8.2.1 Prefabrike Çerçevesel Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi

Prefabrike çerçevesel yapılarda meydana gelen hasarlar yapı sisteminin sahip olduğu hareket özelliğinin taşıyıcı elemanlar ve dolgu elemanlarını etkilemesi sonucu oluşur. Bu tip yapılarda onarım, zarar görmüş ek yerleri ve elemanların tamiri, güçlendirme ise sistemin veya zarar görmüş münferit elemanların daha önce sahip oldukları dayanımın arttırılması ile yapılır. Mimari veya kullanım kısıtlarından dolayı yapının kısmen güçlendirilebilmesi hali, orijinal konumdan daha iyi olan, ancak güncel deprem etkilerinin tamamının karşılanmadığı durumlarda ise iyileştirme yoluna gidilir, [25].

Islak birleşimlerle yapılan prefabrike çerçevesel yapılarda zarar görmüş elemanlar, yerinde dökme betonarme yapılardaki gibi onarılırlar. Ek yerleri zarar görmüş beton çıkarılır ve çatlaklar, yeni betonla yada epoksit reçine harcıyla doldurulur. Gerekirse mantolama ile güçlendirilerek gelen yüklere karşı dayanımı sağlanabilir. Bu tip binalar, genellikle bulonlu ve mafsallı birleşimlerinde göçmeye uğrarlar. Bu yüzden bu birleşimlerin onarımı ancak ek yerlerinin yeniden inşasıyla sağlanabilir.

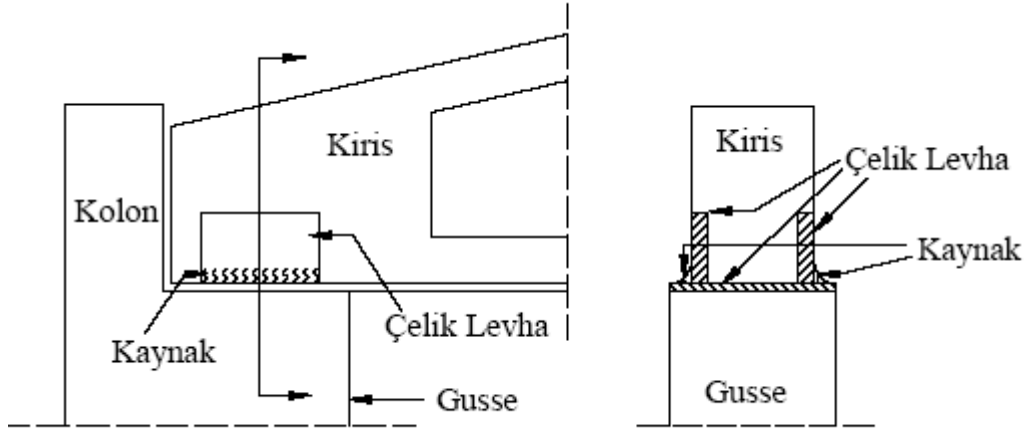
Nejat Bayülke tarafından 1998 Adana Depremi sonrası uygulanan tek katlı prefabrike çerçevesel yapı sisteminin durumun iyileştirilmesi için getirilen çözüm önerileri aşağıdaki gibidir;

Kiriş ucundaki delikten geçen filiz demirlerinin uçlarında dış açılması ve buraya bulon takılarak sıkıştırılması, (Şekil 8.6),



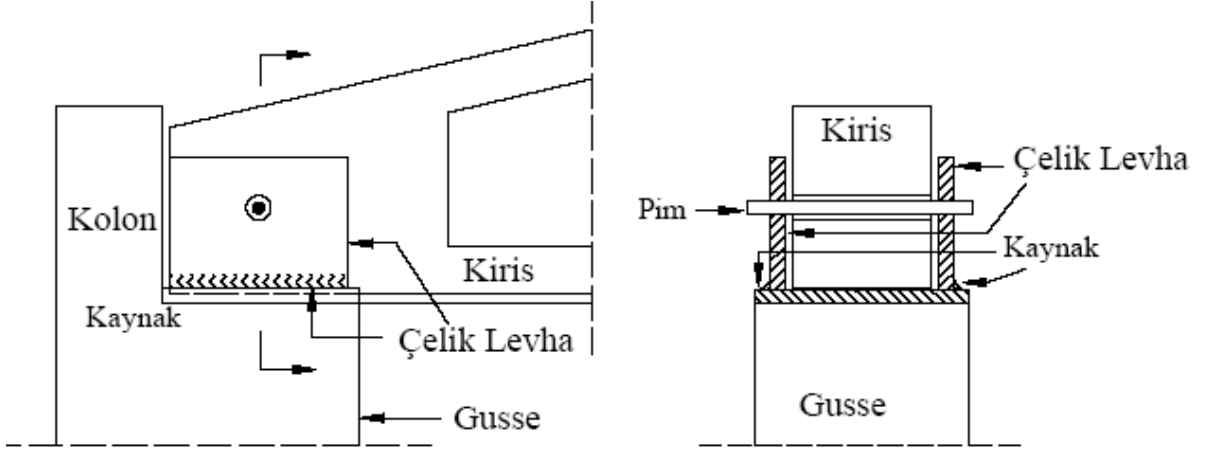
Şekil 8.6 : Filizlerin Uçlarının Bulonlu Yapılması

Kirişin yanına yerleştirilmiş çelik levhaların kolondaki konsola konulmuş çelik levhaya kaynaklanması, (Şekil 8.7),



