İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PREFABRİKE BETONARME PANOLU YAPILARIN SİSMİK TASARIMI, ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Şener ELGÜL

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PREFABRİKE BETONARME PANOLU YAPILARIN SİSMİK TASARIMI, ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Şener ELGÜL
(501011047)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Ocak 2005

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK**
Diğer Jüri Üyeleri	**Doç. Dr. Tülay Aksu ÖZKUL**
	Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, prefabrike taşıyıcı sistemlerden panolu yapıların depreme dayanıklı tasarımının, bu yapılarda gözlenen deprem hasarlarının onarımının ve güçlendirilmesinin irdelenmesi hedeflenmiştir. Son olarak da sayısal bir uygulamaya yer verilmiştir.

Çalışmalarımın her aşamasında benden sonsuz yardımlarını esirgemeyen, bana her konuda destek olmaya çalışan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca olduğu gibi, yüksek lisans tez çalışmam sırasında da benden her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen aileme de teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Aralık, 2004 Şener ELGÜL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vı
TABLO LİSTESİ vıı
ŞEKİL LİSTESİ ıx
SEMBOL LİSTESİ xıı
ÖZET xv
SUMMARY xvı
1. GİRİŞ 1
2. PREFABRİKASYON 2
2.1 Tanım 2
2.2 Prefabrikasyonun Gelişimi 3
2.3 Malzeme, Beton Sınıfları ve Mukavemetleri 4
2.4 Yükler 7
3. PREFABRİKE ELEMANLAR VE TAŞIYICI SİSTEMLER 8
3.1 Çubuk Elemanlar 9
3.2 Düzlemsel Elemanlar 9
3.3 Bağ Elemanları 10
3.4 Temeller 11
3.5 Taşıyıcı Sistemler 12
3.5.1 Çerçeveli Sistemler 12
3.5.2 Panolu Sistemler 13
3.5.3 Hücre Sistemler 15
3.5.4 Karışık Sistemler 16
4. PREFABRİKE PANOLU YAPILARDA BİRLEŞİMLER 16
4.1 Panel-Panel Birleşimleri 19
4.2 Panel-Ana Taşıyıcı Mesnet Birleşimleri 19
4.3 Panel-Tali Yön Birleşimi 20
4.4 Taşıyıcı Duvar Panoları Birleşimleri 20
4.4.1 Düşey Birleşimler 21
4.4.2 Yatay Birleşimler 24
4.5 Taşıyıcı Panolar Arasındaki Kayma Birleşimleri 25
4.5.1 Kuru Kayma Birleşimleri 25
4.5.2 Islak Kayma Birleşimleri 25
4.6 Panolar Arasındaki Düşey Kayma Güvenliği 27
4.7 Panolar Arasındaki Yatay Kayma Güvenliği 29
4.8 Panolar Arasındaki Basınç Birleşimleri 31
4.9 Birleşimlerdeki ve Duvar Panosundaki Dışmerkezlikler 33
4.10 Duvar Panosunun Burkulmasının Önlenmesi 39

5. PREFABRİKE PANOLU YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI **41**
5.1 Monolitik Yapı Tasarımı 43
5.2 Depremde Elastik Kalmayı Sağlayan Tasarım 44
5.3 Yatay Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı 44
5.4 Düşey Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı 45
5.5 Prefabrike Pano ve Ek Yerleri Üzerinde Yapılmış Deneyler 46
5.5.1 Statik Deneyler 46
5.5.2 Dinamik ve Yönü Değişen Yükleme Deneyleri 48
5.6 Prefabrike Panolu Yapılarda Gözlenen Deprem Hasarları 54
5.7 Prefabrike Panolu Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi 56
5.7.1 Prefabrike Panolu Yapıların Onarımı 56
5.7.2 Prefabrike Panolu Yapıların Güçlendirilmesi 59
6. YÖNETMELİKLERDEKİ DEPREM YÜKLERİ VE HESAP KURALLARI **62**
6.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 62
6.1.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi 62
6.1.2 Prefabrike Binalara İlişkin Özel Koşullar 68
6.2 UBC 97'deki Sismik Tasarım Koşulları 69
6.2.1 Statik Kuvvet Yöntemi 69
6.2.2 Prefabrike Binalara İlişkin Özel Koşullar 72
6.3 Eurocode 8'deki Sismik Tasarım Koşulları 72
6.3.1 Statik Kuvvet Yöntemi 73
6.3.2 Prefabrike Binalara İlişkin Özel Koşullar 75
7. SAYISAL UYGULAMA **86**
7.1 Farklı Kat Adetlerine Göre Maksimum ve Minimum Kat Deplasmanları 89
7.2 Farklı Kat Adetlerine Göre Maksimum İç Kuvvetler 93
7.3 Taşıyıcı Duvar Panolarının Hesabı 99
7.3.1 Bağ Elemanlarının Hesabı 101
7.3.2 Panolar Arası Düşey Kayma Güvenliğinin Sağlanması 104
7.3.3 Panolar Arası Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması 107
7.3.4 Duvar Panolarının ve Birleşimlerinin Eksantrisite Hesabı 109
7.3.5 Duvar Panolarının Burkulma Hesabı 112
7.3.6 İkinci Mertebe Etkileri 116
7.3.7 Panoda Diyagonal Çatlak Tahkiki 117
7.3.8 Pano Basınç Birleşimi Mukavemet Hesabı 118
7.3.9 Taşıyıcı Olmayan Dış Cephe Panosu 120
7.4 Bağlantı Kirişlerinin Hesabı 121
7.5 Kat Döşeme Panolarının Hesabı 123
7.6 Temel Hesabı 126

8. SONUÇLAR **127**

KAYNAKLAR **129**

EKLER **132**

ÖZGEÇMİŞ **147**

KISALTMALAR

TS 9967	: "Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Beton Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları" adlı Türk Standardı
PRESSS	: Precast Seismic Structural Systems
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
PCI	: Precast Prestressed Concrete Institute
UBC	: Uniform Building Code
EC 8	: Eurocode No: 8
SAP 2000	: Structural Analysis Programme 2000

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	Beton Mukavemet Hesabında Alınacak Δf Değerleri ……	7
Tablo 4.1	Sürtünme Katsayıları …….....	18
Tablo 4.2	β Değerleri …….....	27
Tablo 4.3	Düşey Dayanım İçin Önerilen Formüller ……...	28
Tablo 4.4	Düşey Birleşim İçin Gerekli Donatı Miktarı …….....	29
Tablo 6.1	Etkin Yer İvmesi Katsayısı ….....	63
Tablo 6.2	Bina Önem Katsayısı ……....	63
Tablo 6.3	Zemin Grupları	64
Tablo 6.4	Yerel Zemin Sınıfları	64
Tablo 6.5	Spektrum Karakteristik Periyotları	64
Tablo 6.6	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	65
Tablo 6.7	Hareketli Yük Katılım Sayısı	66
Tablo 6.8	Sismik Bölge Faktörü	69
Tablo 6.9	Zemin Profil Özellikleri	69
Tablo 6.10	Sismik Katsayı, c_v …….....	70
Tablo 6.11	Yakın Kuvvet Faktörü, N_v	70
Tablo 6.12	Sismik Katsayı, c_a	70
Tablo 6.13	Yakın Kuvvet Faktörü, N_a	70
Tablo 6.14	Sismik Kaynak Tipleri	71
Tablo 6.15	Önem Faktörü	71
Tablo 6.16	Zemin Sınıfları	73
Tablo 6.17	Elastik Davranış Spektrumu Parametre Değerleri	73
Tablo 6.18	Davranış Faktörü, q	74
Tablo 6.19	Önem Faktörü, γ_I	75
Tablo 6.20	Azaltma Faktörü, v	75
Tablo 6.21	Düktilite Sınıf Faktörü, k_d	75
Tablo 6.22	Kat Toplam Ağırlıkları ……...	77
Tablo 6.23.a	ABYYHY'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre Taban Kesme Kuvvetleri	78
Tablo 6.23.b	ABYYHY'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre Taban Kesme Kuvvetleri	79
Tablo 6.24.a	UBC 97'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre Taban Kesme Kuvvetleri	81
Tablo 6.24.b	UBC 97'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre Taban Kesme Kuvvetleri	82
Tablo 6.25	EC 8'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre Taban Kesme Kuvvetleri ……...	84
Tablo 7.1	Kat Toplam Ağırlıkları	86

Tablo 7.2 4 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Kat Deplasmanları 90
Tablo 7.3 6 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Kat Deplasmanları 91
Tablo 7.4 8 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Kat Deplasmanları 92
Tablo 7.5 4 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Maksimum İç Kuvvetler 94
Tablo 7.6 6 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Maksimum İç Kuvvetler 95
Tablo 7.7 8 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Maksimum İç Kuvvetler 96
Tablo 7.8 Pano Ağırlıkları 100
Tablo 7.9 Pano k ve λ Değerleri 114
Tablo 7.10 Pano e_o / t_w Değerleri 114
Tablo 7.11 Pano ϕ Değerleri 115
Tablo 7.12 Moment ve Kesme Kuvvetlerinin Süperpozisyonu 121
Tablo 7.13 Döşeme Panolarının Donatıları 125

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 3.1	**:** Prefabrike Elemanlar ve Sistem Detayı …….....	9
Şekil 3.2	**:** Bağ Sisteminde T Kuvvetleri	11
Şekil 3.3	**:** Çerçeve Türü Taşıyıcı Sistem …….....	13
Şekil 3.4	**:** Panolu Sistem Kuruluş Şeması	13
Şekil 3.5	**:** Kısa Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem	14
Şekil 3.6	**:** Uzun Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem	15
Şekil 3.7	**:** Her İki Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem	15
Şekil 3.8	**:** Hücre Sistemler	16
Şekil 4.1	**:** Dış Yükler ve Birleşim Kuvvet Sistemi	20
Şekil 4.2	**:** Rijit, Yarı Rijit ve Açık Düşey Birleşimler	21
Şekil 4.3	**:** Duvardan Duvara Mafsallı Birleşimler …….....	22
Şekil 4.4	**:** Harçlı Birleşimler	22
Şekil 4.5	**:** Mekanik Birleşimler	22
Şekil 4.6	**:** Kesme Kenedi	23
Şekil 4.7	**:** Kesme Kenedindeki Kuvvetler	24
Şekil 4.8	**:** Panolu Birleşim Kesitleri	26
Şekil 4.9	**:** Kenetli Birleşim Detayı	26
Şekil 4.10	**:** Birleşim Kontrol Kesitleri	31
Şekil 4.11	**:** Kenetleme Boyu İçin Kesit	32
Şekil 4.12	**:** Taşıyıcı Duvar - Rijitlik Duvarı Birleşimi	33
Şekil 4.13	**:** Birleşimdeki ve Duvar Panosundaki Dışmerkezlikler	34
Şekil 4.14	**:** Üç Tabakalı Duvar Panosu	35
Şekil 4.15	**:** Tek Tabakalı Duvar Panosu	38
Şekil 4.16	**:** Burkulma Kontrol Şeridi	40
Şekil 4.17	**:** k Katsayıları	40
Şekil 5.1	**:** Prefabrike Panolu Yapıların, Yerinde Dökme Betonarme Perde Duvarlar Gibi Davranmasını Sağlayacak Ayrıntılar ……...	44
Şekil 5.2	**:** Prefabrike Panolu Yapıların Deprem Davranışları	46
Şekil 5.3	**:** Kesme Kenetlerinin, Kesme Gerilmesi Taşıma Gücüne Etkisi	47
Şekil 5.4	**:** Donatılı Ek Yerlerinin Kesme Dayanımı ……..	48
Şekil 5.5	**:** Birleşim Yerlerinin Kesme Kuvveti Davranışı	49
Şekil 5.6	**:** Birleşim Yerlerinin Kesme Davranışı	49
Şekil 5.7	**:** Birleşim Yerindeki Donatının Miktarı ve Eksenel Yükün Değişmesi ile Kesme Dayanımındaki Değişim ……...	50
Şekil 5.8	**:** Maio Tarafından Denenen Birleşim Yeri Detayı	51
Şekil 5.9	**:** Maio Tarafından Elde Edilen Birleşim Yeri Davranışı	51
Şekil 5.10	**:** Değişik Birleşim Yeri Mekanizmalarının Rölatif Kesme Dayanımları ……	52

Şekil 5.11 : Eşit Yayılı Olmayan Düşey Basınç Altında Yatay Birleşim Yerinde Gelişen Kesme Dayanımı 53
Şekil 5.12 : Kalan Kesme Dayanımının Başlangıç Dayanımına Oranı ……..... 54
Şekil 5.13 : Romanya Depremindeki Hasarlar …….. 55
Şekil 5.14 : Panoların Karadağ Depremindeki Davranışı ……..... 55
Şekil 5.15 : Pano Ek Yerlerinde Çatlak Oluşumu ……..... 57
Şekil 5.16.a : Büyük Panolu Sistemde Küçük Kenetlerle Düşey Bağlantı ……... 58
Şekil 5.16.b : Büyük Panolu Sistemde Büyük Kenetlerle Düşey Bağlantı ……... 59
Şekil 5.17 : Pano Birleşim Yerlerinin Köşebentlerle Güçlendirilmesi …….. 60
Şekil 5.18 : Duvar Takviyeli Panolu Sistem …….. 61
Şekil 5.19 : Betonarme Duvar ve Kolon Takviyesi 61
Şekil 6.1 : ABYYHY'de, Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adedine ve Zemin Türlerine Göre Değişimi ……..... 80
Şekil 6.2 : UBC 97'de, Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adedine ve Zemin Türlerine Göre Değişimi ……..... 83
Şekil 6.3 : EC 8'de, Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adedine ve Zemin Türlerine Göre Değişimi ……..... 85
Şekil 7.1 : Prefabrike Betonarme Panolu Sistem Kalıp Planı 87
Şekil 7.2 : SAP 2000 Programı ile Modellenen Yapının Üç Boyutlu Görünüşü 88
Şekil 7.3 : SAP 2000 Programı ile Modellenen Yapının X-Z Düzleminde Görünüşü 98
Şekil 7.4 : (1-1) Aksı Bodrum Kat Perdeleri ……..... 101
Şekil 7.5 : P21 Perdesi Alt Gerilme Diyagramı …….. 102
Şekil 7.6 : P22 Perdesi Alt Gerilme Diyagramı …….. 103
Şekil 7.7 : Konsol Kiriş Yayılı Yük …… 104
Şekil 7.8 : P21 Perdesi Kesme Kuvvetleri …….. 105
Şekil 7.9 : P22 Perdesi Kesme Kuvvetleri …….. 106
Şekil 7.10 : Çekme ve Basınç Bölgesindeki Gerilmeler ……... 107
Şekil 7.11 : Burkulmaya Maruz Duvar Panoları ……... 113
Şekil 7.12 : k Katsayıları Diyagramı ……..... 113
Şekil 7.13 : Burkulma fonksiyonu (ϕ) değerleri Diyagramı ……. 114
Şekil 7.14 : A Panosunun Alt Gerilme Diyagramı ……... 115
Şekil 7.15 : Birim Genişlikli Pano Kesiti …… 116
Şekil 7.16 : P21 Perdesi İçin σ_{cd} Gerilmesi …….. 119
Şekil 7.17 : P22 Perdesi İçin σ_{cd} Gerilmesi …….. 119
Şekil 7.18 : Cephe Panosu …… 120
Şekil 7.19 : Bağlantı Kirişi En Kesiti ……... 122
Şekil 7.20 : Bağlantı Kirişi Donatı Planı …….. 122
Şekil 7.21 : D 101 Panosu …… 123
Şekil 7.22 :Üst Hasır ve Kaldırma Kancalarının Yeri 125
Şekil A.1 : Dış Duvar Panosu Düşey Kenet Tipi …… 133
Şekil A.2 : Duvar Panoları Yatay Kenet Tipleri ……. 134
Şekil B.1 : Taşıyıcı Dış Duvar Panosu ile İç Duvar Panosunun Düşey Birleşim Detayı …….. 135
Şekil B.2 : Taşıyıcı İki Dış Duvar Panosu ile İç Duvar Panosunun Düşey Birleşim Detayı …….. 136
Şekil B.3 : Taşıyıcı İki Dış Duvar Panosunun Düşey Birleşim Detayı ……... 137

Şekil B.4 **:** Taşıyıcı Dış Duvar Panosu ile Cephe Panosunun Düşey Birleşim Detayı ……. 138
Şekil B.5 **:** Taşıyıcı İki Duvar Panosu ile Döşeme Panosunun Yatay Birleşim Detayı ……. 139
Şekil B.6 **:** Taşıyıcı İki İç Duvar Panosu ile İki Döşeme Panosunun Yatay Birleşim Detayı ……. 140
Şekil B.7 **:** İki Döşeme Panosunun Açıklıktaki Yatay Birleşim Detayı …….. 141
Şekil B.8 **:** İki Cephe Panosu ile Döşeme Panosunun Yatay Birleşim Detayı 141
Şekil B.9 **:** Bodrum Katta Taşıyıcı Dış Duvar Panosunun Radye Temelle Birleşim Detayı ……. 142
Şekil B.10 **:** Bodrum Katta Taşıyıcı İç Duvar Panosunun Temelle Birleşim Detayı …… 142
Şekil B.11 **:** Çekme Bulonunun Temelle Ankraj Detayı ……... 143
Şekil B.12 **:** Prefabrike Merdiven Panosunun Radye Temelle Birleşim Detayı 144
Şekil C.1 **:** Duvar Panoları Enkesiti ……. 145
Şekil C.2 **:** Duvar Panoları Kenar Detayları …… 146

SEMBOL LİSTESİ

A_{cr} : Çatlak yüzeyi
A_j : Birleşim kesit alanı
A_{ke} : Kenetlerin kesit alanı toplamı
A_n : Temas yüzeyine dik teçhizat alanı
A_s : Çekme teçhizat alanı
$A_{sç}$: Çekme bölgesindeki teçhizat alanı
A_{sf} : Kesme - sürtünme teçhizatı alanı
A_t : Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında kullanılan eşdeğer alan (m^2)
A(T) : Spektral ivme katsayısı
A_{wj} : Binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin brüt enkesit alanı (m^2)
A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı
a : En kısa pano veya kiriş aralığı
a_{jm} : m'inci dikdörtgendeki taban uzunluğu
b : Teçhizatın konduğu taşıyıcı duvarın plandaki uzunluğu (m)
b_j : Düşey birleşimde ek genişliği
b_{ke} : Kenet genişliği
C_a, C_v : Sismik katsayılar
C_t : Eşdeğer deprem yükü yönteminde birinci doğal titreşim periyodunun yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan katsayı
C_0 : Deprem bölge katsayısı
c : Reaksiyonun yayılma genişliği
d : Döşeme panosu faydalı yüksekliği (m)
d_e : Yapısal sistemdeki yerin yer değiştirmesi
d_i, d_{i-1} : i'inci ve i-1'inci katlardaki herhangi bir kolon veya perdenin hesapla elde edilen yatay yer değiştirmesi
d_r : Katlar arası dizayn yer değiştirmesi
d_s, d_{s-1} : Belirtilen noktanın yer değiştirmesi
E_c : Beton elastisite modülü
E_s : Çelik elastisite modülü
F_b : EC 8'de sismik taban kesme kuvveti
F_i : Eşdeğer deprem yükü yönteminde i'inci kata etkiyen eşdeğer deprem yükü
F_p : ABYYHY'de birleşimlere etkiyen dizayn yatay sismik kuvvet
f_{cd} : Betonun hesap basınç mukavemeti
f_{ck} : Betonun karakteristik basınç mukavemeti
f_{cm} : Betonun ortalama basınç mukavemeti (28 günlük)
f_{ctd} : Betonun hesap kesme mukavemeti
f_{yk} : Teçhizat çeliğinin karakteristik akma mukavemeti
g_i : Binanın i'inci katındaki toplam sabit yük

$\mathbf{H_d}$: Temas yüzeyine dik çekme kuvveti
$\mathbf{H_N}$: Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği (m)
$\mathbf{h}$: Kat yüksekliği
$\mathbf{h_i}$: Binanın i'inci katının kat yüksekliği
$\mathbf{h_k}$: Burkulma boyu
$\mathbf{h_{ke}}$: Kenet yüksekliği
$\mathbf{h_w}$: Duvar panosu yüksekliği
$\mathbf{I}$: Bina önem katsayısı
$\mathbf{I_c}$: Brüt beton kesitin atalet momenti
$\mathbf{k}$: Basınç etkisindeki elemanlarda burkulma boyu katsayısı
$\mathbf{k_d}$: Düktilite sınıf faktörü
$\mathbf{k_{d1}, k_{d2}}$: Katsayı
$\mathbf{k_p}$: Katsayı
$\mathbf{l_c}$: Pano alt basınç bölgesi uzunluğu
$\mathbf{l_j}$: Birleşim uzunluğu
$\mathbf{l_w}$: Perde uzunluğu
$\mathbf{l_1, l_2}$: Duvar panosunun solundaki ve sağındaki hacimlerin duvara dik boyutu (m)
$\mathbf{M}$: Eğilme momenti
$\mathbf{M_0}$: Birinci mertebe momenti
$\mathbf{N}$: Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı
$\mathbf{N_a, N_v}$: UBC 97'de yakın kuvvet faktörü
$\mathbf{N_d}$: Yatay yüklerden gelen normal kuvvet
$\mathbf{N_r}$: Rijitleştirilen taşıyıcı duvarın, rijitlik duvarı bölgesindeki toplam düşey kuvveti
$\mathbf{n}$: Kenet sayısı, hareketli yük katılım katsayısı
$\mathbf{q, q_0}$: EC 8'de davranış faktörü
$\mathbf{q_a}$: EC 8'de iç veya dış duvarlar için davranış faktörü
$\mathbf{q_i}$: Binanın i'inci katındaki toplam hareketli yük
$\mathbf{R}$: Yapı tipi katsayısı, kesme sürtünmesi kuvveti
$\mathbf{R_a(T_1)}$: Deprem yükü azaltma katsayısı
$\mathbf{R_d}$: Sabit yükleme altındaki dizayn dayanımı
$\mathbf{R_m}$: Sünme ile ilgili bir katsayı
$\mathbf{R_p}$: Bileşke kuvvet
$\mathbf{R_{pd}}$: Birleşimlerin dizayn dayanımı
$\mathbf{R}$: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$\mathbf{R_a(T)}$: Deprem yükü azaltma katsayısı
$\mathbf{S_d}$: EC 8'de dizayn spektrumu
$\mathbf{S(T)}$: Spektrum katsayısı
$\mathbf{T}$: Bağ eleman - bağ çubuklarındaki çekme kuvveti, bina doğal titreşim periyodu (sn)
$\mathbf{T_A, T_B}$: Spektrum karakteristik periyotları (sn)
$\mathbf{T_B, T_C, T_D}$: EC 8'de periyot sınırları
$\mathbf{T_W}$: EC 8'de duvarın temel titreşim periyodu
$\mathbf{T_1}$: Binanın birinci doğal titreşim periyodu (sn)
$\mathbf{t_{ke}}$: Kenet derinliği
$\mathbf{t_w}$: Pano kalınlığı
$\mathbf{V}$: Kesme kuvveti
$\mathbf{V_d}$: Hesap kesme kuvveti
$\mathbf{V_{fd}}$: Duvar panosu mesnedindeki kesme kuvveti hesap değeri

$\mathbf{V_{res}}$: Kesme kuvveti altındaki kesitin taşıma gücü

$\mathbf{V_t}$: Eşdeğer deprem yükü yönteminde gözönüne alınan deprem doğrultusunda binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti)

$\mathbf{V_t}$: Taban kesme kuvveti

$\mathbf{W}$: Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesap edilen ağırlığı, asılı pano ağırlığı

$\mathbf{W_w}$: Duvar ağırlığı

$\mathbf{w_i}$: Binanın i'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı

$\mathbf{w_s}$: Kayma teçhizatı oranı

$\mathbf{Z}$: UBC 97'de sismik bölge faktörü

$\mathbf{\Delta F_N}$: Binanın i'inci katına (tepesine) etkiyen eşdeğer deprem yükü

$\mathbf{\Delta i}$: Binanın i'inci katındaki göreli kat ötelemesi

$\mathbf{(\Delta i)_{max}}$: Binanın i'inci katındaki maksimum göreli kat ötelemesi

$\mathbf{\Delta_m}$: UBC 97'de inelastik davranış deplasmanı

$\mathbf{\Delta_s}$: UBC 97'de dizayn davranış deplasmanı

$\mathbf{\gamma_{er}}$: Katsayı

$\mathbf{\gamma_{Rd}}$: EC 8'de ilave model-kesin olmayış faktörü

$\mathbf{\gamma_{cycl}}$: EC 8'de dayanımı azaltma faktörü

$\mathbf{\gamma_I}$: EC 8'de önem faktörü

$\mathbf{\sigma}$: Standart sapma

$\mathbf{\sigma_m}$: m'inci dikdörtgendeki gerilme değeri

$\mathbf{\sigma_{ck}}$: Betondaki kontrol şeridindeki gerilme

$\mathbf{\alpha}$: Dönme açısı, EC 8'de dizayn yer ivmesinin yerçekimi ivmesine oranı

$\mathbf{\beta_0}$: EC 8'de spektral ivme amplifikasyon faktörü

$\mathbf{\beta_1, \beta_2, \beta_3}$: Katsayı

$\mathbf{\mu}$: Beton dökümü ve pürüzlülüğe bağlı katsayı

$\mathbf{\mu_e}$: Sürtünme katsayısı

$\mathbf{\lambda}$: Beton bağıl yoğunluğuna bağlı katsayı

$\mathbf{\chi}$: Katsayı (1.6 – d)

$\mathbf{\rho}$: Döşeme donatısı oranı

$\mathbf{\nu}$: EC 8'de azaltma faktörü

$\mathbf{\chi}$: Katsayı (1.6 – d)

$\mathbf{Ø}$: Teçhizat çapı, katsayı

PREFABRİKE BETONARME PANOLU YAPILARIN SİSMİK TASARIMI, ONARIM VE GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Prefabrikasyon; yapıların modüler elemanlara ayrılarak, beton ve demirle, fabrikalarda veya şantiyelerde kurulan tesislerde, endüstriyel koşullar altında yüksek kalite standartlarında üretilmesi ve bunların yapım yerine taşınarak monte edilmesi yöntemidir. Prefabrike betonarme yapım teknolojisinin gelişmesinde ve tercih edilmesinde, inşaat süresinin kısalığı, işgücü ile kalıp ve iskeledeki tasarruf, iklim şartlarına bağlı olmama, imalatın ve inşaatın birlikte sürdürülebilmesi gibi etkenler önemli rol oynamaktadır.

Deprem bölgelerinde yapılacak prefabrike yapılarda birleşimlerin davranışları ve tasarlanması prefabrike yapım metodunun en önemli kısmını oluşturmaktadır. Dolayısıyla depreme dayanıklı prefabrike yapı konusunda yapılan araştırmalar ve deneysel çalışmalar önemli bir hal almıştır.

Yüksek lisans tezi olarak, Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK danışmanlığında yapılan ve sekiz bölümden oluşan bu çalışmada, prefabrike taşıyıcı sistemler ana hatlarıyla anlatılmış; prefabrike panolu sistemler, bu sistemlerin birleşimleri ve deprem davranışları üzerinde durulmuştur. Ayrıca değişik yönetmeliklerdeki deprem yükleri ve hesaplama kuralları incelenmiştir.

Söz konusu çalışmanın birinci ve ikinci bölümünde, prefabrikasyon, prefabrikasyonun gelişimi, prefabrike eleman ve sistemlerin yapımında kullanılan malzeme ve esas alınan yükler hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, prefabrike yapıları oluşturan elemanlar ve taşıyıcı sistemler tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, prefabrike panolu yapılardaki birleşimler ayrıntılı olarak ele alınıp, konuyla ilgili "TS 9967" 'deki yapım kurallarına yer verilmiştir.

Beşinci bölümde, prefabrike panolu yapıların; depreme dayanıklı tasarımı, birleşimleri üzerinde yapılmış statik ve dinamik deneyler, onarım ve güçlendirilmesi incelenmiştir.

Altıncı bölümde, üç farklı yönetmelikteki (ABYYHY, UBC 97 ve EC 8) deprem yükleri ve hesap kuralları incelenip, prefabrike panolu bir yapıya etki eden deprem yüklerinin, bina toplam yüksekliğine ve zemin türlerine göre değişimleri gösterilmiştir.

Yedinci bölümde, prefabrike duvar ve döşeme panolarıyla oluşturulmuş 6 katlı bir konut binası ele alınıp, SAP 2000 sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak sayısal uygulama yapılmıştır.

Çalışmanın son bölümü olan sekizinci bölümde ise, prefabrike betonarme panolu yapılar ile ilgili olarak, deprem bilgileri ışığında elde edilen sonuçlarla birlikte genel bir değerlendirme yapılmıştır.

SEISMIC DESIGN, REPAIR AND STRENGTHENING OF THE PREFABRICATED REINFORCED PANEL - WALL STRUCTURES

SUMMARY

Prefabrication is the method by which the structures are produced with concrete and iron in factories or plants established in job-sites under the industrial conditions with higher quality standards and mounted by being carried to the construction area. The short duration of construction, conservation of workforce, forms and scaffolds, no dependency on weather conditions, synchronic execution of the manufacturing and construction processes play an important role in the development and the selection of the prefabricated reinforced panel-wall structures.

The behaviours and the design of the components of the prefabricated structures to be constructed in seismic areas are the most important parts of the prefabrication method. Therefore, the researches and experimental studies carried out on the prefabricated structures resistant to earthquake have become quite important.

In this study prepared in eight sections as graduation thesis under the consultancy of Ass. Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK, the prefabricated carrier systems are briefly discussed; prefabricated panel-wall systems, the components of these systems and the seismic behaviours are specified. Moreover, the seismic loads and the calculation rules in various specifications are examined.

In the first and the second sections of the above-mentioned study, general information on prefabrication, development of prefabrication, materials and the loads taken as basis in the construction of the prefabricated elements and systems is given.

In the third section, the elements constituting the prefabricated structures and the carrier systems are introduced.

In the fourth section, the components of the prefabricated panel-wall structures are discussed in detail and the relevant construction rules in “TS 9967” are specified.

In the fifth section, the static and dynamic experiments, repair and strengthening processes executed on the earthquake-resistant design and the components of the prefabricated panel-wall structures are examined.

In the sixth section, the seismic loads and calculation rules in three different regulations (ABYYHY, UBC 97 and EC 8) are examined, the variation of seismic loads affecting a prefabricated panel-wall structure depending on the total height of the building and soil types is shown.

In the seventh section, a 6-story dwelling building formed with prefabricated walls and flooring shears is handled and a numerical application is executed by using SAP 2000 - finite element analysis program.

In the eighth section of the study, which is also the last section, in relation to prefabricated reinforced panel-wall structures, a general evaluation is made under the light of the results obtained through seismic information.

1. GİRİŞ

Yapı üretiminde endüstrileşmenin bir gereği olarak ortaya çıkan prefabrike inşaat teknolojisi, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra uygulanmaya başlanmış ve hızla gelişmiştir. Türkiye'de ise prefabrikasyon (ön yapım) uygulamaları, 1960'lardan itibaren kullanılmaya başlanmış ve ilk olarak tek katlı endüstriyel yapılarda denenmiştir. Son yıllardaki sanayileşme hızına paralel olarak, hemen hemen tüm endüstriyel yapılar prefabrikasyon tekniği ile inşa edilmektedir. Bugün özellikle gelişmiş ülkelerde, prefabrikasyon tekniğinin mümkün olan her alanda uygulandığı gözlenmektedir.

Prefabrikasyon tekniğinin gelişmesinde, prefabrike inşaatın sağladığı; inşaat süresinin kısalığı, işgücü ile kalıp ve iskeledeki tasarruf, iklim şartlarına bağlı olmama, imalatın ve inşaatın birlikte sürdürülebilmesi gibi etkenler önemli rol oynamaktadır. Prefabrike yapıların, monolitik yapılara göre pek çok üstün özellikleri olmasına rağmen birleşim bölgeleri, bu yapım sisteminin en zayıf ve önemli noktasını oluşturmaktadır. Bu yerlerin iyi düzenlenmemesi, yapıda yatay yük karşılama kapasitesinin doğmamasına ve göçmeye neden olmaktadır. Özellikle deprem bölgelerinde, olası deprem yükleri altında birleşim bölgelerinin fiziksek performansından emin olunamadığından, tüm dünyada çeşitli deneysel ve analitik çalışmalar yapılmaktadır.

Prefabrike yapıların, depreme dayanıklılığı konusunda duyulan kuşkulardan ötürü, başlangıçta birçok ülkede, deprem bölgelerinde inşasına izin verilmemiştir. Zamanla araştırmaların artması ve yeni sistemlerin geliştirilmesiyle birlikte deprem bölgelerinde de prefabrike inşaatın uygulanmasına geçilmiştir. Gelişmeler hızla devam etmekte olup depreme dayanıklı prefabrike yapılar konusunda kapsamlı çalışmalar sürdürülmektedir. Gerekli özenin gösterilmesiyle de, depremde yeterli dayanım ve süneklik gösteren prefabrike yapılar elde etmek mümkündür.

Bu çalışmada ise, prefabrikasyon, prefabrike elemanlar ve taşıyıcı sistemler ana hatlarıyla anlatılmış, prefabrike taşıyıcı sistemlerden "panolu sistemler" ve bu sistemlerin depreme dayanıklı tasarımı çeşitli yönetmelikler dikkate alınarak incelenmiş, prefabrike betonarme panolu yapıların onarım ve güçlendirilmesi konusu da işlenmiştir.

2. PREFABRİKASYON

2.1 Tanım

Prefabrike elemanlar; birleştiklerinde bir taşıyıcı sistemi meydana getiren ve atölyelerde önceden imal edilmiş olan betonarme veya öngerilmeli betonarme kısımlardır. Prefabrikasyon sistemi; yapıların modüler elemanlara ayrılarak, beton ve demirle, fabrikalarda veya şantiyelerde kurulan tesislerde, endüstriyel koşullar altında, yüksek kalite standartlarında üretilmesi ve bunların yapım yerine taşınarak monte edilmesi yöntemidir.

Prefabrike yapıların genellikle iki ayrı türde yapıldığı kabul edilmektedir. Bunlar;

a) Geçici Prefabrike Yapılar; daha çok şantiyelerde, inşaat süresince hizmet vermek üzere tasarlanmış şantiye binaları, barakalar, yatakhane veya yemekhane olarak kullanılan yapılardır. Bunlar, genellikle çelik veya ahşap malzemeden imal edilip, taşınabilir olduklarından iş bitiminde sökülüp, başka şantiyede kullanılabilirler.

b) Kalıcı Prefabrike Yapılar; genelde betonarme olarak inşa edilirler, kurulduktan sonra sökülmez ve sabit kalırlar.

Prefabrikasyon sistemleri ile yapılan yapı elemanları, laboratuvar koşullarında, uzman işgücü denetimi altında ve düzgün kalıpların temini ile son derece kaliteli bir şekilde üretilerek, geleneksel yapı üretiminde çoğu kez kontrol dışı kalabilen yapım çalışmalarına, endüstrileşmiş yöntemlerle yapım esnasında müdahale edilebilmektedir. Prefabrikasyonun en önemli özelliklerinden biri de belirli bir seviyede kaliteyi ve düzeni inşaata getirmiş olmasıdır. Fabrikada imalata, inşaat sahası hazır olmadan dahi başlanabilmesi hatta bazı yapı elemanlarının stoktan karşılanması neticesinde hazır olur olmaz montaja geçilmesi, işin çok süratle bitirilmesini ve inşa edilen tesislerin erken devreye girmesiyle yatırımcıya getiri sağlaması beton prefabrikasyon teknolojisinin yerinde döküm teknolojisine göre önemli avantajlarıdır. Ayrıca kış şartlarında normal inşaatın durduğu, hatta yapılmasının bile sakıncalı olduğu bölgelerde prefabrike elemanlar, fabrikadan temin edildiklerinden dolayı kötü hava koşullarından etkilenmezler. İşin başında eleman cins ve sayıları tam olarak belli olduğundan, malzeme bağlantılarının tamamı yapılabilmekte, işin sürati nedeni ile prefabrik olarak inşa edilen binalarda fiyat artışları maliyete tesir etmemekte ve bu suretle projeler genel olarak ön görülen bütçeler dahilinde bitirilebilmektedir.

Prefabrikasyonun; büyük ön yatırım gerektiren bir yapım tekniği olması, finansman sistemi düzenli olmayan projelerde prefabrike sistemlerin kullanılmasını güçleştirmesi, nakliyenin uzun mesafeli olduğu bölgelerde ekonomik özelliğini yitirmesi, üretim alanında olduğu kadar montaj ve uygulama alanında da kalifiye elemana ihtiyaç olması, yerel iş gücünü ve yerel malzemenin kullanışını kısıtlayabilmesi ve monolitik taşıyıcı sistemlere göre birleşim noktalarının, bu sistemlerin en zayıf noktasını oluşturması ise prefabrike sistemlerin dezavantajları olarak sayılabilir [1].

2.2 Prefabrikasyonun Gelişimi

İlk temelleri 19. Yüzyılın başlarında atılan prefabrikasyon hakkında ilk teknik makale İngiltere'de 1936 yılında George Godwin tarafından yayımlanmıştır. Bu makale, prefabrikasyon yöntemlerinin kullanımına cesaret veren ilk teknik yayındır. İlk patentin, prefabrike beton yapı elemanları konusunda, 1844'te İngiltere'de Frederick Ranson tarafından alındığı bilinmektedir. Ayrıca 1855'te François Coignet'in, 1875'te W. Henry Lascellas'ın ve daha birçok teknisyenin, özellikle konut yapı sistemlerinde çeşitli patentler aldığı görülmektedir. Önceleri özel ve ayrı patentlerle başlayan prefabrikasyon denemeleri, daha çok deprem kuşağı üzerinde olmayan ülkelerce yürütülmüş ve 2. Dünya Savaşı'ndan sonra yerini daha endüstriyel ve yaygın üretimlere bırakmıştır. Depreme dayanıklı prefabrike yapılar konusu ancak 60'lı ve 70'li yıllardan sonra, gelişmiş ülkelerde yeterli deneyim oluştuktan sonra önem kazanmış ve bu konuda birçok analitik ve deneysel çalışmalar başlatılmıştır.