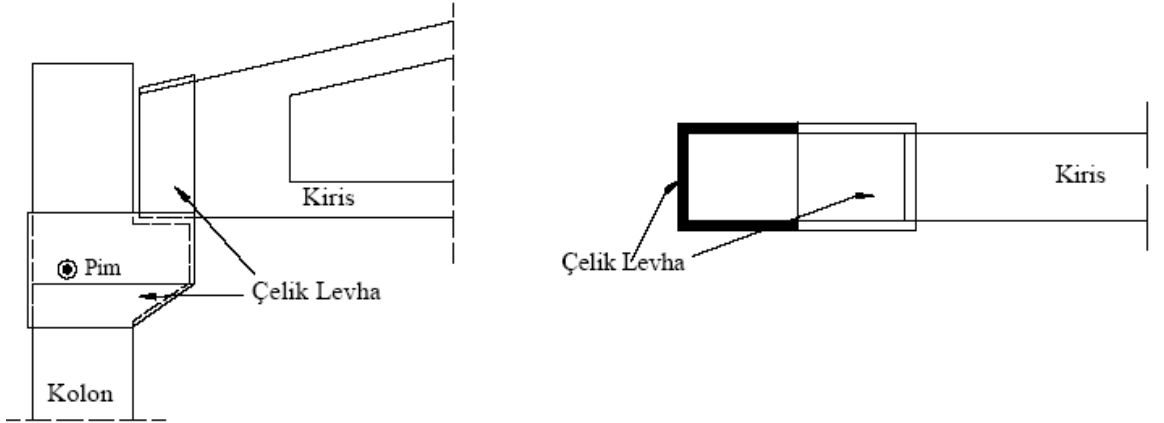
Şekil 8.7 : Kiriş Yan Levhalarının Mesnet Levhalarına Kaynaklanması

Kirişi çelik bir yuva içine alma ve bu kirişin ortasından bir pim geçirerek özellikle çelik köprü ayaklarındakine benzeyen klasik "mafsal" oluşturulması, (Şekil 8.8),



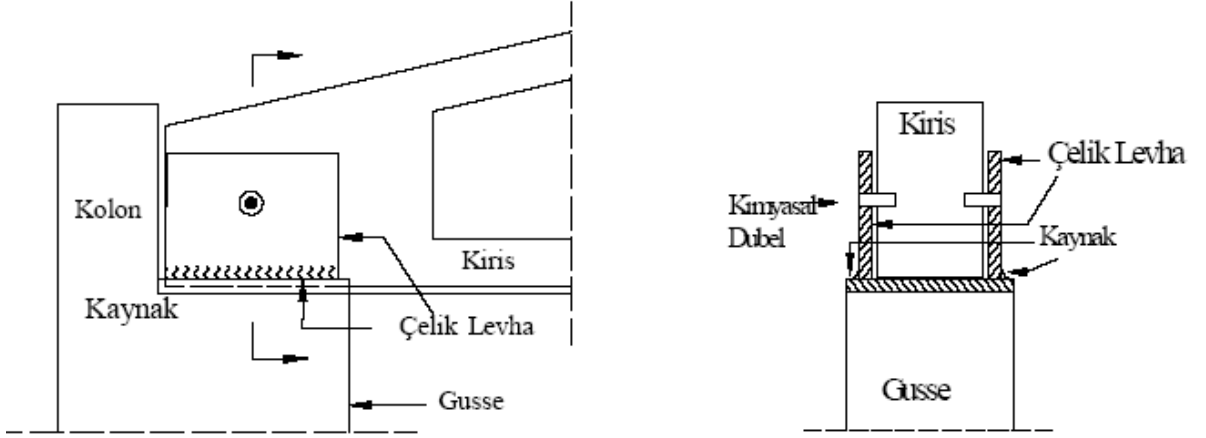
Şekil 8.8 : Kirişin Çelik Bir Yuvaya Oturması Ve Ortasından Geçen Bir Pimle Bağlanması

Kiriş ucunu ve konsolu birbirine kaynaklı çelik levhalarla "sarsma" yöntemi, (Şekil 8.9),



Şekil 8.9 : Kirişin Mesnete Oturduktan Sonra Kaynaklı Levhalarla Sarılması

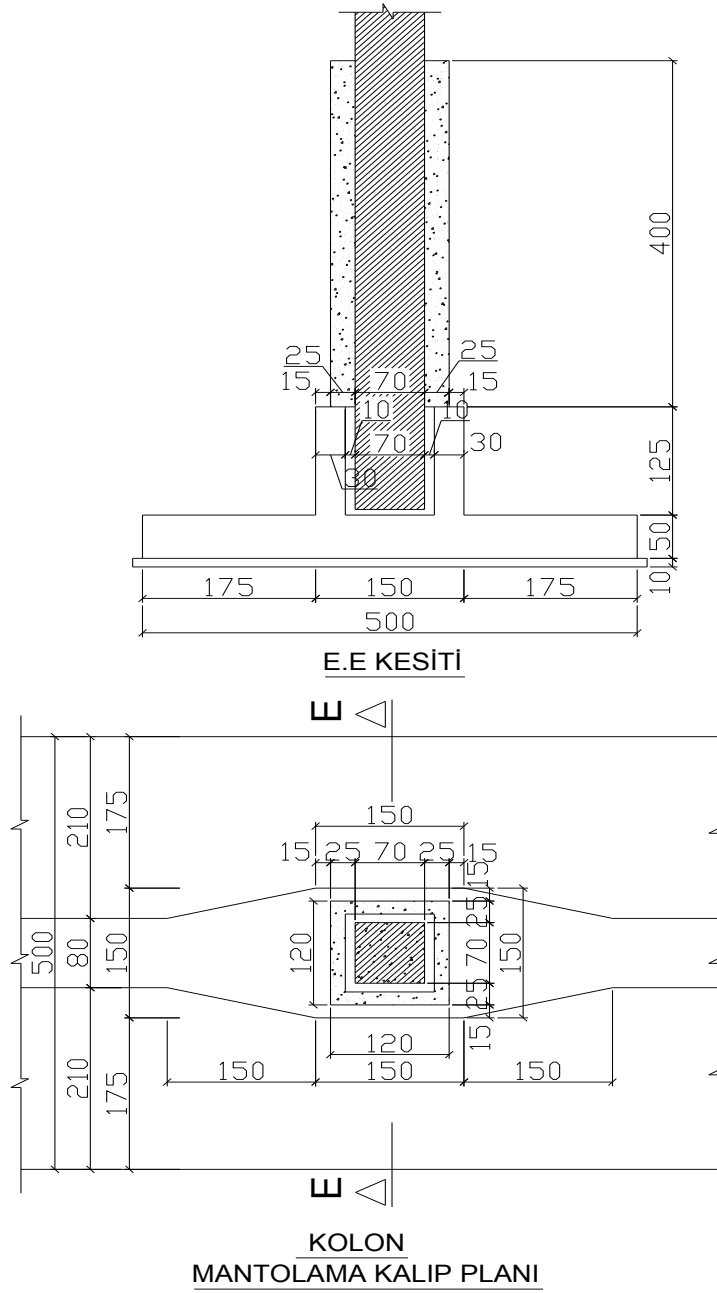
Kiriş ucunu ve konsolu kimyasal dubeller kullanılarak çelik levhalarla birleştirilmesi (Şekil 8.10),