Türkiye'de ise prefabrikasyon uygulamalarına ancak 60'lı yıllarda başlanabilmiş fakat yapılan yanlış tespitler ve ilk denemelerde beklenen başarının elde edilememesi gibi nedenlerle prefabrikasyon uygulamaları, devlet tarafından yeterince desteklenmemiştir. 70'li yıllarda yaşanan kriz, inşaat firmalarının daha rasyonel çözüm arayışlarına girmesine neden olmuş ve prefabrikasyon mantığı oturmaya başlamıştır. 80'li yıllarda sistematik üretimler yapılmaya başlanmış, prefabrikasyonun gelişim süreci hızlanmış ve yurtdışından ithal edilen sistemler için o ülkelerin şartları doğrultusunda hazırlanmış yönetmelikler uyarlanarak çalışmalar yürütülmüştür. Hemen hemen tamamı deprem tehlikesine maruz ülkemizde de bir yönetmelik ihtiyacı doğmuş ve Türk Standartları Enstitüsü tarafından 1992 yılında, hali hazırda kullanılan TS 9967 hazırlanmıştır. Ayrıca 1998 yılında yürürlüğe girmiş olan Yeni Deprem Yönetmeliği ile prefabrike betonarme yapılara çok daha fazla yönlendirici ve bağlayıcı kurallar getirilmiştir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının amacı; yapıların, ekonomik ömürleri boyunca meydana gelebilecek hafif ve orta şiddetli depremlerden hiç hasar görmemelerini ve aynı süre içerisinde olabilecek şiddetli depremde de can kaybına yol açmayacak ve ekonomik biçimde onarılabilecek düzeyde hasar görmelerini sağlamaktır. Ayrıca yapı tasarımının diğer bir amacı ise; en hızlı biçimde konut ihtiyacını karşılamaktır. Günümüzde, prefabrike sistemler bu amaçları sağlayacak şekilde kullanılmaktadır.

Prefabrike sistemlerdeki birleşimler üzerinde ise en yoğun ve koordineli çalışma, A.B.D. ve Japonya tarafından ortaklaşa yürütülen PRESSS (Precast Seismic Structural Systems) programıdır. Bu projenin amacı; depreme dayanıklı prefabrike inşaatını, deprem bölgelerinde daha yaygın hale getirmek ve bu konudaki kısıtlayıcı şartları en aza indirmek olarak belirtilmiştir. PRESSS projesinden elde edilen sonuçlara göre iki tip birleşim esas alınarak çalışmanın çerçevesi ve ana hedefleri belirlenmiştir. Bunlardan birincisi "Kuvvetli Birleşimler", ikincisi ise "Düktil Birleşimler" dir [2]. Ana hedef ise bazı prefabrik yapı sistemleri, özellikle "Kuvvetli Birleşimler" e sahip sistemler için tasarım esaslarının belirlenmesi ve aynı zamanda "Deplasman" bazlı depreme dayanıklı hesap metodunun, "Düktil Birleşim" e sahip sistemlerin tasarımı için de geliştirilmesi olarak gösterilmiştir.

2.3 Malzeme, Beton Sınıfları ve Mukavemetleri

Prefabrike yapı elemanlarının seçiminde TSE şartnamesinde öngörülen malzemeler (beton malzemesi, beton çeliği ve birleşim malzemeleri) kullanılmalıdır [3].

Prefabrike elemanlarda kullanılacak olan çimento, TS 19'a uygun nitelikte olmalıdır. Gerek yapının, gerekse çevresindeki şartların başka tiplerde çimento kullanılmasını gerektirdiği durumlarda ise deneylerle malzeme özelliklerindeki uygunluk ve yeterlilik araştırılmalıdır.

Agregalar, yapının kullanılma şekli dikkate alınarak TS 706'ya uygun olmalıdır. Daha çok betonda ayrışmadan ve fazla su gerektirmeden istenilen dayanımı sağlayan agregalar tercih edilmelidir. Amaca uygun granülometri seçilmeli, kullanılacak en büyük dane büyüklüğü için TS 500'de verilen şartlar sağlanmalıdır.

Prefabrike elemanların imalatında kullanılacak su, TS 500'de gösterilen şartlara uygun olmalıdır. Buna göre, beton karma suyunun en iyisi içilebilecek su olmakla birlikte, daha önce denenip kullanılmış ve iyi sonuç vermiş bütün sular kullanılabilir. Katkı maddesi ise, TS 9967'ye göre akışkanlığı veya dayanımı arttırmak, prizi hızlandırmak, hava yüzdesini yükseltmek vb. nedenlerle, TS 3452 ve TS 3456'ya uygun olması, imalatçı önerilerinin gözetilmesi ve bunların deneylerle kontrol

edilmesi şartıyla kullanılabilir. Ayrıca prefabrike elemanlarda kalsiyum klorür ($CaCl_2$) kullanılmamalıdır.

TS 9967'ye göre beton çelik çubuklar TS 708'e, beton çelik hasırları TS 4559'a, öngerilmeli beton çelik teller, toronlar ve çubuklar TS 3721'e, TS 5679'a ve TS 5680'e uygun olmalıdır. Teçhizat çelikleri ve teller ise, beton ile çelik arasındaki aderansı azaltacak pas parçaları, yağ gibi maddelerden temizlenmelidir.

Prefabrike elemanların birleşimlerinde kullanılacak malzemelerin seçiminde en önemli unsur, söz konusu birleşimden beklenen davranışın elde edilebilmesidir. Beton ile birleşim elemanı arasındaki bağlantı, aderans veya oturma ile sağlanır. Bağlantının sünek bir davranış göstermesi için, sınır durumda, betondan önce bağlantı içindeki çeliğin akmaya başlaması istenir. Sıkça kullanılan birleşim malzemeleri; yerinde dökme birleşim betonları, dolgu harçları, birleşim metalleri ve mesnet yastıklarıdır.

Yerinde dökme beton, prefabrike yapılarda, elemanlar arasındaki birleşimlerde basınç ve kesme kuvvetlerinin aktarılması için kullanılabilir. Bu birleşim betonlarında, beton sınıfı en az BS20 ve en büyük agrega çapı 15 mm olmalıdır. Sıkıştırma işlemi olanak varsa vibratörle, yoksa uygun bir şekilde şişlenerek yapılmalı ve gerekirse akışkanlığı arttırıcı bir katkı maddesi kullanılmalıdır.

Dolgu harçları, yangın ve paslanmaya karşı koruma, onarımlarda derzlerin kapatılması ve basınç kuvvetlerinin aktarımında kullanılması amacıyla çimento, kum ve suyun karıştırılmasıyla elde edilir. Katkı maddesi, büzülmeyi azaltmak amacıyla kullanılıyorsa, harç mümkün olduğunca kuru olmalıdır.

Prefabrike elemanların birleşimlerinde kullanılan çelik teçhizat çubukları, bulonlar ve yivli birleştiriciler, gömülü çelik elemanlar ve saplamalar, taşıyıcı çelik plakalar, profiller ve kaynaklar ve ard-germe çeliği birleşim metallerini oluştururlar.

Prefabrike elemanların birleşimlerinde kullanılacak teçhizat çubukları TS 708'e uygun olmalıdır. Bu çubukların kenetlenme boylarının sağlanması için TS 500'deki şartlara uyulmalıdır. Birleşim noktalarında yeterli kenetlenme boyuna ulaşılamadığı durumlarda ise kenetlenme, kanca oluşturarak, kaynaklı enine çubuk kullanarak ve kaynaklı veya vidalı çelik plakalar sayesinde sağlanabilir. Montaj hızını arttırmak amacıyla kullanılan bulonlar ve yivli birleştiriciler, sıkı imalat toleransları gerektirdiğinden bu hususa dikkat edilmeli ve üretici firmanın verileri doğrultusunda kullanılmalıdır.

Gömülü çelik elemanlar ve saplamalar, çelikten imal edilmiş diğer birleşim elemanlarına vidalanmak veya kaynaklanmak üzere bir ana parça ve betona kenetleme için, imal edilirken ana parçaya kaynaklanmış çelik bir elemandan oluşmalıdır. Sünek davranışın sağlanması için bu tür bağlantı elemanlarının betona çok iyi kenetlenmesine ve bağlantı kırılmasının betondan önce çelikte başlamasına dikkat edilmelidir. Taşıyıcı özelliklere sahip çelik plakaların kalınlığı 4 mm'den az olmamalı ve ankraj elemanlarına özen gösterilmelidir. Taşıyıcı çelik kaynaklarının ise TS 3357'de belirtilen şartlara uygunluğu sağlanmalıdır.

Ard-germe metodu ise, moment aktaran birleşimlerde tercih edilebilir. Ard-germe için toron veya öngerme çubuklarının kullanılması uygundur. Bunlar TS 5679 ve TS 5680'de belirtilen şartlara uygun olmalıdır. Ard-germe kuvvetinin boyutlandırma esnasında hassas olarak belirlenmesi önemlidir. Normal uygulamalarda en az 5 ila 7 metrelik ard-germe toronu kullanılır. Ancak kısa toronlar söz konusu ise, ard-germe etkilerinin bulunmadığı varsayılmalı ve boyutlandırmada sadece toronun sünekliği ve çekme mukavemeti göz önüne alınmalıdır.

Prefabrike elemanların birbirleri üzerine oturdukları birleşimlerde mesnet elemanları, gerektiğinde yük dağılımını sağlamak amacıyla kullanılır. Bu tür elemanlar, yatay düzlemdeki hareketlere ve dönmelere izin vererek gerilmeleri azaltır. Mesnetlerde kullanılabilecek bazı elemanlar; neopren yastıklar, gelişigüzel fiber dizili yastıklar, pamuk lifli yastıklar, çelik veya cam elyafı kaplı yastıklar, teflon kaplı yastıklar, kaplamalı sunta ve multimonomer plastik yastıklardır. Neopren yastıklar; düşey yöndeki mukavemetleri düşük olmasına karşın diğer yönlerde sağladıkları hareket serbestliği başka mesnet yastıklarına göre daha yüksektir. Gelişigüzel fiber dizili yastıklar ise neopren yastıklar gibi elemanlarla karşılaştırıldığında bu tür yastıklar daha yüksek basınç mukavemeti sağlarken bu yastıkların, yatay ve dönme hareketlerindeki serbestliği nispeten daha azdır. Pamuk lifli yastıklar; pamuk elyafından dokunmuş tabakalar içererek yüksek basınç mukavemeti sağlarken, teflon kaplı yastıklar da yatay hareket serbestliğini kaymaya izin vererek arttırırlar. Boşluklu döşeme eleman mesnetlerinde kullanılan kaplamalı sunta, rutubetli ortamda kullanılacaksa özel önlem alınmalıdır. Basınç mukavemeti betonunkinden fazla olan multimonomer plastik yastıklar da kaplamalı sunta gibi boşluklu döşeme elemanlarının mesnetlerinde kullanılır.

TS 500'de belirtilen hususlar, prefabrike beton imalatında da aynen geçerliliğini sürdürmektedir. Projede öngörülen beton sınıfı mukavemeti (karakteristik mukavemet) f_{ck} olduğuna göre, beton karışım hesaplarında temel alınacak ortalama

mukavemet $f_{cm,}$ standart sapmanın bilindiği durumlarda (2.1) bağıntısından hesaplanmalıdır.

$$f_{cm}= f_{ck} + 1.28\sigma \qquad (2.1)$$

Standart sapmanın bilinmediği veya kestirilemediği durumlarda ise, f_{cm} yaklaşık olarak f_{ck}'nın belirli bir miktar arttırılmasıyla bulunabilir. Δf değerleri için de Tablo 2.1 kullanılır.

$$f_{cm}= f_{ck} + \Delta f \qquad (2.1.a)$$

Tablo 2.1 Beton Mukavemet Hesabında Alınacak Δf Değerleri

	Normal Mukavemetli Beton	Yüksek Mukavemetli Beton
σ (N / mm^2)	2.90	3.30
Δf (N / mm^2)	3.70	4.20

Burada normal mukavemetli betonlar, $f_{ck} < 25$ (Mpa, silindir mukavemeti) betonlar olarak alınmalı, bunun üzerindeki değerlere sahip beton, yüksek mukavemetli beton olarak kabul edilmelidir.

Beton mukavemeti, ne fazla ne de düşük olmamalıdır. Prefabrike elemanlarda, BS20'den daha küçük mukavemette beton kullanılmamalıdır. Bu değer, öngerilmeli beton elemanlar için BS30'dur. Farklı elastisite modülüne sahip malzemelerin yan yana kullanılmasından ötürü çatlaklar oluşabileceğinden çok yüksek kaliteli betonla düşük kaliteli beton bir arada kullanılmamalıdır. Ayrıca donatı aralığına uygun büyüklükte dane iriliği seçilerek boşluksuz beton elde edilmesine özen gösterilmelidir.

2.4 Yükler

Prefabrike bir yapıda, iç kuvvet oluşturan ve kullanma süresince aşılması belli bir olasılıkla mümkün olan karakteristik yükler yönetmeliklerde verilmektedir. Normal yükler, deprem yükleri, taşıyıcı sistemin boyutlarındaki ve düşey yüklerin doğrultularındaki yaklaşıklıktan ve birleşim ve mesnetlerdeki yapım ve montaj hatalarından doğan ek yükler, ikinci mertebe etkileri, dikkate alınmalıdır. Hesap yüklerinin kombinezonları TS 500'e uygun olarak bulunmalı ve elemanların kendi

ağırlıkları için yük katsayıları; taşımada 1.8, kaldırma ve montajda 1.5 olarak alınmalıdır. Malzeme katsayısı olarak da 1.3 değeri alınmalıdır.

TS 9967'ye göre taşıyıcı sisteme asılan duvar panolarının bağlantı elemanlarına herhangi bir doğrultuda etkiyen deprem kuvveti,

$$F = 2.5 \, R \, C_0 / W \qquad (2.2)$$

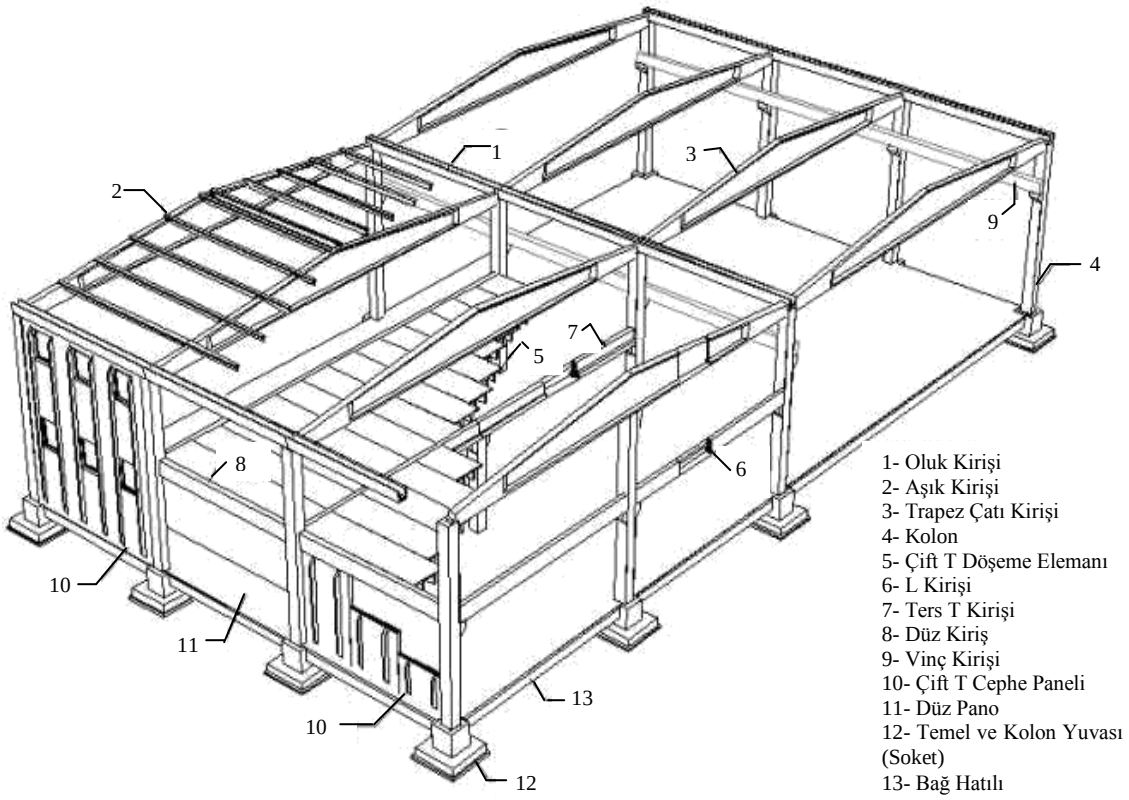
olarak hesaplanır.

Prefabrike yapılar için duyulan en büyük kuşku, deprem dayanımı ile ilgilidir. Bina planındaki düzgün aks ve simetriklik özelliği, deprem yüklerine karşı dayanımı olumlu etkileyen faktörlerdir. Deprem açısından sorun, tıpkı çelik yapılarda olduğu gibi bağlantı noktalarında yoğunlaşmaktadır. Bağlantılardaki zayıflıklar, yapıların davranışını olumsuz etkilemekte, bu nedenle deprem kuşağında yer alan ülkelerde prefabrike yapılara şüpheyle yaklaşılmaktadır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te (ABYYHY), (R) yapı tipi katsayıları, yerinde dökme betonarme binalarda daha yüksek tutulup, prefabrike yapılarda bu değer azaltılmıştır. Bu katsayının azaltılması ile prefabrike yapılar için yapıya etkiyen deprem kuvveti artmakta ve tasarım yapılırken daha yüksek deprem kuvvetleri göz önüne alınmaktadır.

Sonuç olarak ülkemizde prefabrike yapıların deprem hesabında kullanılacak yatay yük katsayılarının, normal yerinde dökme betonarme yapılara göre en az 2 - 2.5 kez daha büyük alınması gerekmektedir.

3. PREFABRİKE ELEMANLAR VE TAŞIYICI SİSTEMLER

Prefabrike elemanlar, çubuk elemanlar; kiriş, kolon, çerçeve, kemer vb. ile döşeme ve duvar yapmak için kullanılan, pano denen düzlemsel elemanlar ve kabuk kısımlarından oluşan kabuk elemanlar olarak sınıflandırılabilir [4]. Şekil 3.1'de prefabrike elemanlar ve sistem detayı gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Prefabrike Elemanlar ve Sistem Detayı

3.1 Çubuk Elemanlar

Kirişler; prefabrike çerçeveli sistemlerde, kolonları birleştirip sürekliliği sağlayan, sürekli, basit veya çerçeve kirişini oluşturmak amacıyla kullanılan elemanlardır. Bu elemanların kiriş - kiriş ve kiriş - kolon birleşimleri mafsallı veya rijit olabilir.

Kolonlar; prefabrike çerçeveli sistemlerde, döşeme ve kirişlerden gelen düşey ve yatay yükleri temele aktaran elemanlardır. Kolon - kolon birleşimleri ve kolon - kiriş birleşimleri mafsallı veya rijit olabilir. Ayrıca prefabrike sistemlerde kolonlar, kirişlerin oturmaları için kısa konsollara veya inceltilmiş uçlu konsollara sahip olabilirler.

Uygulamada ise genel olarak çerçeve elemanlar, T, H ve Λ şeklinde kullanılırlar. Çerçeve elemanların birbirleriyle ve kirişlerle ekleri rijit veya mafsallı olabilir.

3.2 Düzlemsel Elemanlar

Döşeme panoları; herhangi bir binada bir hacmin plan alanında olan ve bazen de en çok üç tanesi bir hacmin plan alanını kaplayan döşeme elemanları olarak adlandırılır.

Bu elemanlar, dolu veya boşluklu gibi farklı kesitlere sahip olabildiği gibi Π kesitli de olabilirler. Ayrıca, kaset döşeme şeklinde döşeme panoları da kullanılmaktadır.

Duvar panoları ise dolu kesitli düzlemsel elemanlar olup, genellikle bir hacmin bir yan yüzünü tamamen örterler. Kutu veya profil kesitli dış duvar panoları da kullanılabilir. Bir kat yüksekliğinden daha yüksek olabilen duvar panolarının düşeyde birleştirilmesiyle, oldukça büyük bir hacmin yan yüzleri kapatılabilir.

3.3 Bağ Elemanları

Prefabrike binalarda, gerektiğinde monolitik davranışı sağlamak amacıyla yatayda ve düşeyde bağ hatılları ve bağ çubukları oluşturulmalıdır.

Bağ hatılları, genellikle kiriş, duvar, perde gibi taşıyıcı sistem ile döşeme panel kenarları boyunca yerinde dökülerek oluşturulan elemanlardır. Bu elemanlar, döşemede oluşan çekme kuvvetlerini, stabiliteyi sağlayacak taşıyıcı sisteme aktarmaya yarar. Ankastre bağ çubukları ile beraber kullanılmak kaydıyla yerinde dökme veya prefabrike kirişler, bağ hatılı olarak kullanılabilirler. Bağ hatılı donatısı uç taşıyıcılara aderans boyu kadar saplanmalı ve arada kesinti olmamalıdır. Bağ hatılı genişliği, donatı yerleştirilecek hallerde en az 40 mm genişlikte yapılmalıdır. Taşıyıcı ve rijitlik duvarlar üzerinde ise bağ hatıllarının genişliği 60 mm'den, alanı 100 $cm^{2'}$den ve donatısı 2 adet 10 mm çaplı çubuktan az olmamalıdır.

Bağ çubukları ise, kesme sürtünmesi etkisi ile kesme kuvvetlerinin panolara dik veya paralel birleşimlerdeki bağ hatıllarına aktarılmasında kullanılan teçhizatlardır. Yatay bağ çubuğu teçhizatı, pano arası boşluklara veya boşluklu döşemelerde boşluk içerisine yerleştirilebilir. Bağ çubuğu kesit hesabında çeliğin kopma dayanımı kullanılır. Ayrıca sünekliği arttırmak için sıcak haddelenmiş çeliklerin bağ çubuğu olarak kullanılması daha uygun olur.

Bağ elemanlarının teçhizatları, taşıyıcı duvar veya kirişlere dik bağ elemanları dışında, biri üstte ve diğeri altta olmak üzere en az 2Ø10 mm'lik donatıdan oluşmalı ve Şekil 3.2'de verilen T kuvvetlerini taşımalıdır. Donatı alanı;

$$A_s = T / 0.7 * f_{yk} \qquad (3.1)$$

olarak hesaplanır.

1) Ara taşıyıcı duvar ve kirişler üzerindeki bağ elemanlarında;

$$T_1 = 22 * (l_1 + l_2) / 2 \ (kN) \qquad (3.2)$$

l_1 ; l_2 : Duvar panosunun solundaki ve sağındaki hacimlerin duvara dik boyutudur (m).

2) Dış duvar veya kiriş üzerindeki her bir bağ elemanında;

$T_2 = 70$ (kN) (3.3)

3) Döşeme düzleminde, taşıyıcı duvar veya kirişlere dik bağ elemanlarında, bu duvar veya kirişlerin bir metresi için;

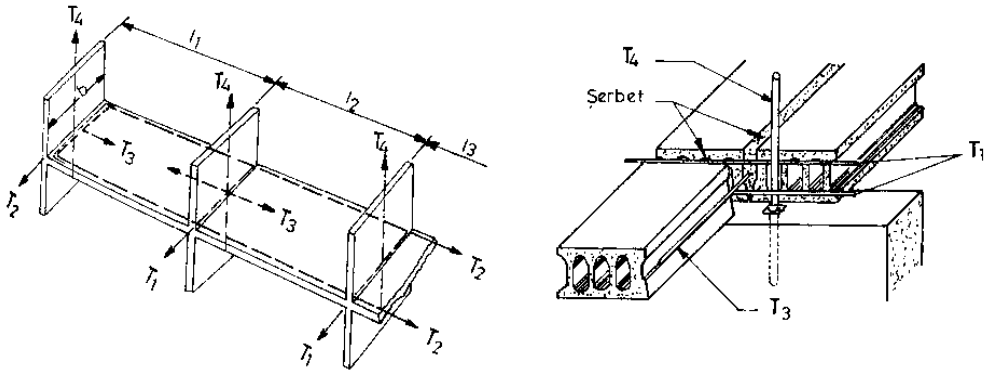
$T_3 = 22$ (kN) veya $T_3 = 0.025$ N'den büyüğü esas alınacaktır. (3.4)

Burada N, taşıyıcı eleman üzerindeki, yük katsayısı ile arttırılmamış (kN / m) cinsinden düşey işletme yüküdür. Bu kuvvete karşı konacak donatılar, döşeme panoları kenarına konulabileceği gibi belirli aralıkla da toplanabilir.

4) Düşey bağ elemanlarında;

$T_4 = 44$ (kN / m) * b (3.5)

b : Donatının konduğu taşıyıcı duvarın metre cinsinden plandaki uzunluğudur.



Şekil 3.2 Bağ Sisteminde T Kuvvetleri

3.4 Temeller

Taşıyıcı sistemden gelen yükleri zemine aktaran eleman olan temeller, prefabrike sistemlerde genellikle yerinde dökme olarak inşa edilirler. Panolardan oluşan sistemlerde daha çok radye temeller kullanılır.

3.5 Taşıyıcı Sistemler

Prefabrikasyon uygulamaları çerçevesinde "sistem" kelimesi çok çeşitli kavramları; açık ya da kapalı prefabrikasyon, fabrikada ya da yerinde prefabrikasyon, tam prefabrikasyon ya da kısmi prefabrikasyon gibi yaklaşımları akla getirse de, burada "sistem" kavramı ile yalnız prefabrike olarak üretilen bina taşıyıcı bölümlerinin oluşturduğu taşıyıcı sistem anlatılmak istenmektedir. Bu açıdan bakıldığında, monolitik yapılarda olduğu gibi, kolon-kiriş ve döşemelerden oluşan karkas ve taşıyıcı duvarlardan oluşan perdeli veya prefabrikasyon uygulamasındaki adıyla panolu sistemle yapılmış yapılar bulunmaktadır. Prefabrike taşıyıcı sistemlerin yapımında, hesapta öngörülen özelliklerin sağlanması gerekmektedir. Bunun için;

Kat döşemelerinin diyafram davranışının sağlanması ve yatay kuvvetlerin yatay yük taşıyan elemanlara ve taşıyıcı sistemde düşey doğrultuda oluşabilecek çekme kuvvetlerinin de, çatıdan temele kadar aktarılması amacıyla yatay ve düşey bağ elemanları ve bağ çubukları yapılmalıdır.

Bir doğrultuda daha rijit olan sistemlerde, yatay yüklerin bu doğrultuya dik etkileri, uygun yerlerde yapılacak prefabrike, yerinde dökme perde duvarlarla veya çerçeve etkisi yaratan rijitlik kirişleriyle temele aktarılmalıdır.

Yapının en olumsuz deprem doğrultusu, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe uygun olarak seçilmelidir.

Zamana ve ısıya bağlı şekil değiştirmelerinden meydana gelebilecek iç kuvvetler, genleşme derzleri ve örtü tabakalarıyla azaltılmaya çalışılmalıdır [5].

3.5.1 Çerçeveli Sistemler

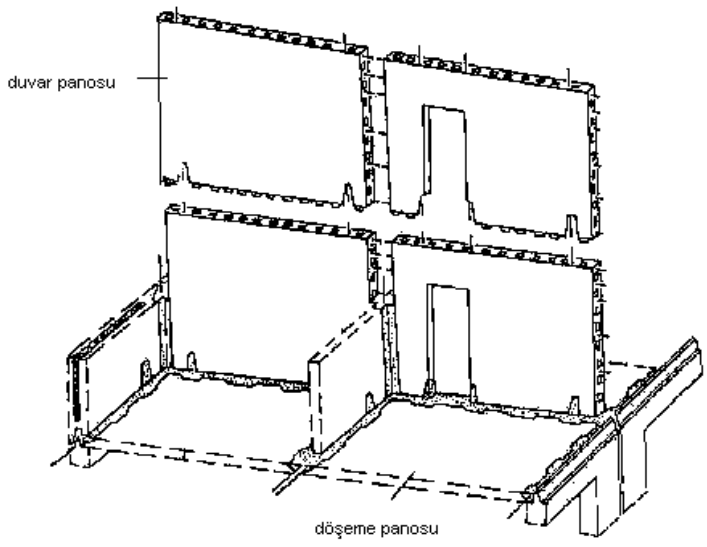
Prefabrike çerçeve sistemler genellikle az sayıda bölge duvarı isteyen ofis ve endüstri yapılarında kullanılır. Endüstri yapıları daha çok bir veya iki katlı, büyük açıklıklı kolon, kiriş ve çatı elemanlarının kullanıldığı çerçeve tipi yapılardan oluşmaktadır. Şekil 3.3'te ise bir çerçeve türü yapı görülmektedir. Ülkemizde bu tip yapılarda temel - kolon, kolon - kiriş ve döşeme - kiriş birleşimleri kullanılır. Düşey yükler daha ziyade kolonlar tarafından, yatay yükler ise çerçevelerin teşkil tarzına bağlı olarak bir veya iki dik doğrultuda ya prefabrike ya da yerinde dökme perdeler ve / veya çekirdeklerle alınır. Kat döşemeleri yatay yükü, bu yükü taşıyacak elemanlara dağıtacak şekilde olmalıdır. Kiriş - kolon birleşimleri mafsallı ve rijit olabilir. Taşıyıcı olmayan bölme duvarları, deprem esnasında çerçevelerin deformasyonlarına engel olmayacak yer ve detaylarla teşkil edilmelidir.



Şekil 3.3 Çerçeve Türü Taşıyıcı Sistem

3.5.2 Panolu Sistemler

Prefabrike panolu sistem, özellikle çok katlı binaların yapımında yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Panolu sistemler, düşey ve yatay ek yerleri ile birbirine bağlanmış büyük boyutlu düşey ve yatay panolardan oluşur. Düşey yükleri taşıyan duvar panoları genellikle bir kat yüksekliğindedir. Şekil 3.4'te panolu sistemlere ait kuruluş şeması gösterilmektedir. Bu sistemlerin söz konusu uygulamalarda tercih edilmesini sağlayan en önemli özellikleri arasında, taşıyıcı sistemin oluşturulmasıyla birlikte cephelerin ve iç bölmelerin büyük bölümünün de oluşmasının sağlanması, taşıyıcı elemanların yani duvar ve döşeme panolarının büyük ölçüde benzer nitelikte olması nedeniyle üretimlerinin benzer şekilde yapılması, ağırlıklarının yaklaşık eşit olması sonucunda taşıma ve kurma donanımı kapasitesinin ekonomik kullanılması konuları gelmektedir [6].

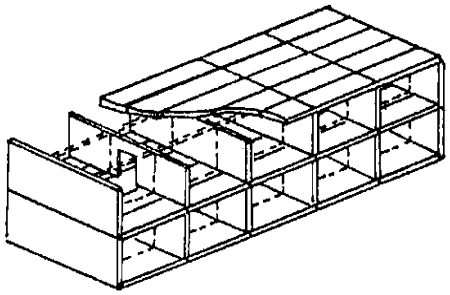


Şekil 3.4 Panolu Sistem Kuruluş Şeması

Prefabrike panolardan yapılmış olan bir yapının taşıyıcı sistemi, yığma yapılara benzer bir çalışma gösterir. Betonarme panolardan oluşturulmuş döşemeler, yüklerini duvar panolarına aktarır ve bu şekilde düşey yönde taşınan yükler duvar temellerine aktarılır. Döşemelerle duvarlar arasında ve duvarların kendi aralarındaki bağlantılar moment aktarıcı türden yapılmayabilir. Bu durumda yatay yüklerin etkisi altındaki bir pano, yapıda tüm serbestlik dereceleri rijit diyaframlarla (panolarla) engellenmiş bulunduğundan panoların ek yerlerinde momentler ortaya çıkmayacak ve yatay yükler, panoların birleşme kesitlerinde oluşacak kesme kuvvetleriyle karşılanacaktır. Esasında düşük periyotlu, çok rijit yapılar olduklarından, özellikle deprem etkisi sonucunda panolar arasında oluşan kesme kuvvetleri, bu birleşimlerin iyi tasarlanmasını ve dikkatli yapılmasını gerektirir.

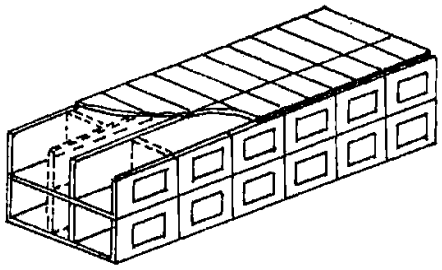
Panolu sistemler genel olarak üç tipte olmaktadır [7];

a) Yapının Kısa Doğrultusunda Panoların Düşey Yük Taşıdığı sistemlerde, döşemelerden gelen düşey yükleri taşıyan duvar panoları, yapının uzun eksenine dik yönde yerleştirilir. Şekil 3.5'te binanın uzun eksenine dik yönde yerleştirilmiş duvar panoları ile diğer yönde yerleştirilmiş panolar, depremden dolayı oluşan yatay yükleri taşırlar.



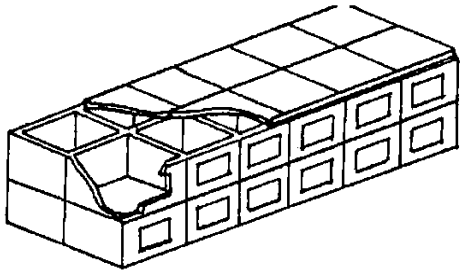
Şekil 3.5 Kısa Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem

b) Yapının Uzun Doğrultusundaki Panoların Düşey Yük Taşıdığı sistemlerde, döşeme panolarından gelen düşey yükler yapının uzun doğrultusunda yer alan duvar panoları tarafından, yatay yükler ise her iki yönde uzanan duvar panoları tarafından Şekil 3.6'daki gibi taşınır.



Şekil 3.6 Uzun Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem

c) İki Yönde Yük Taşıyan sistemlerde ise, döşeme panoları dört bir kenardan duvar panolarına düşey yük aktarırlar. Bütün duvar panoları hem düşeyde hem de yatayda yük taşırlar. Şekil 3.7'deki iki yönlü sistemlerin deprem bölgeleri için en uygun tip olduğu bilinmektedir.



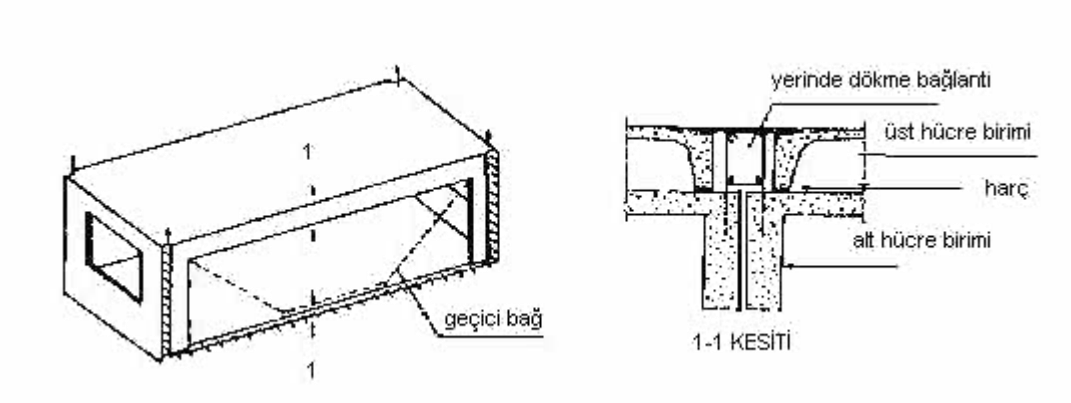
Şekil 3.7 Her İki Yönde Düşey Yük Taşıyan Sistem

3.5.3 Hücre Sistemler

Bu tür sistemlerde oda boyutunda üretilmiş hücreler (kutular) yan yana, üst üste konarak ve gerekli birleşimler yapılarak, bütün yapı; taşıyıcı sistemi, bölme duvar ve döşemeleri ile meydana gelmiş olur. Bu kutuların yaklaşık ağırlıkları 7 ton ile 50 ton arasında değişir. Duvarlar, kat ve çatı döşemelerinden gelen düşey yükleri ve her iki doğrultudaki yatay yükleri alır.

Hücre prefabrikasyon sistemi, fabrikadaki işlemleri çok; şantiyedeki işlemleri az olan bir sistem tipidir. Dolayısıyla bu sistemde kutular, en üst düzeyde bitmiş olarak fabrikada yapılır ve şantiye işlemleri de çok az sayıda bir ekiple hızlı bir şekilde yürütülebilir. Kutu sistemin yapımını etkileyen en büyük sınırlama, hücrelerin ağırlıklarıdır. Bu hücreleri kaldırmada ve taşımada kullanılacak ekipmanlar, bu sistemi ekonomik olmaktan çıkarabilir [8]. Dolayısıyla Şekil 3.8'de gösterilen bu

sistemler, yeterli şantiye olanaklarının olmadığı, iklim koşullarının yapımı engellediği ya da fabrikanın yapılacak yere yakın olduğu durumlarda tercih edilebilir.



Şekil 3.8 Hücre Sistemler

3.5.4 Karışık Sistemler

Yukarıda tanımlanan taşıyıcı sistemlerin çeşitli şekillerde karışımından oluşan sistemlerdir. Bunlara örnek olarak; dış duvarları taşıyıcı panellerden, iç taşıyıcı sistemi kolon, kiriş ve döşemelerden; mutfak, banyo gibi tesisat içeren ıslak mekanları veya merdiven boşluğu, asansör yuvası vb. gibi mekanları da hücrelerden oluşan yapılar verilebilir.