Şekil 8.10 : Kiriş Ucunu Ve Konsolu Kimyasal Dubeller Kullanılarak Çelik Levhalarla Birleştirilmesi

Çoğu fabrika tipi olan prefabrike çerçevesi yapıların güçlendirilmesinde genellikle yapıların esnekliği dolayısıyla yanal yer değiştirmeleri yönetmeliklerin öngördüğü düzeye indirecek önlemlere gerek duyulmaktadır. Bu işlem çoğunlukla bağlantısı zayıf olan boyuna doğrultuda bağlayıcı eleman yerleştirme ve kısmen kolon mantolaması yoluyla yapılabilmektedir. Son deprem yönetmeliği uyarınca yapıda ara kat bulunması halinde yatay yükler her iki doğrultuda yapılan perdelerle alınacaktır.

Kolonlar betonarme veya çelik ile mantolonabilir. Bu yöntemle elemanda gerekli dayanım sağlanmış ve donatı eksikliği giderilmiş olur, (Şekil 8.11), [5]. Mantolomanın bina yüksekliği boyunca yapılmasına gerek yoktur. Mevcut kesitteki donatının yeterli olduğu katta mantoloma durdurulabilir. Eğer mantoloma betonarme olarak yapılıyorsa donatı filizlerinin temellere kaynaklanması gerekir. Eğer çelik manto yapılıyorsa yine epoksi esaslı malzemeler ve kimyasal dubeller kullanılarak mantolomanın temelle bağlantısı sağlanır. Böylece yükler temele kadar aktarılmış olur. Güçlendirme yapılırken kolon yüksekliği boyunca rijitlik ve kuvvet aktarımının ani olarak yapılmamasına dikkat edilmelidir. Tüm mantolama işlemi tamamlandıktan sonra, yapının durumuna göre ağır cephe panelleri sökülerek daha hafif bir kaplama cinsi tercih edilebilir. Böylece ölü yükün azalması sağlanacak ve yapıya deprem sırasında etkiyecek olan deprem tesirleri de azaltılmış olacaktır.



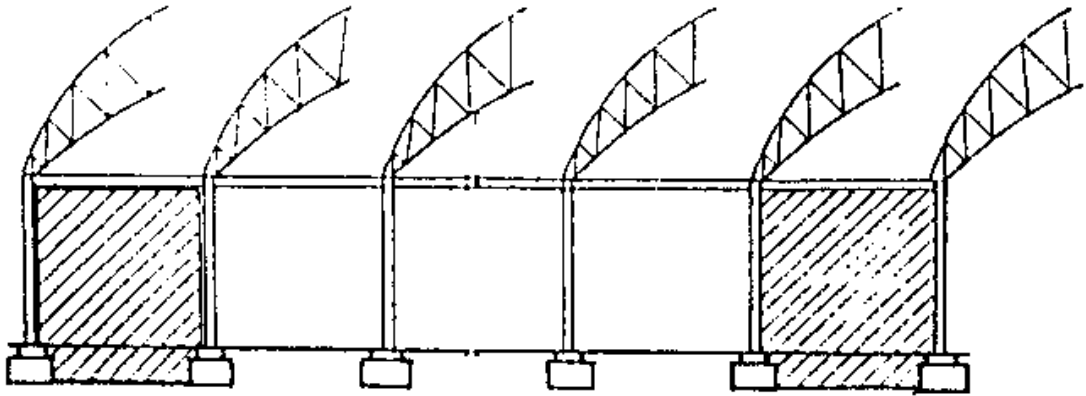
Şekil 8.11 : Örnek Bir Kolon Mantolaması Kalıp Planı

Çatıyı oluşturan eğik çatı kirişleri ve aşıklar çatı kaplamalarıyla birlikte devrilmelerini engellemek için, birleşim hesaplarının çerçeveye dik doğrultuda bu atalet kuvvetlerinden doğan devrilme momenti ve kesme kuvvetleri de dikkate alınarak yapılması, pimli bağlantılarda kullanılacak donatıların çaplarının ve ankraj boylarının bu etkilere göre belirlenmesi gerekmektedir. Çubuk ankraj boylarının kirişin mesnet yüksekliğinden büyük hesaplanması durumunda bulonlu bağlantılarla ankrajların

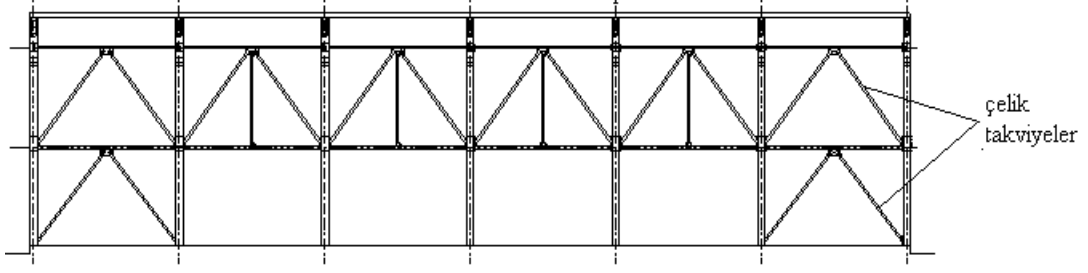
güçlendirilmesi yoluna gidilmelidir, (Şekil 8.6). Diğer taraftan bağlantı çubuğa ile kiriş arasında aderansı sağlayacak özel harç dolgu malzemesi özenle bağlantı donatısı çevresine yerleştirilmelidir. Dolgu harcı ile hem donatının, hem de kirişteki delik çevresinin aderansının çok iyi olması ve yeterliliğinin hesapla kanıtlanması gereklidir. Mesnet bölgesinde, kısa konsol ve kiriş kenarlarında düşey yük ve/veya devrilme momentlerinden oluşacak kenar gerilmelerinin aşırı değerlere ulaşmasını engellemek ve gerilmelerin daha geniş alan yayılmasını sağlayarak kiriş ve konsol kenar betonlarının kırılmasını önlemek için elastomer mesnetler kullanılabilir. Bu sayede mesnet bölgesinde oluşacak hasarlar kısmen azaltılabilir.