4. PREFABRİKE PANOLU YAPILARDA BİRLEŞİMLER

Genel olarak prefabrike panolu sistemler, depreme dayanıklı yapı sistemleri olarak bilinirler. Sistemi teşkil eden panoların yatay ve düşey yüklere karşı dayanımları ve rijitlikleri, bu sistemlerin depreme dayanıklı yapı sistemleri olarak nitelendirilmesinin başlıca sebebidir. Unutulmaması gereken en önemli unsurlardan biri, panolar arasındaki ve panolarla temel arasındaki yatay ve düşey birleşimlerdir. Özellikle depremin ve rüzgarın etkisiyle oluşan yatay yüklerde, yapının stabilitesini belirleyen en önemli kısımlar birleşim yerleridir. Dolayısıyla ülkemizde olduğu gibi deprem tehlikesinin olduğu diğer bölgelerde de birleşim yerleri çok iyi detaylandırılmalı ve aynı şekilde sahada da çok iyi uygulanmalıdır.

Tasarlanan ve kullanılması düşünülen birleşimler öncelikle, yapının ekonomik ömrü içerisinde kendisine etki edebilecek sabit ve hareketli yüklerden, depremden,

rüzgardan, toprak ve su basınçlarından dolayı ortaya çıkabilecek yüklere karşı koyabilecek dayanıma sahip olmalıdır [9]. Prefabrike sistemler, deprem tehlikesinin bulunduğu ülkelerde hesap edilirken, sistemdeki elemanların ve özellikle birleşim yerlerinin yüksek düktiliteye sahip olması istenir. Böylece deprem sonucu yapıya etkiyen enerjinin yapı tarafından emilerek, yapıya büyük derecede hasar vermesi engellenmiş olur. Hacim değişikliğinden dolayı oluşabilecek ve elemana etki edecek gerilmelerin ise dizayn aşamasında göz önünde tutulması ve önlemler alınması gerekir. Açık hava etkilerine maruz birleşim yerlerindeki çelik elemanlar (donatılar), beton ile uygun şekilde kaplanmalı veya uygun malzemelerle boyanmalıdır. Yangın sonucu birleşim yerindeki dayanım kaybı, yapının bütün stabilitesini tehlikeye sokabileceğinden, birleşim yerleri yangına karşı da özel olarak korunmalıdır.

Birleşim veya mesnetler, özelliklerine göre o yerde oluşabilecek normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti ve burulma momenti gibi zorlamaları güvenli bir şekilde, birleşen elemanların birinden diğerine aktarabilmelidir. Dönme, yer değiştirme ve deformasyonlar kabul edilebilir sınırlar içinde olmalı ve birleşim veya mesnetler bu özelliklere cevap verebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca birleşimi oluşturan birleşim elemanlarının rölatif deformasyonları da kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.

Birleşim sünek olmalıdır, yani elastik deformasyondan sonra, kırılma olmadan, elastik deformasyonun en az 4 ila 5 katı kadar plastik deformasyon meydana gelebilmelidir. Sünekliğin sağlandığının hesapla ve hesap yapılamayan yerlerde ise deneylerle gösterilmesi gerekir. Eleman boyutlarının da, toleranslar çerçevesinde fark edebilecekleri hususu dikkate alınmalıdır.

Taşınma ve depolama koşulları projelendirme safhalarında düşünülmeli ve elemanların birleşim yeri şeklinin güçlük çıkarmaması, montajda yerleşimin kolaylıkla ve süratle yapılabilmesi için gerekli önlemler alınmalı, zaman alıcı birleşim ve mesnet şekillerinden kaçınılmalıdır [4].

Birleşimlerin ve mesnetlerin maliyetleri ise, aktardıkları zorlamaların cinsine, sayısına ve büyüklüğüne bağlıdır. Bu maliyetin, yapının toplam maliyeti yanında mümkün olduğu kadar küçük mertebede kalması sağlanmalıdır. Uygulamada moment aktaran birleşimler daha pahalı olduğundan, yapının rijitlik, stabilite ve benzeri özelliklerine zarar vermemek şartıyla mümkün olduğunca moment aktaran birleşimlerden kaçınılmalıdır.

Birleşimlerde ayrıca, yük katsayıları, kesme sürtünmesi ve malzeme toleransları şartlarına uyulmalıdır.

a) Yük Katsayıları; limit yük koşulları altında, birleşim elemanlarında büyük dönmelerin ve deformasyonların meydana gelebilecek olmasından, uygun yük katsayılarının seçiminde birleşimdeki her bir elemanın güvenli yük katsayısından en büyük olanının seçilmesi tavsiye edilir. TS 9967'ye göre, birleşimlere gelen arttırılmış hesap yüklerinin, 4 / 3 değerinde bir katsayıyla da arttırılması zorunludur. Ayrıca, depreme göre yapılan hesaplarda katsayıyla arttırılmış yükler (G + Q), 4 / 3 katsayısıyla çarpılır ve 1.2 veya 1.5 değerleriyle arttırılmış deprem yükleri (E) ilave edilir.

Neopren gibi mesnet ara malzemelerinin hesabında ise, katsayıyla arttırılmamış yükler kullanılır. Korniyer, kaynak gibi malzemelerle gerçekleştirilen bazı özel birleşimlerde ise malzeme katsayıları da artırılır. Eğilme etkisindeki elemanların mesnetlerinde yatay yük varsa ve bu yükün değeri hesapla bulunmamışsa, düşey yükün en az 1 / 10'u yatay yük olarak hesaba katılabilir.

b) Kesme Sürtünmesi; bu kavramın uygulamadaki temel varsayımı, birleşim bölgesindeki betonda istenmeyen çatlaklar oluşmasıdır. Bu istenmeyen çatlakların oluşmaması için, birleşim yerine belirli bir sünekliğin verilmesi gerekir. Bu da çatlak bölgesine yerleştirilecek donatılar ile sağlanır [3]. Betonarme veya öngerilmeli beton bir elemanda, betonu kendisi ile birlikte veya sonradan dökülmüş bir parçanın, ilk dökülen bölümden ayrılmaması ve bu ara kesitte oluşacak çatlağın pürüzlü yüzündeki sürtünme kuvvetlerini almak için konacak "kesme - sürtünme" teçhizat alanı (Asf) aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$A_{sf} = V_d / 0.7\, f_{yk} \,.\, \mu_e \ (mm^2) \qquad (4.1)$$

Tablo 4.1 Sürtünme Katsayıları

Temas Yüzey Durumu	**μ**	**Maks.Hesap Kesme Kuvveti (V_d)**
İki beton birlikte dökülmüş	1,4	$0{,}3\ \lambda^2 f_{ck} A_{cr} \leq 6{,}9\ \lambda^2 A_{cr}$
Ek sonradan dökülmüş, eski betonun yüzeyi yeterince pürüzlü	1	$0{,}25\ \lambda^2 f_{ck} A_{cr} \leq 6{,}9\ \lambda^2 A_{cr}$
Ek sonradan dökülmüş, eski betonun yüzeyi yeterince pürüzlü değil	0,4	$0{,}15\ \lambda^2 f_{ck} A_{cr} \leq 4{,}1\ \lambda^2 A_{cr}$
Ek çelik üzerine dökülmüş	0,6	$0{,}20\ \lambda^2 f_{ck} A_{cr} \leq 5{,}5\ \lambda^2 A_{cr}$

Birim kayma direncinin, tabloda verilen maksimum değerleri aşması halinde μ_e yerine;

$\mu_e = 6.9\ \lambda^2\ A_{cr}\ \mu / V_d$ değeri alınmalıdır. (4.1a)

$\lambda = 1.0$ (Normal betonlar için), $\lambda = 0.75$ (Hafif betonlar için)

Temas yüzeyine dik bir H_d çekme kuvveti varsa, A_{sf} 'nin yanı sıra,

$A_n = H_d / 0.7\ f_{yk}\ (mm^2)$ teçhizatı da eklenmelidir. (4.2)

H_d her durumda, düşey mesnet reaksiyon kuvvetinin 1/10'undan küçük olmamalıdır.

c) Toleranslar; prefabrike beton birleşimlerde, malzeme toleransları büyüklük fonksiyonuna ve birleştirilen elemanların tipine bağlıdır. En önemli nokta ise prefabrike elemanlardaki toleransların diğer inşaat malzemeleriyle sağladığı uyumdur. PCI (1973) Amerikan Yönetmeliği'ne göre toleranslar, 3 mm ila 25 mm arasında değişen değerler olup; TS 9967'de ise bu değerler daha dar tutularak, 5 mm ila 20 mm arasında değişmektedir.

Panellerin birbirleriyle veya diğer yapı elemanlarıyla yapmış olduğu birleşimler aşağıda verilmiştir;

4.1 Panel - Panel Birleşimleri

Bu birleşimler, eleman yüzeyindeki özel profillerin arasındaki boşluğa, montaj aşamasında dayanıklı dolgu harcının yerleştirilmesi ile oluşturulur. Birleşimlerin moment taşıma kapasitesi olmamasına karşın yatay ve düşey kesme kuvvetlerini aktarabilir ve düşey yükler altında panellerin birlikte çalışmasını sağlar. Panel üzerindeki duvar vb. çizgisel yüklerin veya açılan herhangi bir deliğe ait yük tesirinin, diğer komşu paneller tarafından kısmen taşınması da yine bu birleşimler sayesinde sağlanır.

4.2 Panel - Ana Taşıyıcı Mesnet Birleşimleri

Bu tür birleşimler, eleman özağırlığı ile diğer hareketsiz ve / veya hareketli yüklerin döşeme elemanlarından, kiriş, duvar vb. taşıyıcılara aktarıldığı kısımlardır. 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 vb. malzemeler tavsiye edilir.

Panel boşluğuna ise mesnet bölgesinde bağ çubuğu yerleştirilir. Mesnette panel uçlarına dökülecek harç veya beton ile mesnet dış yüzüne kadar eleman iç boşlukları doldurulur. Kullanılacak harcın istenen noktadan öteye gitmemesi için de uygun tıkaç kullanılmalıdır.

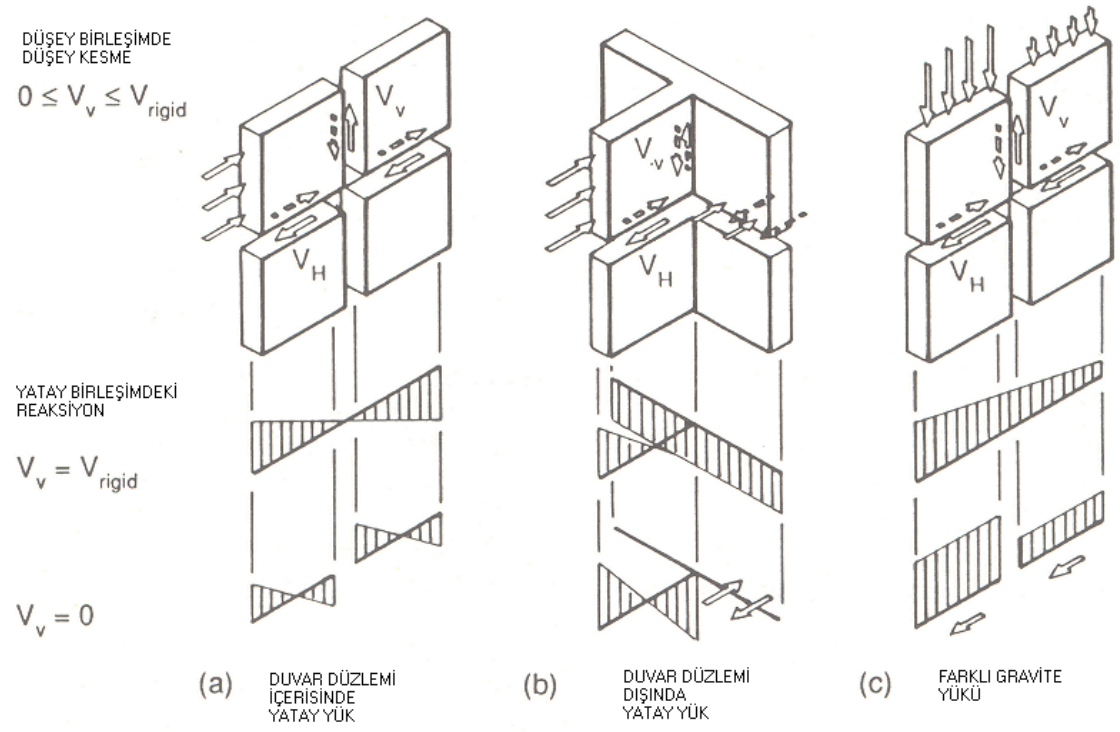
4.3 Panel - Tali Yön Birleşimi

Panel elemanlarının yan yüzlerinden birinin kiriş, hatıl vb. eleman veya diğer yöndeki bir panel ile birleşimidir. Bu tarz birleşimlerde panel ile diğer elemanlar arasında düşey yük alışverişi öngörülmez ve gerektiğinde sünek bir malzeme ile de mesnede oturmasına karşı önlem alınır [8].

4.4 Taşıyıcı Duvar Panoları Birleşimleri

Taşıyıcı duvar panoları arasındaki birleşimler, yapının bütünlüğünü sağlayan önemli bölgeler olarak nitelendirilirler. Birleşimler, sabit, hareketli, deprem ve rüzgar yüklerine karşı dirençli olmalı, bu yüklerin panolar arasındaki transferini sağlamalı ve hacim değişikliğinden meydana gelen etkilere de karşı koymalıdır.

Taşıyıcı panel duvarları arasında iki yönlü hem düşey hem de yatay birleşimler oluşturulur. Dış yükler sonucunda birleşim yerlerinde oluşan etkiler Şekil 4.1'de gösterilmiştir [10].



Şekil 4.1 Dış Yükler ve Birleşim Kuvvet Sistemi

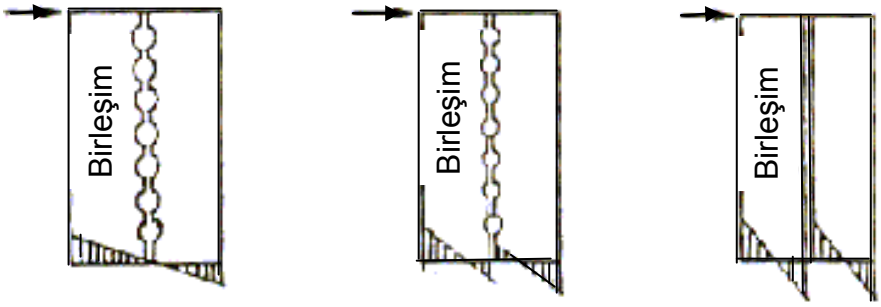
4.4.1 Düşey Birleşimler

Düşey birleşimler, duvar panolarının ya tek bir yapı ünitesi ya da bağımsız olarak davranmalarını sağlamak amacıyla oluşturulur. Düşey birleşim yerleri; Şekil 4.2'deki gibi rijit, yarı rijit ve açık olmak üzere üç çeşittir [11].

1) Rijit Birleşimler: Bu tip birleşimlerde, birleşim yerlerinin kesme deformasyonları prefabrik betonarme duvarların kesme deformasyonları ile aynı mertebededir. Rijit düğüm noktası, bitişik paneller arasında maksimum yüke kadar tam bir etkileşim sağlar.

2) Yarı Rijit Birleşimler: Birleşim yerinin kesme deformasyonu, prefabrik duvarların kesme deformasyonundan belirgin olarak fazladır. Yarı rijit düğüm noktaları, yükün kendi üzerinde yaptırdığı miktarın, panolar üzerinde oluşandan daha hızlı hale gelmesine kadar, bitişik panolar arasında tam bir etkileşim sağlar.

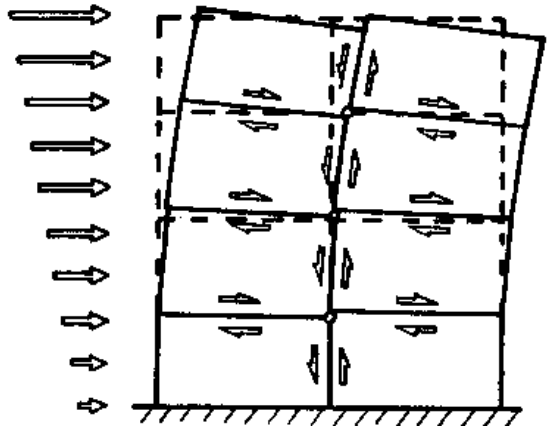
3) Açık Düşey Birleşimler: Bu tip birleşimlerde, hiçbir kesme kuvveti aktarılmaz ve bundan ötürü her bir bitişik pano bağımsız olarak hareket eder.



Şekil 4.2 Rijit, Yarı Rijit ve Açık Düşey Birleşimler

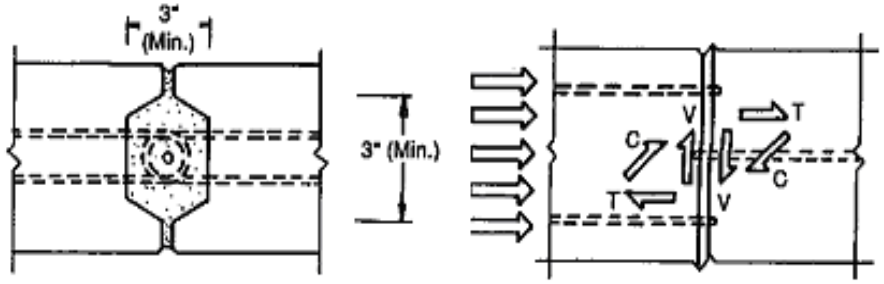
Düşey birleşimler; mafsallı, harçlı, mekanik ve kenetli birleşimler olmak üzere dört grupta toplanabilir.

a) Mafsallı Birleşimler; Basınç ve çekme kuvveti transferini sağlayan, fakat moment transferini sağlamayan birleşimlerdir. Bu tip birleşimler Şekil 4.3'teki gibi genellikle kat seviyesinde döşeme diyaframı boyunca ve bağ çubuklarında oluşturulurlar. Birleşim, kat seviyesi arasında serbest olduğundan panel duvarlar, etkili rijitliklerinden dolayı yatay yükleri bağımsız olarak karşılar. Ses ve su yalıtımı detayları ise ayrı olarak göz önünde bulundurulmalıdır.



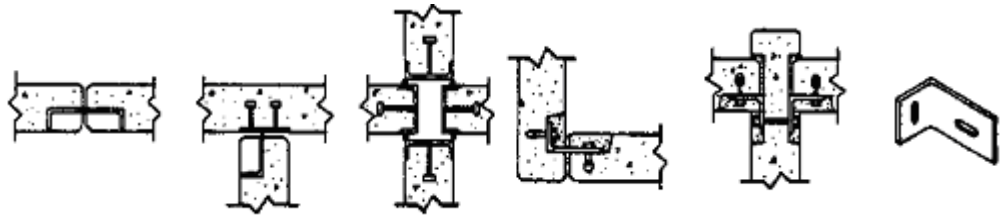
Şekil 4.3 Duvardan Duvara Mafsallı Birleşimler

b) Harçlı Birleşimler; sürekli olup, genellikle harçla doldurulan birleşimlerdir. Birleşimin dayanımı; sünme, büzülme ve sıcaklık değişimleri sonucunda duvar ile harç arasında çatlak oluşsa bile, kesme sürtünmesi ile hesaplanabilir. Şekil 4.4'te minimum harç mesafeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4 Harçlı Birleşimler

c) Mekanik Birleşimler; mekanik birleşimler, duvar panelleri içerisine gömülen ankraj elemanlarını ve çelik kısımları (levha, korniyer, çubuk vb.) içerirler. Birleşimin dayanımı, genellikle gömülü olan ankraj elemanının kapasitesi tarafından kontrol edilir. Ankraj elemanı ile çelik kısımların birleşimi; bulon, kaynak veya harç ile sağlanırken, kat seviyesindeki bağ çubuklarının birleşimi mekanik birleşimler ile sağlanır. Şekil 4.5'te değişik mekanik birleşimler gösterilmiştir.