Çok katlı prefabrike çerçeve sistemlerde ise güçlendirme bina yüksekliği boyunca dik doğrultuda yerleştirilecek olan perdelerle sağlanır. Perdeler bütün sismik yükü alabilecek şekilde tasarlanırlar.

Prefabrike çerçevesel endüstri yapıların uzun doğrultuda güçlendirilmesinde yine perdelerle mümkün olur (Şekil 8.12). Bu durumda bir diğer çözümden yapısal çelik sistemi ile yeni diyagonal destekler eklenmesidir (Şekil 8.13). Diyagonal çelikler eklendiğinde, beton ve çelik destekler arasındaki kuvvetleri iletmek ve devrilme kuvvetleri etkisinde kolonu güçlendirmek için betona epoksili civatalarla tutturulmuş düşey ve yatay çelik destekler ankrajlanır.



Şekil 8.12 : Prefabrike Çerçevesel Yapıların İlave Perdelerle Güçlendirilmesi



Şekil 8.13 : Prefabrike Çerçeveli Yapıların İlave Diyagonal Çeliklerle Güçlendirilmesi

Bina köşelerinde kolonlar arasında yapılan düşey çaprazlar ile yatay yükler kolon üzerinde moment oluşturmadan doğrudan temellere aktarılacaktır. Bu çaprazlar ile yapının yanal deplasmanları engellenecek ve burulma tesirleri ortadan kaldırılacaktır. Ayrıca bu çaprazlar kolon üzerindeki moment tesirlerini azaltarak zemin gerilmesini düşük değerde tutacaktır.

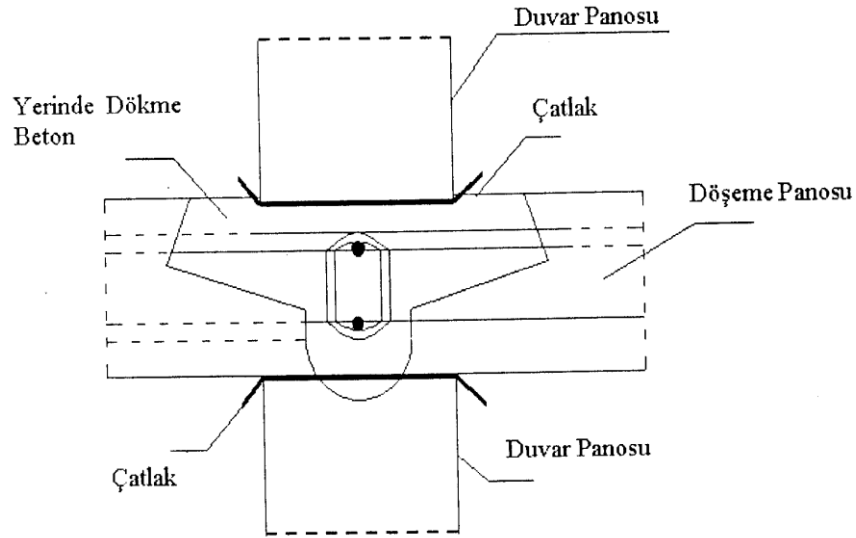
Yapılacak güçlendirme de sağlanacak ilk koşul, yanal rijitlik koşulu olmalıdır. Bu koşul yukarıda da anlatıldığı gibi çelik çaprazlarla veya perdelerle sağlanabilir. Ancak, perde veya çaprazlarla rijitleştirme, prefabrike çerçeveli sistemler için tek başına bir çözüm olmaz. Çoğu yapıda üst kısımda diyafram olmadığından, çelik çaprazlar veya perdeler sadece içine yerleştirilecek çerçeveyi rijitleştirecek, o çerçeveye paralel diğer çerçeveleri etkilemeyecektir. Bu yüzden sistemin etkili olabilmesi için, çatı düzeyinde bir diyafram oluşturulması zorunludur. Çatı yüzeyinde yatay çelik çapraz çubuklardan oluşan bir sistemle, büyük bir kafes kiriş oluşturulmuş ve diyafram davranışı sağlanmış olur. Diyafram görevini yüklenen çelik çaprazlar, kolon başlarına geçirilen özel çelik kelepçelerle bağlanır. Oluşturulan bu diyaframdan yükler düşey stabilite bağları ile kolon başlıklarına taşınacak ve tüm taşıyıcı sistem kolonlarının yatay yükler altında birlikte davranması sağlanacaktır.

8.2.2 Prefabrike Panolu Yapıların Onarım Ve Güçlendirilmesi

8.2.2.1 Prefabrike Panolu Yapıların Onarımı

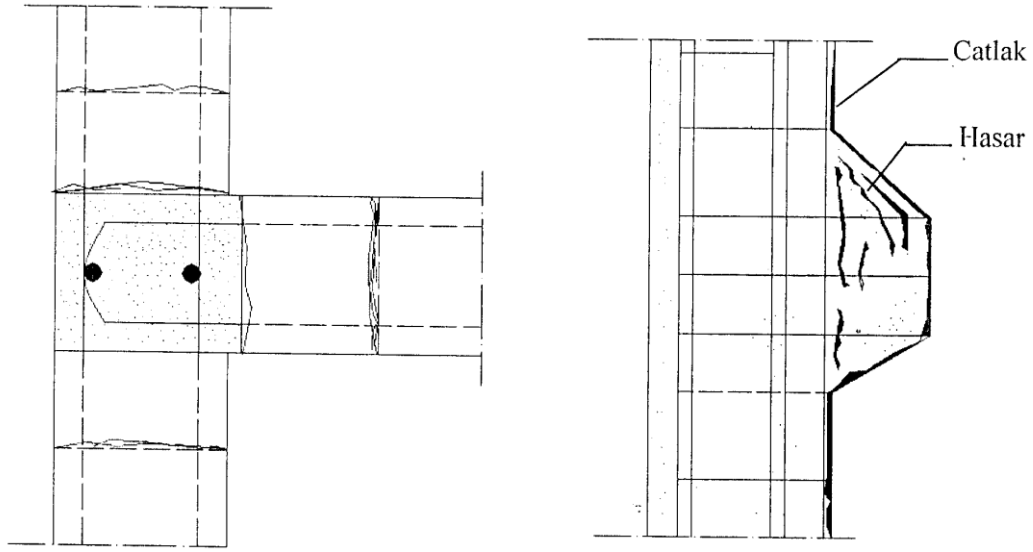
Prefabrike panolu yapılarda onarımı gerektirecek sorun genellikle birleşim bölgelerinde uygulanan bağlantılar sonucu betonda, yerçekimi ve deprem yüklerinin neden olduğu çatlaklardır. Islak birleşimlerde çatlaklar betonun bölgesel ezilmesiyle büyüyebilir. Şekil 8.14'de de görüldüğü gibi ıslak yatay birleşimler bazen, prefabrike

ve yerinde dökme beton arasındaki ek yerlerinde çatlakların artmasına neden olabilir. Tüm bu hasarları onarmak için öncelikle ek yeri, yüksek basınç altında sıkıştırılmış havayla temizlenmelidir. Bu sayede ezilme ve kaymadan dolayı biriken kuru parçalar ortadan kalkmış olur. Bölgesel ezilmenin olduğu yerlerde ise tüm gevşek betonlar kaldırılmalı ve temizlenen bölgeler yeni betonla yada epoksit reçine harcıyla doldurulmalıdır. Yatay ek yerlerinin kalan kısmı da uygun emülasyon ile (çimento şerbeti, sentetik yapıştırıcı vb.) derz yapılmalıdır. Kaynaklı veya bulonlu levhalarda ya da eklerden gelen kuru birleşimlerde de hasar genellikle, bağlantı bölgelerine bitişik yerlerde çatlamış veya ezilmiş beton şeklinde gözlenir ve onarım için aynı yöntem uygulanabilir. Bağlantıların çelik elemanlarındaki gerilmeden oluşan hasarlar ise uygun kaynak yapılarak ya da yeni çelik parçalar eklenerek onarılabilir. Eğer birleşim yeri aşırı derecede hasar görmüşse, ağır hasarlı bağlantı elemanlarını onarmaktansa, yeni bağlantı elemanlarıyla güçlendirmek daha ekonomik olabilir.



Şekil 8.14 : Islak Yatay Birleşimlerde Çatlak Oluşumu

Düşey bağlantılardaki tipik hasar nedeni ise, kenetlerin kısmen ezilmesi ve oluşan çatlakların temas yüzeyi boyunca genişlemesidir, (Şekil 8.14). Betonun bölgesel olarak ezilmesi dışında, küçük çatlakların oluşması durumunda, çatlaklar temizlenmeli ve tüm çatlak yüksekliği boyunca uygun enjeksiyon harcıyla doldurulmalıdır. Kenetlerin ezilmesi sebebiyle büyük çatlaklar oluşuyorsa, bu durumda, ezilmiş beton ve dökülen parçalar tamamen temizlendikten sonra yeni beton ve harçla uygun form verilerek yerleştirme yapılmalıdır.



Şekil 8.15 : Prefabrike Panolu Sistemlerde Düşey Bağlantılarda Oluşan Çatlaklar

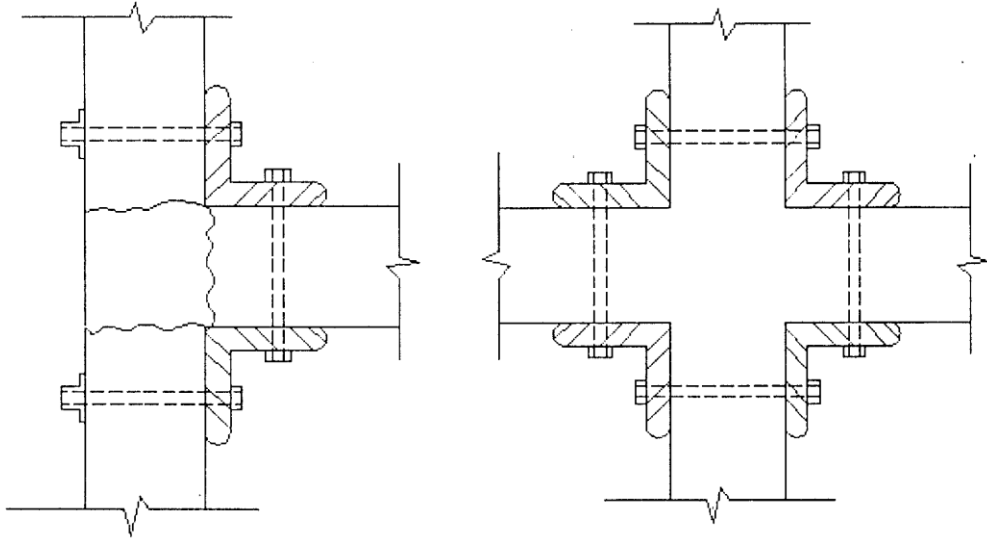
Çatlaklar bazen de birleşim bölgelerinden uzakta, özellikle kapı ve pencere boşluklarına bitişik panolarda oluşabilir, (Şekil 8.1) Bu bölgede oluşan çatlaklar ve benzer hasarlar, yerinde dökme betonarme yapılarda olduğu gibi epoksi aracılığıyla yapıştırma ile onarılabilir. Uygulaması kolay olan yapıştırma tekniğiyle deprem yüklerine karşı dayanım ve yanal rijitlik büyük oranlarda artırılabilir.

8.2.2.2 Prefabrike panolu yapıların güçlendirilmesi

Prefabrike panolu yapıların güçlendirilme yöntemleri, hasarın türüne ve derecesine göre çeşitlendirilebilir. Eğer yapıda her iki yönde de yeterli duvarlar mevcutsa var olan birleşim noktalarının sağlamlaştırılması veya değiştirilmesiyle güçlendirme işlemi yeterli olabilmektedir. Eğer yapının herhangi bir yönündeki döşeme ve taşıyıcı duvarlara bu yöne dik yöndeki döşeme ve panolar arasında dengesizlik mevcutsa veya yapı içindeki taşıyıcı duvarlar yetersizse yeni duvarlar eklenerek yapı güçlendirilebilir.