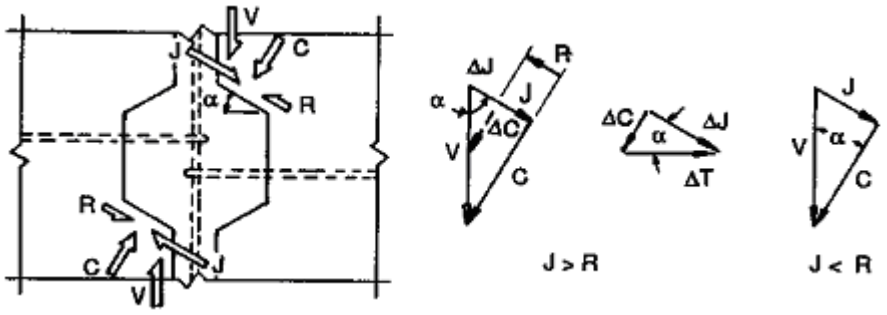


Şekil 4.5 Mekanik Birleşimler

d) Kenetli Birleşimler; donatılı veya donatısız olarak oluşturulabilir. Test sonuçlarının, donatılı veya donatısız olarak oluşturulan kenetli birleşimlerin yük-deformasyon davranışlarının benzer olduğunu göstermesine rağmen, donatılı olarak oluşturulan kenetli birleşimin yüksek düktilite özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde, donatılı kenetli birleşimin oluşturulması tavsiye edilir.

Literatürde yapılan deneysel çalışmalara bakıldığında, kenetli birleşimler için değişik parametrelerin kullanıldığı görülür. Bu çalışmalar ışığında genel olarak kenetli bitişik panolar arasındaki hasar, beton dayanımına bağlı olarak, kenetlerde ve kenetlerin ara yüzeyindeki kaymalardan ibarettir. Düşük kesme dayanımına sahip beton ve birleşim yerini saran düşey donatı oranı, birleşimin sınır kapasitesini kontrol eden etkenlerdir. Pik kapasite aşıldıktan sonra, artık kapasiteye doğru bir geçiş başlar ve bu kapasite kesme sürtünmesi, dolayısıyla da birleşimdeki düşey donatı ile ilgilidir. Kesme kenetleri ile teşkil edilen bitişik prefabrike panolar üzerinde değişik parametreler kullanılarak testler neticesinde; birleşim yerini harçlarken ortaya çıkan hava kabarcıklarının, panel ile harç arasındaki aderansın azalmasına ve bu bölgede hasar oluşmasına neden olması, kesme kenetlerinin dizilim şekillerinin, pik ve artık kapasite üzerinde çok önemli etkisinin olmaması, kesme kenetlerinin boyutlarının, pik kapasite üzerinde az bir etkiye sahip ve daha büyük kenet boyutlarına sahip panellerin kapasitesinin, küçük olana göre 1 / 5 oranında daha büyük olması fakat buna karşılık kenet boyutlarındaki değişikliklerin, artık kapasite üzerinde etkili olmaması, harç ile panel betonu arasındaki dayanımın, birleşim yerinin davranışı üzerinde etkisi olması, düşük dayanımlı malzeme, pik kapasitesini ve yüzeydeki hasarın yerini kontrol ederken, artık kapasitenin bundan etkilenmemesi ve düşey donatı oranındaki artışın, numunelerin hem pik hem de artık kapasitelerinin artmasına neden olması gibi sonuçlar elde edilmiştir [12].

Şekil 4.6'da gösterildiği gibi düşey kesme kuvveti, zahiri sürtünme katsayısı (ø) ve kenedin eğimi ile basınç ve çekme bileşenlerine dönüşür.



Şekil 4.6 Kesme Kenedi

Her bir düşey birleşimdeki kenet sayısına bağlı olarak, düşey kesme kuvvetinden (V) dolayı her bir kenette ortaya çıkan kuvvet, aşağıdaki bileşenlerden oluşur;

$J = V * \sin\alpha$, $C = V * \cos\alpha$ (4.3)

Kenede etkiyen J kuvveti, kesme sürtünmesi kuvveti (R) tarafından karşılanır,

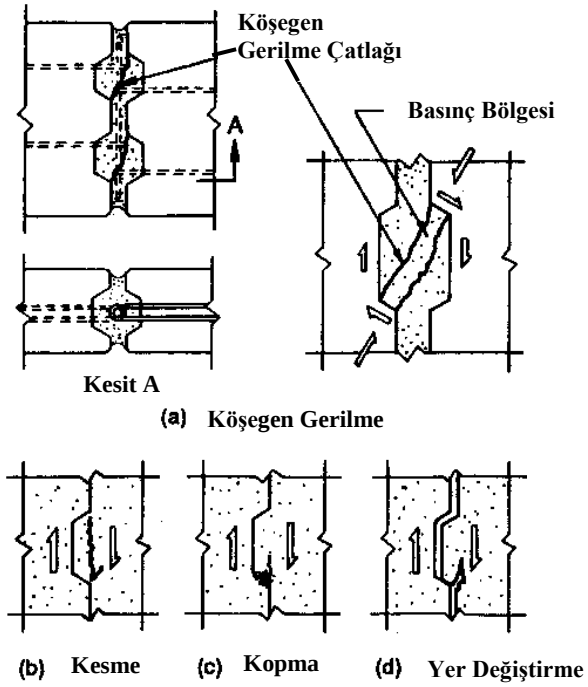
$R = C * \tan\phi$ (4.4)

$\tan\phi = 0.60$ olarak alındığında, J kuvvetinden dolayı kayma oluşmaz, $R > J \quad \alpha \leq 30^0$.

$\alpha > 30^0$ ve $R < J$ olduğunda, T çekme kuvveti oluşmaktadır. Bu da birleşimdeki yatay donatılar tarafından alınmalıdır.

$\Delta T = V * (\tan\alpha - \tan\phi)$ (4.5)

Şekil 4.7'de ise kesme kenedindeki kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 4.7 Kesme Kenedindeki Kuvvetler

4.4.2 Yatay Birleşimler

Taşıyıcı duvarlar ile inşa edilen yapılarda, kat seviyelerinde ve temellerde oluşturulan birleşimlerdir. Panel üstlerinden ve kat döşemelerinin diyafram etkisinden oluşan düşey ve yatay yükler, transfer edilmesi gereken başlıca yüklerdir. Birleşime normal - basınç veya çekme kuvveti, birleşime yatay - yatay kesme

kuvveti, yüzeyde birleşime düşey - düşey kesme kuvveti ve birleşime dikey - döşeme diyaframından basınç veya çekme kuvveti oluşan kuvvetlerdir.

Yatay birleşimler, kuvvet transferi mekanizmalarına göre lineer ve izole edilmiş birleşimler olmak üzere iki grupta toplanabilir.

a) Lineer Birleşimler; birleşim yeri betonunun dayanımı ve sarılması, panel kalınlığının yük genişliğine oranı, panel ucunun kayma dayanımı ve mekanik birleşim detaylarının çekme dayanımı düşey kuvvetlerin transfer kapasitesini kontrol eden etkenlerdir. Yatay yükün transfer kapasitesi ise, kesme sürtünmesi dayanımına, mekanik birleşimlerin yatay kesme dayanımına ve sürtünmeye bağlıdır.

b) İzole Edilmiş Birleşimler; bu tip birleşimlerde, kaynak veya bulon kullanılır. Özellikle kaynaklı birleşimlerde düktiliteyi sağlamak için özen gösterilmelidir.

4.5 Taşıyıcı Panolar Arasındaki Kayma Birleşimleri

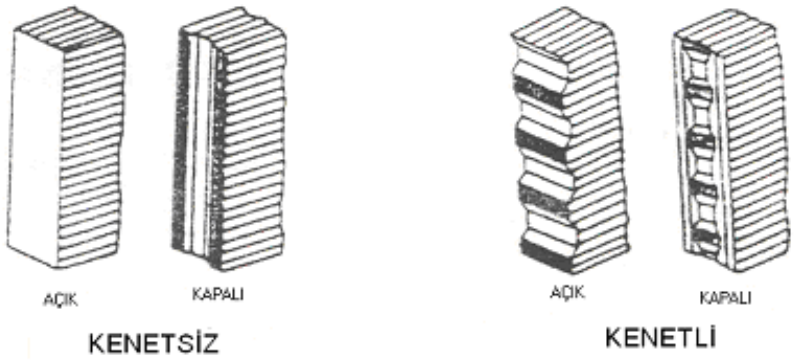
Taşıyıcı duvar panoları ile oluşturulan perdelerde, taşıyıcı duvarlarda ve rijitlik duvarlarında monolitik davranışın gerçekleşebilmesi için, panolar arasındaki düşey ve yatay birleşimlerde kayma olmaması gerekir. Pano kayma birleşimleri, kuru ve ıslak birleşim olmak üzere ikiye ayrılır [3].

4.5.1 Kuru Kayma Birleşimleri

Kuru birleşimlerin yerel olarak doğurduğu büyük etkilerden dolayı, bu tür birleşimler aktarılan kuvvetin küçük olduğu durumlarda tercih edilmelidir. Kuru birleşimlerde birleşen elemanların, birleşen kenarlarının hesapça gereken sayıda yerleştirilen çelik birleşim parçaları, kaynakla birleştirilerek kesme kuvveti aktarılmış olur. Bu tip birleşimlerde, çelik birleşim elemanları pano betonuna iyice kenetlenmeli ve kaynak emniyet gerilmesi %30 azaltılmalıdır. (Taşıma gücü yöntemiyle hesap yapılıyorsa, malzeme katsayısı 1.5 alınmalıdır.)

4.5.2 Islak Kayma Birleşimleri

Panolar arasındaki ıslak kayma birleşimlerinde, birleşen kenar kesitler Şekil 4.8'de görüldüğü gibi kenetsiz ve kenetli olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Her iki durumda da panoların birleşim kenar kesitlerine, kenara dik doğrultuda hesapla bulunan teçhizat filizleri konulur. Bu kayma teçhizatları, kaynak veya fiyonglu bindirme ile eklenebilir.



Şekil 4.8 Panolu Birleşim Kesitleri

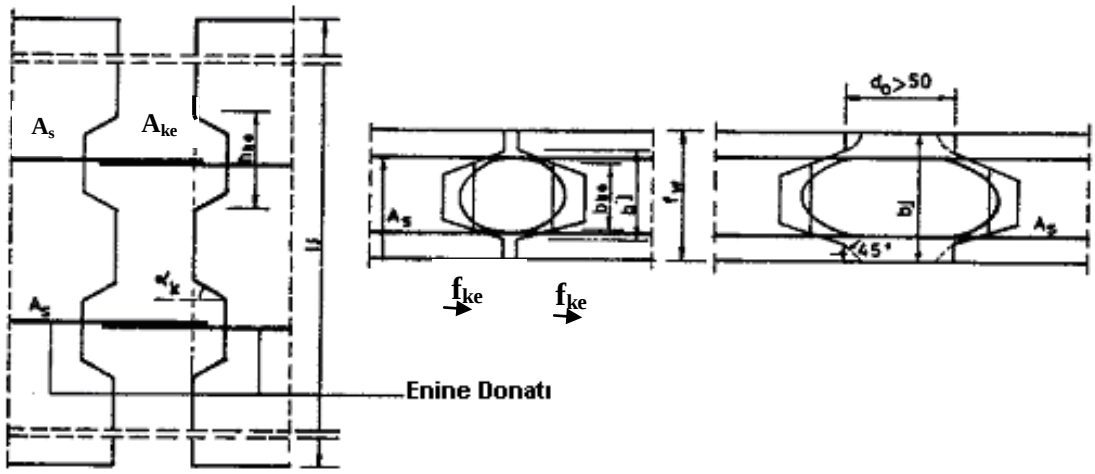
a) Kenetsiz Kayma Birleşimleri:

$$A_{ke} = b_{ke}\, h_{ke}\, n \leq 0.2\, A_j \qquad (4.6)$$

ise, birleşim kenetsiz kabul edilir. Kenetsiz birleşim, yalnız yatay birleşimlerde ve artırılmış kesme kuvvetinin sürtünme kuvvetinden büyük olmadığı durumlarda uygulanmalıdır.

b) Kenetli Kayma Birleşimleri: Kenet sayısının metrede bir veya daha az olması durumunda tekil kenetli; birden daha çok olması durumunda yayılı kenetli birleşim olarak adlandırılır. Deprem etkisinin bulunduğu yapılarda, düşey ekler mutlaka yayılı kenetli olarak yapılmalıdır. Tekil kenetler ancak, aktarılan kesme kuvvetinin büyük olmadığı ve yatay birleşimlerde kullanılabilir.

Şekil 4.9'da gösterilen kenetli ekin geometrisi, $h_{ke} \geq 50$ mm, $t_{ke} \geq 10$ mm, $h_{ke} / t_{ke} < 8$, $\alpha k \leq 30^0$ şartlarını sağlamalıdır.



Şekil 4.9 Kenetli Birleşim Detayı

4.6 Panolar Arasındaki Düşey Kayma Güvenliği

Düşey birleşimde güvenliğin sağlanması için; $V_{res} > \alpha_{er} V_d$ olmalıdır.

$$\omega_s = A_s f_{yk} / A_j f_{cd} \quad (4.7)$$

$$\omega_s \leq 0.15 \text{ iken, } V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 A_s f_{yk} \quad (4.8)$$

$$\omega_s > 0.15 \text{ iken, } V_{res} = \beta_1 (A_{ke} + 0.02 A_j) f_{cd} + \beta_3 A_s f_{yk} \quad (4.9)$$

olarak hesaplanır. ($A_j = b_j l_j$)

Panolar arasındaki düşey kayma taşıma kapasitesi, $V_{res} < 0.30 A_j f_{cd}$ olmalıdır.

Tablo 4.2 β Değerleri

	Yayılı Enine Teçhizat			Konsantre Enine Teçhizat	
Birleşim Türü	β1	β2	β3	β2	β3
Kenetsiz, Düz	0	0.6	0.5	0.5	0.4
Kenetsiz, Pürüzlü	0	0.9	0.75	0.7	0.6
Kenetli	0.07	0.9	0.75	0.9	0.6

Birleşimin üzerinde döşeme varsa, döşeme panoları arasındaki yerinde dökme beton alanı A_{tb}, A_{ke} alanına katılabilir. Ayrıca yayılı kenetli bir köşe birleşiminde kayma teçhizatları yalnız üst ve alt döşeme aralıklarına konmuş bağ çubukları ile sağlanmış ise V_{res} %30 azaltılmalıdır. Tekil kenetler ise, A_{ke} yerine A_j alınarak teçhizatlandırılmalı; teçhizatı olmayan kenetli birleşimler ise kenetsiz kabul edilmelidir. Yerel basınç tahkiki yapmak şartıyla, tekil kenetlerin kayma kuvveti kesme - sürtünme teçhizatıyla arttırılabilir.

Yalnız basınç etkisindeki düşey bir birleşimde kayma teçhizatı oranı, $\omega_s \geq 0.01$ olmalıdır.

A_s kayma teçhizatı, birleşim boyunca eşit olarak dağıtılmalıdır. Ancak, artırılmış kesme kuvvetinin küçük olması durumunda kayma teçhizatı, bu panolara oturan döşemeler arasındaki yatay birleşimin içine de konulabilir. Kayma teçhizatı sürekli olmalı, ekleri "TS 500" de verilen esaslara uygun yapılmalı ve kenetlenme bozulmadan teçhizat akma sınırına erişilmelidir.

Literatürde, panolardaki düşey kayma dayanımı ile ilgili birçok değişik formüllerin bulunduğu görülmektedir. Birçok araştırmacı deneysel veya teorik yollardan,

panoların düşey dayanımı ile ilgili araştırmalar yapmış ve bunların sonucunda da Tablo 4.3'te verilen değişik formüller önermişlerdir [13].

Tablo 4.3 Düşey Dayanım İçin Önerilen Formüller

Araştırmacı	Formül	Uyarı
Ckolewicki	Vu = 0.7 * $f$ct * Ak Vu = 0.9 * $f$ct * Ak + 98.1 * As	Donatısız Birleşim için Donatılı Birleşim için
Hansen et al.	Vu = 0.09 * Ak * fc + As * fy	0.01 < η'< 0.08 fy = 588 MPa 0.2 < Ak / A < 0.5 Yükseklik / Derinlik Kesme Kenedi ≥ 0.8
Chakrabati, Bhise ve Sharma	Vu = 0.291 * As (√ fcu + 392*As/Ak)	Kesme Sürtünmesi Hipotezi
Nimityongskul ve Lin	Vu = 0.073 * Ak * fcu + 0.82*As*fy	
Abdul-Wahab	Vu = 0.3 * As * √ fc + Vd Vd = n * S * d * fc }düşük veya }değerler Vd = 1.3 * n * d * d * √ fc * fy }	Kenetli Birleşimler için
Chakrabati, Nayak ve Paul	Vu = 0.0963*Ak*fcu + 0,5324As*fy Vu = Ak * fcu (0.37 – 0.76 * ηk)	ηk ≥ 0.104 için ηk ≤ 0.104 için
ACI 318-83	Vu = μ * As * fy	Yüzey Birleşim için μ = 0.6 Kenetli Birleşim için μ = 1.0
BS 8110 - 85	Vu = 0.6 * As * fy * tanaf	Yüzey Birleşim için tanaf = 0.7 Kenetli Birleşim için tanaf =1.4
Hashim, AbdulWahab	Vu = 0.0442*Ak*fcu + 0.4901*As*fy Vu = Ak*fcu√(0.17-0.7*ηk)*0,7ηk	ηk ≥ 0.051 için ηk ≤ 0.051 için
TS 9967	Vres = β_1 Ake fcd + β_2 As fyk Vres = β_1(Ake+0,02Aj)fcd+β_3 Asfyk	$\omega s \leq 0.15$ için $\omega s > 0.15$ için

Tablo 4.4'te ise, kat yüksekliği 3000 mm, kenet yüksekliği 100 mm, kenet genişliği 100 mm, birleşim ek genişliği 150 mm, kenet sayısı 15 olan kenetli düşey bir birleşimin 600 kN'luk düşey kesme kuvvetini taşıyabilmesi için, Tablo 4.3'te verilen formüller kullanılarak gereken donatı miktarları gösterilmiştir [14].

Tablo 4.4 Düşey Birleşim İçin Gerekli Donatı Miktarı

Metod	As (mm^2)	12 mm Çaplı Gerekli Donatı
Cholewicki	2071	19
Hansen et al.	256	3
Chakrabati	2013	18
Bhise ve Sharma, Nimityongskul, Lin	194	2
Abdul- Wahab	1696	15
Chakrabati, Nayak, Paul	416	4
ACI 318-83	2222	20
BS 8110	1824	17
Hashim,Abdul-Wahab, Sinan,Sarsam	1277	12
TS 9967	1470	13

4.7 Panolar Arasındaki Yatay Kayma Güvenliği

Panolar arasındaki yatay birleşimlere gelen etkiler; düşey yüklerden gelen basınç kuvveti, yatay yüklerden gelen kesme kuvveti, normal kuvvet ve eğilme momentidir. Bu nedenle yatay pano birleşimlerinin hesabı; yalnız basınç gerilmelerine, yalnız çekme gerilmelerine veya, hem basınç hem çekme gerilmelerine göre yapılmalıdır.

Birleşimdeki pano yatay kesitleri, enine dışmerkezlikler de göz önüne alınarak taşıma gücü metodu ile hesaplanmalıdır. Birleşimlere konulacak kayma teçhizatı, düşey çekme çubukları şeklinde; panonun kenarlarına, pano içine, komşu pano ile düşey birleşim yerlerine ekler yapılmış olarak veya mümkünse, kapı - pencere kenarlarındaki düşey teçhizatların ekleri yapılarak düzenlenmelidir.

Panonun her bir kenarındaki yatay birleşim teçhizatı aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$A_s > 0.0005\, l_w\, t_w \tag{4.10}$$

Yalnız basınç gerilmelerine göre yatay kayma güvenliğinin sağlanmasıyla ilgili olarak, yalnızca basınç etkisindeki birleşimlerde, yatay yüklerden gelen N_d normal yükünün oluşturduğu sürtünme kuvveti hesaba katılmalıdır.

Birleşimin kayma taşıma kapasitesi;

$$V_{res} < 0.30\, A_j\, f_{cd} \tag{4.11}$$

$$\omega_s = A_s\, f_{yk} + N_d / A_j\, f_{cd} \tag{4.12}$$

$\omega_s \leq 0.15$ ise, $V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 (A_s f_{yk} + N_d)$ (4.13)

$\omega_s > 0.15$ ise, $V_{res} = (\beta_1 A_{ke} + 0.02 A_j) f_{cd} + \beta_3 (A_s f_{yk} + N_d)$ (4.14)

olarak hesaplanır. β_1, β_2, β_3 değerleri Tablo 4.2'den alınmalıdır.

$V_d < \mu_s N_d$ ise, $\beta_1 = 0$ alınabilir. (4.15)

N_d'nin çekme olduğu yatay birleşimlerde $N_d < A_s f_{yk}$,

$V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 (A_s f_{yk} - N_d) * [\ 1-N_d / A_s f_{yk}\ ]$ (4.16)

olarak hesaplanır. Çekme gerilmeleri etkisindeki yatay pano birleşimleri mutlaka kenetli yapılmalıdır.

Yatay birleşimler genellikle, deprem gibi yatay kuvvetler altında hem basınç hem de çekme gerilmelerinin etkisine girer. Hem Basınç Hem Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimlerde ise homojen, lineer elastik teori ile hesaplanan normal gerilme diyagramı, yeterli sayıda dikdörtgen bölüme ayrılarak, her bölüme düşen normal kuvvet hesaplanır.

$N_m = t_w \sigma_m a_{jm}$ $(m = 0,1,2,\ldots)$ (4.17)

N_m değerleriyle, duruma uygun V_{res}'ler, (4.13), (4.14) ve (4.16) nolu formüller kullanılarak hesaplanır. Buna göre, birleşimin kayma mukavemeti,

$V_{res} = \Sigma V_{res,\,m}$ dir. (4.18)

Kayma güvenliğinin sağlanması için $V_{res} > \gamma_{er} V_d$ koşulu gerçekleşmelidir ve $\gamma_{er} = 4 / 3$ alınmalıdır.

Hem basınç hem de çekme etkisindeki yatay bir birleşimde çekme bölgesindeki teçhizat alanı,

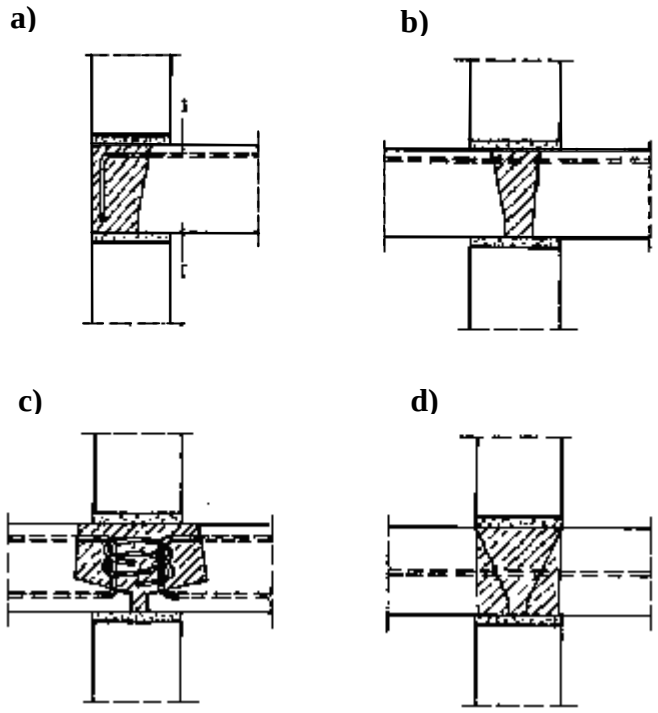
$A_{sç} = N_d / f_{yk} = 0.0005\ l_w\ t_w$ (4.19)

ve (M_d, N_d) ile taşıma gücü yöntemiyle bulunan çekme teçhizatı alanlarının büyüğü kadar olmalıdır.

4.8 Panolar Arasındaki Basınç Birleşimleri

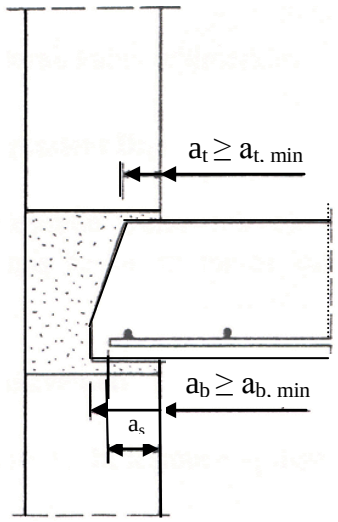
Panolarla yapılan taşıyıcı duvarlarda, bir üst kattaki N düşey kuvvetleri altındaki kata; alt duvar panosuna oturan döşeme panoları ile aralarındaki yerinde dökme beton ve üst duvar panosunun altındaki, alt duvar panosunun üstündeki harç tarafından aktarılırlar. Böyle bir birleşim, panolar arası basınç birleşimi veya "Pano Basınç Birleşimi" olarak adlandırılır.

Pano basınç birleşimleri, birleşimdeki döşeme panosu mesnedinin dönmeye karşı gösterdiği rijitliğe bağlı olarak; sürekli, kısmen sürekli ve serbest birleşimler olarak sınıflandırılır. Mesnet momenti için gerekli teçhizatı olan Şekil 4.10 a) ve b) birleşimleri sürekli birleşimlerdir. Özel helisel teçhizat ile belirli bir oranda dönmeye karşı kısmen rijitliği temin edilmiş, dolayısıyla sınırlı mesnet momenti taşıyabilen ve c)'de gösterilmiş birleşim, kısmen sürekli ve mesnet momenti teçhizatı olmayan, d)'de gösterilmiş birleşim ise, serbest birleşim olarak adlandırılırlar.



Şekil 4.10 Birleşim Kontrol Kesitleri

Pano basınç birleşimlerindeki sınırlamalarla ilgili olarak, döşeme alt teçhizatının a_s aderans boyu, hasır teçhizat halinde, kayma teçhizatı yoksa 4ø'den az olmamalıdır. Şekil 4.11'deki döşeme panosunun duvar panosu üstüne oturması durumunda ise ($a_{b,min}$) için standarttaki esaslar geçerlidir.



Şekil 4.11 Kenetleme Boyu İçin Kesit

Duvar panosu mesnedinde, kesme kuvveti hesap değeri V_{fd},

$$V_{fd} \leq 0.25\, f_{ctd}\, \chi\, (1 + 50\rho)\, b.d \qquad (4.20)$$

ise, mesnette kayma teçhizatına gerek yoktur. Döşeme panosu üst kenarının duvar panosu altına girdiği durumlarda, birleşim sürekli değilse, a_t en az; duvar panolarının enine teçhizatı yoksa, a_t,min = 40 mm ve duvar panolarının enine teçhizatı varsa, a_t,min = 30 mm olmalıdır.

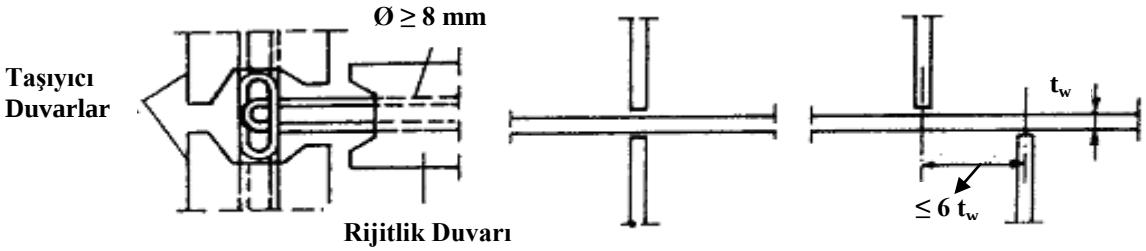
Döşeme panolarının, üst teçhizat için filizleri varsa a_t, bu filizlerin sonuna kadar olan boy olarak kabul edilebilir. Serbest birleşim durumunda ise a_t sıfır olarak kabul edilmelidir.

Duvarlar, kenarlarının duvar düzlemine dik yer değiştirmelerine engel olmak için döşemeler, ara taşıyıcı duvarlar, rijitlik duvarları veya yeterli rijitliğe sahip benzer yapı elemanlarıyla iki, üç veya dört kenarından tutturulmalıdır. Taşıyıcı duvarlar, kendilerini rijitleştiren duvarlara, kuru veya ıslak bağlantıyla, h / 3'te ve 2h / 3'te olmak üzere en az iki noktada bağlanmalıdır. Her bir bağlantı;

$$T = N_r * h / 30 \qquad (4.21)$$

değerinde bir çekme kuvvetine göre hesaplanmalı ve ıslak birleşimlerde teçhizat çapı en az 8 mm olmalıdır. Teçhizat eki fiyong veya kaynakla yapılabilir.

Şekil 4.12'deki taşıyıcı duvarların iki taraftan aynı yerde kendisine dik iki rijitlik duvarı veya aralıkları taşıyıcı duvar kalınlığının en fazla 6 katı olan şaşırtılmış rijitlik duvarları ile tutulduğu yerlerde, derzlere teçhizat konmayabilir.

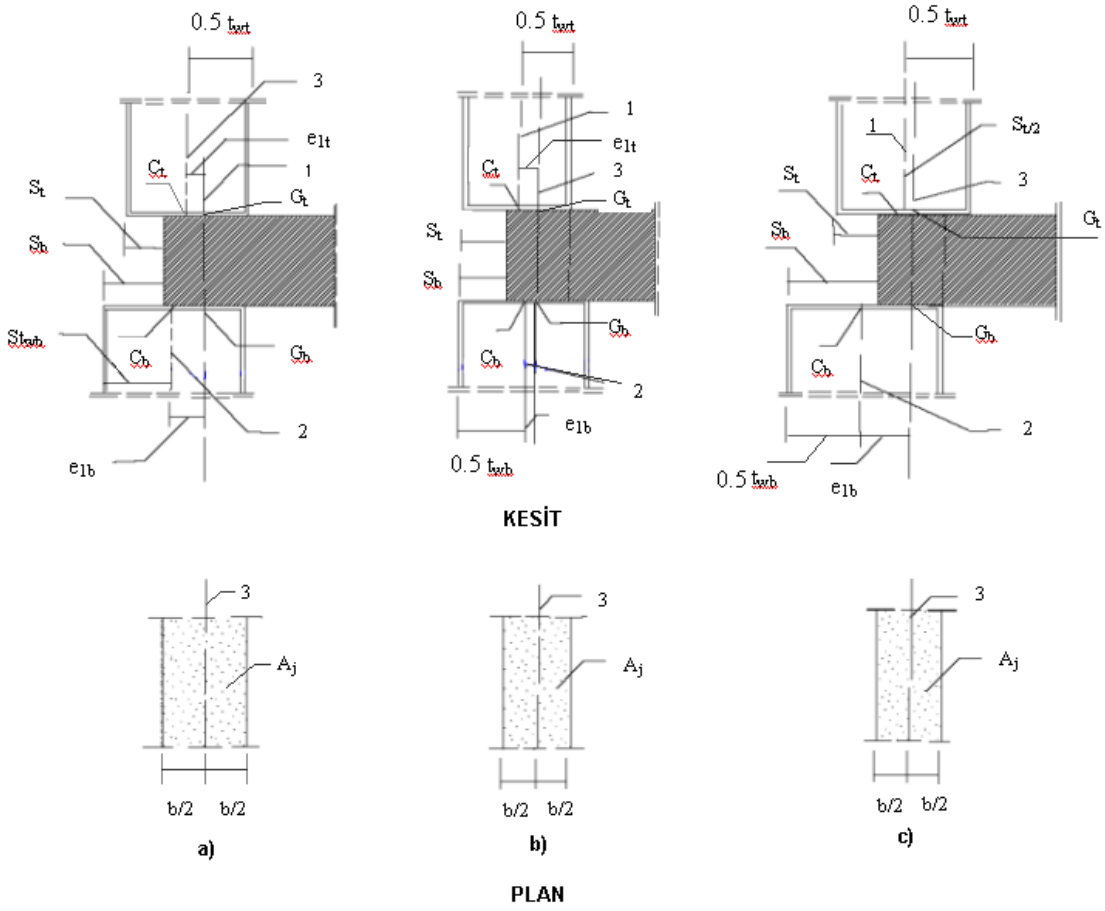


Şekil 4.12 Taşıyıcı Duvar - Rijitlik Duvarı Birleşimi

4.9 Birleşimlerdeki ve Duvar Panosundaki Dışmerkezlikler

Birleşim ve mesnetlerde, yapım ve montaj hatalarından doğan ek yük etkileri, söz konusu elemanlar için panonun kendi bünyesinde ve birleşimde bulunabilecek dışmerkezliklerle hesaba katılır. Bulunacak dışmerkezliklerle ilgili hesaplar için, doğruluğu kabul edilmiş başka bir metot kullanılmadıkça, aşağıda verilen metot kullanılabilir [3].

Pano basınç birleşimlerinde, döşeme panosunun üst duvar panosundan alt duvar panosuna düşey yük aktaran bölümü, tabanı, duvar panolarının taşıyıcı tabakaları ile döşeme panosu kenarlarının yatay bir düzlemde belirttikleri ortak alan ve yüksekliği döşeme panosunun yüksekliği olarak kabul edilen prizma Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.13 Birleşimdeki ve Duvar Panosundaki Dışmerkezlikler

(1) düşey ekseni, üst pano taşıyıcı kısım kesiti eksenini; (2) düşey ekseni alt pano taşıyıcı kısım kesiti eksenini; (3) düşey ekseni, yük aktaran prizma kesiti eksenini; t, b indisleri sırasıyla üst ve alt panoya ait büyüklükleri,

G_t, G_b sırasıyla prizma ekseninin üst ve alt noktalarını,

C_t, C_b sırasıyla üst ve alt pano taşıyıcı kısım eksenlerinin prizma üst ve alt tabanlarını kestiği noktaları,

S_t, S_b sırasıyla üst ve alt pano taşıyıcı kısımlarının dış kenarlarının döşeme panosu dış kenarına uzaklıklarını,

t_w duvar panosu taşıyıcı tabaka kalınlığını ve A_j aktarma prizması enkesit alanını ifade etmektedir.

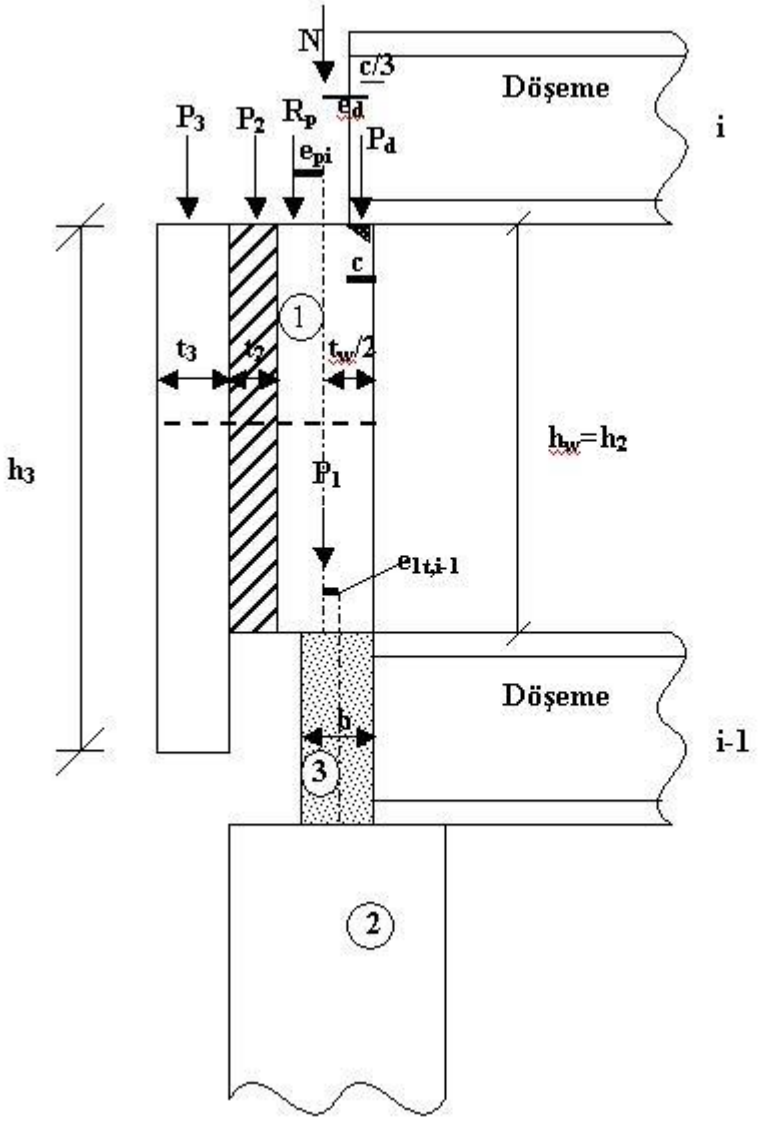
Üst taşıyıcı düzlemle prizma ve alt taşıyıcı düzlemle prizma eksenlerinin üst üste gelmemesi nedeniyle G_t - C_t = e_{1t} ve G_b - C_b = e_{1b} uzaklıkları sırasıyla, üst duvar alt ve prizma üst kesitinde; alt duvar üst ve prizma alt kesitinde oluşan dışmerkezlikleri ifade eder. Ancak söz konusu dışmerkezliklerin; yerleştirmede beklenmeyen e_s gibi,

üst duvar panosundaki düşey yüklerin bileşkesinin taşıyıcı tabaka ekseni olan (1) ekseni dışında etkimesi sebebiyle e_{2t} gibi ve pano orta düzleminde e_3 gibi hataları mevcuttur.

e_s; üst pano yerleştirilirken alt kısım görülebiliyorsa 10 mm, görülemiyorsa 15 mm ve ayarlama bulonu olan panolarda da 5 mm kadardır.

e_3; iki tabaka duvar panolarında 0.03 t_w; üç tabaka duvar panolarında ise 0.04 t_w kadardır. Aşağıda, sırasıyla üç tabakalı ve tek tabakalı duvar panosundaki dışmerkezliklerin hesabına ilişkin sayısal uygulamalar verilmiştir.