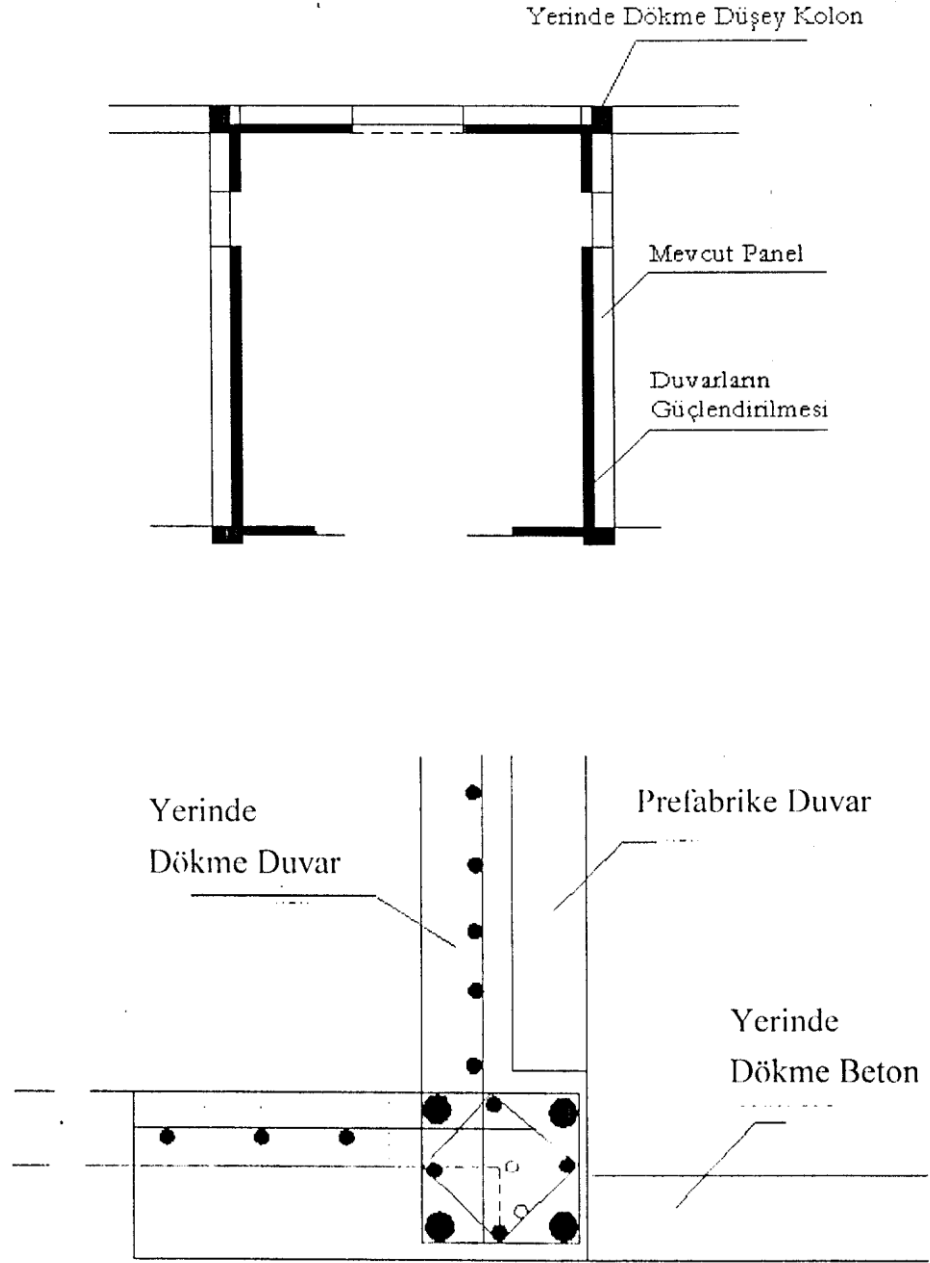
Yapıdaki panoların yeterli olması durumunda, birleşim yerlerinin güçlendirilmesi genel olarak Şekil 8.15'deki gibi birleşim noktalarına paralel bulonlu çelik köşebentler eklemek suretiyle yapılır. Bu sırada açılan delikler ise epoksi enjekte edilerek yapıştırılır. Bulonlu profiller yeterli dayanıma ulaşabilmek için istenen uzunluk boyunca düzenlenebilir. Köşebentlerin ayakları, bulonların pano uçlarından uygun mesafede yer alabilmeleri için yeterli uzunlukta olmalıdır. Böylece prefabrike

panoların uçlarında meydana gelebilecek çatlaklar ya da dökülmelerden ötürü meydana gelebilecek zamansız hasarlar önlenmiş olur.



Şekil 8.16 : Pano Birleşim Yerlerinin Paralel Bulonlu Çelik Köşebentlerle Güçlendirilmesi

Tek yönde yetersiz duvarların olduğu ya da yapı içinde yeterli duvarın olmadığı yapılarda ise, yetersiz yöndeki rijitlik ve dayanım dikkate alınarak, binanın tüm yüksekliği boyunca yeni duvarlar yeni temellerle birlikte eklenebilir. Yapıdaki hasar derecesine bağlı olarak gerekirse varolan duvarlara da betonarme duvar takviyesi yapılabilir. Duvar panolarının güçlendirilmesi, Şekil 8.16'daki gibi düşey bağlantı yerlerinde betonarme kolon inşasıyla da yürütülebilir. Böylece aynı anda prefabrike panoların ve yeni eklenen duvarların yatay donatıları birbirine bağlanmış olur. Duvar yüksekliği boyunca düşey donatı, kat seviyelerinde açılan delikler boyunca süreklilik arz eder. Pano ve betonun arasındaki temas yüzeyinin aderansının sağlanması için bu bölge pürüzlenir ve kenetlenir. Donatı çubukları yerleştirildikten sonra yeni beton tabakası uygun şekil verilerek veya püskürtme tekniğiyle yerleştirilir.