ÖRNEK 1)



Şekil 4.14 Üç Tabakalı Duvar Panosu

t_w = 100 mm, t_2 = 30 mm, t_3 = 70mm, b = 75 mm, c = 50 mm; h_w = h_2 = 2500 mm, h_3 = 2700 mm, l = 2.4 m (Pano uzunluğu), N = 56 t = 560 kN ve P_d = 2.16 t = 21.6 kN olduğuna göre, duvar panosunun stabilite hesabında kullanılacak olan e_0 dışmerkezliği aşağıdaki hesaplamalarla bulunmuştur.

Pano katlarının zati ağırlıkları;

$P_1 = 0.1 * 2.5 * 2.4 * 2.5 = 1.5$ t

$P_2 = 0.03 * 2.5 * 2.4 * 0.03 = 0.0054$ t

$P_3 = 0.07 * 2.7 * 2.4 * 2.5 = 1.134$ t olarak hesaplanır.

$e_{1t,i-1} = (t_w / 2) - (b / 2) = 50 - 37.5 = 12.5$ mm, $c / 3 = 50 / 3 = 16.7$ mm ≈ 17 mm

$e_d = (t_w / 2) - (c / 3) = 50 - 17 = 33$ mm bulunur.

Bileşke ağırlık olarak ifade edilen Rp ise;

$$Rp = P_3 + P_2 + P_d \quad (4.22)$$

toplamından, 3.299 t olarak hesaplanır. (1.134 + 0.0054 + 2.16)

Daha sonra pano iç kenarına göre moment alınarak;

ep = [(1.134 * 165) + (0.0054 * 115) + [2.16 * (50 / 3)]] / 3.299 = 67.8 mm olarak bulunur. Bileşke ağırlığın dışmerkezliği e_{pi};

$e_{pi} = e_p - (t_w / 2) = 67.8 - 50 = 17.8$ mm.

Duvar panosunun i'ci kat kesitinde dışmerkezlik $e_{2t,i}$;

$$e_{2t,i} = (R_p * e_{pi}) / (N + R_p) \quad (4.23)$$

bağıntısı yardımıyla, 1 mm bulunur. (3.299 * 17.8) / (56 + 3.299)

Panonun (i-1)'ci kat kesitinde, ilave yüklerden doğan dışmerkezlik $e_{2t,i-1}$ ise ;

$$e_{2t,i-1} = (Rp * epi) / (N + R_p + P_i) \quad (4.24)$$

= (3.299 * 17.8) / (56 + 3.299 + 1.5) = 0.97 mm olarak bulunur.

Panolarda ayarlama bulonu olduğundan, yerleştirmede beklenmeyen e_s hatası 5 mm alınacaktır. Üç tabakalı duvar panolarında, pano orta düzlemindeki e_3 hatası;

$e_3 = + 0.04 * t_w = 0.04 * 100 = 4$ mm bulunur.

Panonun üst kesitinde dışmerkezlik e_i; bu örnekte $e_{1t,i} = 0$ olduğundan,

$$e_i = e_{1t,i} + e_{2t,i} + e_3 \quad (4.25)$$

toplamından 5 mm olarak alınır. (0 + 1 + 4)

Panonun (i-1)'ci kattaki, alt kesitindeki dışmerkezlik e_{i-1};

$e_{i-1} = e_{1t,i-1} + e_{2t,i-1} + e_s + e_3 = 12.5 + 0.97 + 5 + 4 = 22.47$ mm ≈ 22 mm bulunur.

Pano altındaki basınç birleşiminin hesabında bu e_{i-1} dışmerkezliği göz önüne alınmalıdır. Duvar panosunun yüksekliğinin orta kısmında da e_0 ile gösterilen bir dışmerkezlik mevcuttur.

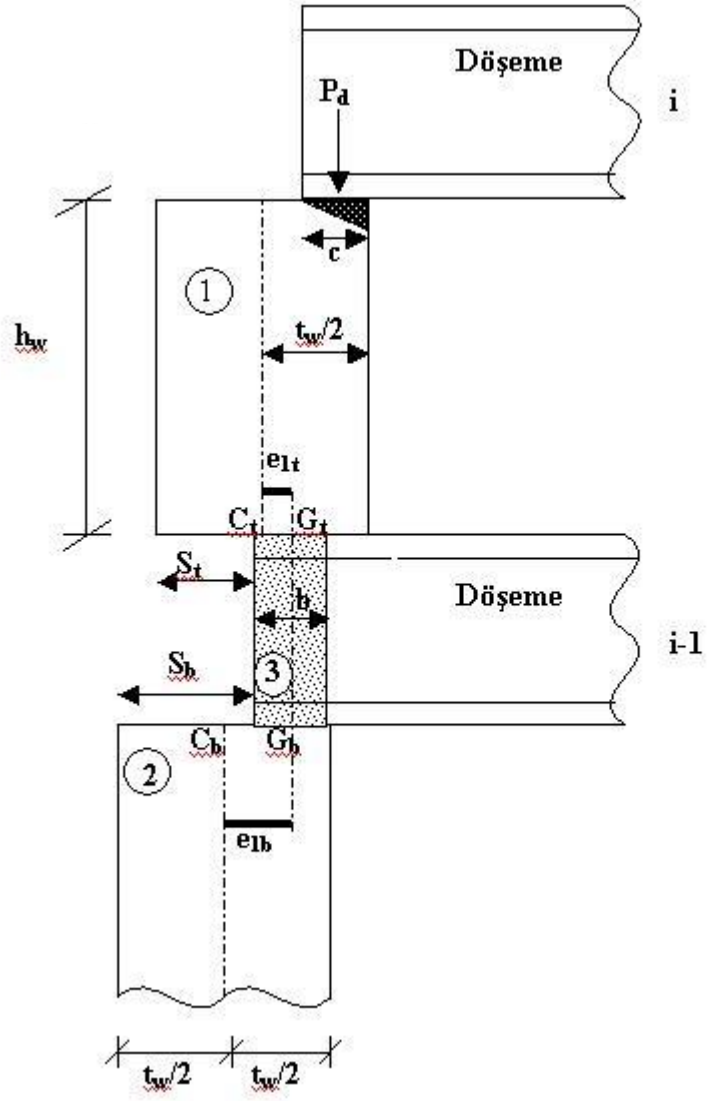
$$e_0 = [0.3 (e^2_i + e^2_{i-1}) + 0.4 * e_i * e_{i-1}]^{1/2} + e_k + e_z \quad (4.26)$$

Duvarın (1) ekseninin yerinde olmamasından ortaya çıkan, beklenmeyen hata e_k;

$e_k = 0.002 * h_w = 0.002 * 2500 = 5$ mm olarak bulunduktan sonra,

$e_0 = [0.3 (5^2 + 22.47^2) + 0.4 * 5 * 22.47]^{1/2} + 5 + 0 = 19.28$ mm ≈ 19 mm olarak hesaplanır. (Pano düzlemine dik deprem etkilerinin doğurduğu e_z dışmerkezliği burada göz önüne alınmamıştır.)

ÖRNEK 2)



Şekil 4.15 Tek Tabakalı Duvar Panosu

tw = 200 mm, hw = 2.5 m, l = 2.4 m (Pano uzunluğu); Ct = 100 mm, Cb = 100 mm, St = 75 mm, Sb = 125 mm, Gt = 87.5 mm, Gb = 37.5 mm, b = 75 mm, Pd = 2.16 t, N = 56 t ve c = 50 mm olduğuna göre, duvar panosunun stabilite hesabında kullanılacak olan e_0 dışmerkezliği aşağıdaki hesaplamalarla bulunmuştur.

$e_{1t} = C_t - G_t = 100 - 87.5 = 12.5$ mm ve $e_{1b} = C_b - G_b = 100 - 37.5 = 62.5$ mm olarak bulunur.

$P_1 = 0.2 * 2.5 * 2.4 * 2.5 = 3$ t; duvar panosu tek tabakalı olduğundan bileşke ağırlık, $R_p = P_d = 2.16$ t alınır. Bileşke ağırlığın dışmerkezliği e_{pi};

$e_{pi} = (t_w / 2) - (c / 3) = (200 / 2) - (50 / 3) = 83.3$, yaklaşık 83 mm olarak alınabilir. Kat kesitindeki dışmerkezlikler ise;

$e_{2t,i} = (R_p * e_{pi}) / (N + R_p) = (2.16 * 83) / (56 + 2.16) = 3$ mm,

$e_{2t,i-1} = (Rp * epi) / (N + R_p + P_i) = (2.16 * 83) / (56 + 2.16 + 3) = 2.93$ mm olarak bulunurlar.

$e_s = 5$ mm, $e_3 = 0$; $e_i = e_{1t,i} + e_{2t,i} + e_3 = 0 + 3 + 0 = 3$ mm

$e_{i-1} = e_{1t,i-1} + e_{2t,i-1} + e_s + e_3 = 12.5 + 2.93 + 5 + 0 = 14.57$ mm şeklinde bulunduktan sonra;

$e_0 = [0.3 (3^2 + 14.57^2) + 0.4 * 3 * 14.57]^{1/2} + 5 + 0 = 14.16$ mm $\approx$ 14 mm olarak hesaplanır.

4.10 Duvar Panosunun Burkulmasının Önlenmesi

Duvar panosu; yalnız düşey yük, pano düzlemine dik yatay yük (deprem veya rüzgar) ve bu yükleme grubundaki düşey yük, pano düzlemi içinde yatay yük (deprem veya rüzgar) ve bu yükleme grubundaki düşey yük etkimesi durumlarının her üçünde de burkulmamalıdır. Düşey yükler ile beraber panodaki dışmerkezliklerin göz önüne alınması gereklidir. Duvar panosunun burkulma hesabı, doğruluğu kanıtlanmış başka bir metotla yapılmadıkça aşağıdaki esaslarla yapılabilir.

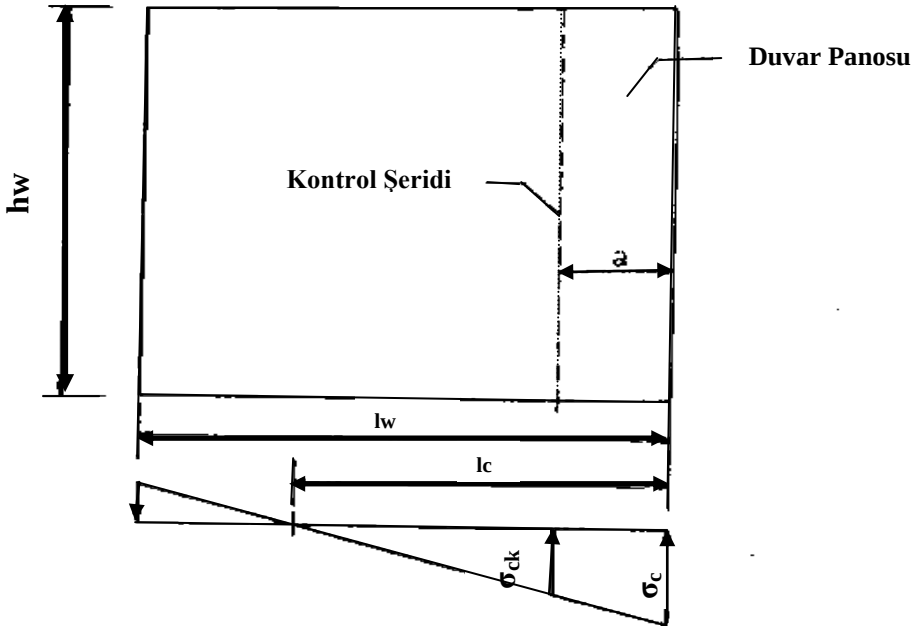
Duvar panoları, üst ve alt yatay kenarlarından her zaman tutuludur. Düşey kenarların bazen ikisi bazen birisi tutulmuş olabilir. Bazı durumlarda iki düşey kenar da serbesttir. Düşey kenarların tutulma sayısı ise burkulma yüküne etkir.

Şekil 4.16'daki burkulma kontrolünde hesaba esas birim genişlikli şerit, pano alt kenarında normal gerilmelerin uniform olmadığı durumlarda;

a) Yalnız bir düşey kenarı tutulmuş panolarda serbest kenarında,

b) Her iki düşey kenarı tutulmuş panolarda, pano genişliğinin ortasında,

c) Her iki kenarın serbest olması durumunda, büyük basınç gerilmesine maruz düşey kenardan "a" kadar içeride alınmalıdır.



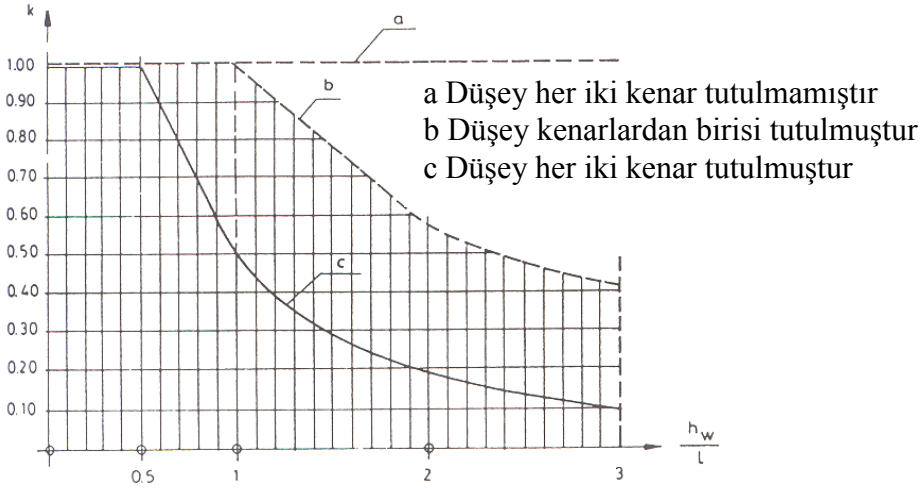
Şekil 4.16 Burkulma Kontrol Şeridi

h_w; duvar panosu yüksekliğini, l_c; pano alt kenarında basınç bölgesi uzunluğunu ve a; h_w / 3, l_c / 3 değerlerinin küçüğünü ifade eder.

Burkulma boyu h_k;

$$h_k = k * h_w \tag{4.27}$$

olarak bulunur ve k katsayısı "Şekil 4.17" den alınabilir.



Şekil 4.17 k Katsayıları

Söz konusu şeritte, normal kuvvet pano alt kenarındaki gerilme diyagramından σ_{ck} ile $N_1 = 1 * t_w * \sigma_{ck}$ (4.28)
olarak hesaplanır. t_w; pano kalınlığıdır.

Pano ortasındaki e_0 dışmerkezliği ile birinci mertebe momenti aşağıdaki formülle hesaplanır.

$M_0 = e_0 * N_1$ (4.29)

Eğilme rijitliği olarak;

$EI = [(E_c * I_c / 5) + (E_s * I_s)] / (1 + R_m)$ (4.30)
alınarak stabilite kontrolü yapılır ve bulunan teçhizat, bütün duvar genişliğince konur.

5. PREFABRİKE PANOLU YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI

Depreme dayanıklı yapı tasarımında uygulanan ilke, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içinde kalarak; orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek şiddetli depremleri, büyük hasarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmaksızın karşılayabilmesidir [15]. Prefabrike pano ve diğer tip 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 enerjisi tüketme gücü azdır. Yerinde dökme betonarme yapılarda sünek davranış, betona tam bir aderans ile 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 uygun değildir [16].

Donatıların ek yerinde kaynaksız ya da bulonsuz olarak basit biçimde bindirilip betonlandığı birleşimlerde betonun ezilmesi ile aderans yok olur ve donatının kuvvet aktarması olmaz. Ek yeri betonunun enine donatı (etriye) ile kısıtlanarak çatlayıp

parçalanmasını önlemek için geniş kesitli beton sınır elemanları yapımı, prefabrikenin yerinde dökme beton ihtiyacını artırır. Ayrıca panolu yapılarda, alt ve üst duvar panoları ile döşeme panolarının birleştiği yerde kesme ve basınç gerilmeleri taşıma gücü, birleşen elemanlara göre zayıf olur. Yerinde dökme perde duvarlı yapılarda, perde uçlarının daha geniş (dişli) olarak yapılması düktilite açısından olumlu olmaktadır. Yapılan deneyler ve analitik değerlendirmeler; prefabrike yapıların yatay ek yerlerinin M - Ø ilişkisinin, yerinde dökme betonarme yapıların benzer ek yerlerine göre daha düşük düzeyde enerji tüketme gücünde olduğunu ve prefabrike panolu yapıların yatay ek yerlerinde, yatay deprem yükleri altında kalıcı kaymaların olabileceğini ve bu tür kaymaların giderek yapının stabilitesini tehlikeye sokabileceğini göstermiştir.

Prefabrike yapılarda, kolon - kiriş ve pano - pano arasındaki birleşim yerlerinin moment ve kesme kuvvetlerini aktarma biçimleri değişiktir. Sistemlerin davranışlarının farklı oluşu karşısında prefabrike yapıların depreme dayanıklı tasarımında değişik yaklaşımların kullanılması gerekir. Prefabrike panolu yapılar da, yatay ve düşey ek yerlerinin taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitelerine göre değişik davranışlar gösterdiğinden, bu davranışlara göre tasarım yaklaşımları oluşturulmuştur. Prefabrike yapıların ek yerleri bir bakıma, yerinde dökme yapıların rijit ek yerlerine göre önceden çatlamış ek yeri olarak nitelenir. Özellikle prefabrike panolu yapılarda, yatay ve düşey ek yerlerinin deprem yükleri altındaki davranışları bu tür yapıların tasarımında en belirgin unsurlardır. Prefabrike panolu yapıların depreme dayanıklı olması için, yerinde dökme perde duvarlı yapılar kadar monolitik, sünek ve rijit yapılmalıdır. Bu sayede yapıda, yerinde dökme betonarme yapı kadar düktilite sağlanmış olur. Prefabrike panolu bir yapının hiç hasar görmeden elastik bölgede kalacak şekilde yatay yük taşıma gücünde olması, bu yapının depremde oluşabilecek en büyük yatay yüke elastik olarak karşı koyacak biçimde tasarlandığı anlamına gelir. Yapıyı oluşturan panolar arasındaki