Şekil 8.17 : Prefabrike Panolu Sistemlerin Duvar Ve Kolon Takviyesiyle Güçlendirilmesi

Bütün önerilen ve uygulanan çözümlerin sistemin deprem davranışını belirlemek için öncelikle denenmesi gerekir. Gerçek deprem yer hareketi altında yapıya gelebilecek yatay yükler ya da yatay ötelenmelerin etkisi altında şu anda kullanılan ek yerinin davranışı belirlenmelidir. Ayrıca davranışı iyileştirmek için önerilen çözümlerin ve ayrıntıların da denenmesi gerekir. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde denenmiş imalatçı firmaların “özgün” prefabrike yapı birleşim detaylarının hepsinin deprem açısından

“geliştirilmesi ve iyileştirilmesi” gerekmiştir. Yine bu deneylerde kaynaklı bağlantı sorunları ile çok sık karşılaşmıştır.

Çözümlerin yapının deprem güvenliği açısından yeterliliğinin kanıtlanması yanında uygulanabilirliğinin kolaylığı ve prefabrikenin çok önemli avantajı olan hızlı inşaata ne kadar uygun olup olmadığı ve de maliyeti de önemlidir.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Prefabrik endüstri binalarının 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinde uğramış oldukları büyük hasarlar, Türkiye'de dikkatleri prefabrik beton teknolojisinin üstüne çekmiştir. Geçmiş örneklerde görülen zayıf kolonlar, yetersiz ve gelişigüzel bağlantılar, kolon tabanlarında sarılma bölgelerinin yokluğu ve hesaplanandan daha fazla etkiyen deprem kuvvetleri nedeniyle oluşan bu hasarlar yüzünden prefabrike yapıların en fazla kuşku uyandıran yönü deprem dayanımı olmuştur. Ancak burada suçu prefabrike teknolojisine atmak yanlış olur. Nitekim yapılan çalışmalar göstermiştir ki prefabrikasyon inşaat kurallarına göre kusursuz olarak yapılmışsa, konvansiyonel (geleneksel) sisteme göre daha dayanıklı ve daha güvenli olmaktadır. Yaşanılan tecrübelerden çıkarılan derslerle prefabrike yapıların depreme dayanıklı tasarımının üzerinde çalışılması gerektiği ortaya çıkmıştır.

Türkiye Deprem Yönetmeliği TDY'98'in özellikle prefabrike çerçeveli yapılar söz konusu olduğunda yetersiz kaldığı görülmektedir. Deprem yükü azaltma katsayısı R, prefabrike yapılarda deprem kuvvetlerinin belirlenmesi açısından çok önemlidir. Deprem yükü azaltma katsayısı TDY'98'de 5 gibi çok yüksek bir değer alınırken, UBC'97'de 2.2, Eurocode-8'de 2 alınmaktadır. Bu da TDY'98'e göre hesaplanan deprem yüklerinin UBC'97 ve Eurocode-8'e göre hesaplananların çok çok altında çıkmasının nedenidir.

Kolonlardaki plastik mafsallaşmalar genellikle kolonun alt başlarında görülür ve kolonun inelastik deformasyon yapmadan çökmesine neden olmaktadır. 1998 Adana-Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinde bu hasarın sayısız örnekleri görülmüştür. Bu nedenle, prefabrike taşıyıcı kolonların alt başları, en az 150 cm uzunluğunda bir bölge boyunca TDY'98'de verilen özel sarılma etriyeleriyle iyice sarılmalıdır ve etriyelerin mesnetlenmemiş ara mesafeleri 25 cm'yi geçmeyecek şekilde ilave etriyeler veya özel deprem çirozları kullanılmalıdır.

Prefabrike çerçeveli endüstri yapıların uzun doğrultudaki yatay deprem stabilitesinin artırılması için, kullanım amacına göre en azından dış cephe kolonları arasında

yerinde dökme betonarme perde duvar veya yapısal çelik sistemi ile yeni diyagonal destekler eklenmesine izin verilmelidir.

Prefabrike panolu yapıların tasarımında ise en belirleyici unsur yatay ve düşey ek yerlerinin deprem yükleri altındaki davranışdır. Birleşimler üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde prefabrike panolu yapılar için en uygun sistemin düşey ek yerlerinin enerji tüketebilecek güçte tasarlanmaları, eleman ve yatay ek yerlerinin ise yüksek taşıma güçlü ve elastik bölgede kalacak biçimde tasarlanmasıdır. Bu da yatay ek yerlerinin, düşey ek yerlerine göre iki katı kadar daha büyük yatay kuvvetlere göre tasarlanmalarını gerektirebilir. Böylece zayıf bağlantılı birleşimler kullanıldığında bile perde duvarlarla sağlıklı bir davranış sağlanabildiği gözlenmiştir. Nitekim ülkemizde yaşadığımız depremlerde, prefabrike panolardan oluşan çok katlı yapılarda hasar gözlenmemiştir. Ancak hesaplarda ve detaylarda diyafram etkisi ihmal edilmemeli ve prefabrike döşeme elemanlarının yatay kuvvet transferine uygun bir şekilde bağlanmaları veya üzerlerine tabliye betonu dökülerek monolitik özelliği kazandırılmaları gerekebilir.

Prefabrike sistemlerde ana taşıyıcı elemanları (kolonlar, kirişler,paneller) deprem esnasında süneklik ve dayanım şartları açısından konvansiyonel sistemle yapılmış bir elemana göre çok daha iyi davranış sergilerler ama bağlantı elemanları için aynı durum söz konusu değildir. Bağlantılar kritiktir ve prefabrike yapıların en zayıf olduğu bölümlerdir. Prefabrike yapıların ek yerleri, konvansiyonel sistemle yapılan yapılar kadar rijit ve enerji tüketecek güçte olmadığından, tasarımda kullanılacak deprem kuvvetlerinin, konvansiyonel yapılar için öngörülenlerden daha büyük olması gerekir. UBC'97 ve Eurocode-8'de bağlantılar için katı kurallar getirilmiştir. Bağlantı elemanlarında, sismik tasarım yükleri UBC'97 ve Eurocode-8'de TDY'98'e göre 3-4 katı alınmaktadır. TDY'98'de bağlantı hesaplarında dikkate alınan büyüklüklerin gözden geçirilmesi gerekir. Ayrıca birleşimler mümkün olduğu kadar basit seçilmeli, sünek yapılmalı, korozyona karşı korunmalı ve yangına karşı dayanıklı olmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, TDY'98, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İzmir.
- [2] **Günerman, H.** 1997. Prefabrike Bina Sistemleri, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, BÜ, İstanbul, 23-26 Haziran, s. 2-3.
- [3] **Ayaydın, Y.**, 1992. Betonarme Çok Katlı Prefabrike İskelet Sistemler, Kurtiş Matbaası, İstanbul.
- [4] **Ayaydın, Y.**, 1981. Büyük Açıklıklı Betonarme Prefabrike Yapılar, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [5] **Doğruöz, İ.**, 2005. Prefabrike Endüstri Yapılarının Tasarımı Onarım – Güçlendirmesi Ve Maliyet Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [6] **Bayülke, N.**, 1989. Depreme Dayanıklı Prefabrike Yapılar, Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- [7] **Özmen, G., Zorbozan, M.**, 1998. Prefabrike Yapı Tasarımı Örnekleri, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul.
- [8] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2001. Betonarme Yapılar, İhlas Matbaacılık, İstanbul.
- [9] **Celep, Z., Kumbasar, N.**, 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta, İstanbul.
- [10] **Özden, K.**, 1992. Betonarme ve Öngerilmeli Betonda Davranış ve Hesap Modelleri, İTÜ, İstanbul.
- [11] **Bayülke, N.**, 2001. Depreme Dayanıklı Betonarme ve Yığma Yapı Tasarımı, *İMO İzmir Şubesi*, 111.
- [12] **Çolakoğlu, H.K.**, 1997. Seismic Resistant Design of Precast Industrial Buildings, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [13] **Zorbozan, M., Barka, G., Sarıfakıoğlu, F.**, 1998. Ceyhan Depreminde Prefabrik Yapılarda Görülen Hasarlar, Nedenleri ve Çözüm Önerileri, *Beton Prefabrikasyon* ,**48**, 20-25.
- [14] **Yüzügüllü, Ö.**, 1995. Depreme Dayanıklı Prefabrike Yapı Tasarımında Son Gelişmeler, *Beton Prefabrikasyon* ,**34**, 5-8.

- [15] **Zorbozan, K., Barka, G., Bakan, İ.**, 1997. Prefabrike Yapıların Montaj-Birleştirme ve İşletme Aşamalarında Davranışı, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, BÜ, İstanbul, 23-26 Haziran, s. 183-190.
- [16] **Bayülke, N.**, 1987. Prefabrike Yapı Sistemlerinin Depreme Dayanıklı Tasarım Yaklaşımları, *Deprem Araştırma Bülteni* ,**56**, 5-30.
- [17] **Bayülke, N.**, 1999. 17 Ağustos Depreminde Prefabrike Yapı Hasarları, *İMO Ankara Şubesi Bülteni* ,**Kasım**, 96-101.
- [18] **Göksu, E.**, 1981. Ön Yapım İskelet Sistemler ve Niğbaş A.Ş. Uygulaması, *Çağdaş Yapım Sistemleri Seri Konferansları*, Tubitak, Ankara, s. 211-223.
- [19] **Tezcan, S.**, 1987. Prefabrike İnşaat Teknolojilerinin Değerlendirme ve Tercih Kriterleri(1), *Prefabrike Yapıların Proje Kriterleri Sempozyumu*, D.S.İ. Genel Müdürlüğü, Ankara, 16 Nisan, s. 17-81.
- [20] **Neyzi, N.H.**, 1989. Prefabrikasyonun Ekonomiye Katkılarına Toplu Bir Bakış, *4.Prefabrikasyon Sempozyumu*, Prefabrik Birliği, Ankara, 16 Ocak, s. 29-55.
- [21] **Elgül, Ş.**, 2004. Prefabrike Betonarme Yapıların Sismik Tasarımı Onarım ve Güçlendirmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [22] **Özden, K.**, 1997. Prefabrike İnşaat Şartname Hükümleri ve Hesap Esasları, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, BÜ, İstanbul, 23-26 Haziran, s. 29-55.
- [23] **Ersoy, U.**, 1997. Prefabrike Yapıların Deprem Etkileri Altında Davranışı, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, BÜ, İstanbul, 23-26 Haziran, s. 57-70.
- [24] **Karamızrak, T.**, 1997. Prefabrike İnşaatın Üstünlükleri ve Öneriler, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, BÜ, İstanbul, 23-26 Haziran, s. 129-135.
- [25] **Aydoğan, M., Öztürk T.**,2003. Betonarme Yapılarda Güçlendirme Uygulamaları, *Prof.Dr. Kemal Özden 'i Anma Sempozyumu*, İTÜ, İstanbul, 22 Mayıs, s. 39-69.
- [26] **Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T.**, 2000. 1999 Yılında Marmara ve Düzce Depremlerinde Görülen Yapı Hasarları, *10.Prefabrikasyon Sempozyumu*, İstanbul, s. 105-114.

- [27] **Özmen, G., Yüzügüllü, Ö., Zorbozan, M.**, 1997. Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrik Yapılar Bakımından İrdelenmesi, TDV, İstanbul.
- [27] **Pekintaş**, 1998. *P.K.M. Tersanesi Yat Ambarı Statik ve Betonarme Hesapları*, Pekintaş İnşaat Endüstri ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- [29] **TS-9967**, 1992. Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [30] **TS-3233**, 1979. Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [31] **TS-500**, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [32] **TS-498**, 1987. Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [33] **TS-648**, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [34] **Eurocode-8**, 1998. Design Provisions for Eartquake Resistance of Structures, *European Prestandart*, Brussel.
- [35] **UBC'97**, 1997. Uniform Building Code, *International Code Council*.
- [36] **PCI**, 1988. Prestressed Concrete Institute, Design And Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete, Chicago.

ÖZGEÇMİŞ

Dilek BEKİROĞLU, 18.04.1980 tarihinde İstanbul'da doğdu. 1996 yılında Şişli Lisesi'nden, 2000 yılında İstanbul Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2000-2001 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'na bağlı Yapı (Deprem) Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Yüksek lisans öğrenimi sırasında özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştı.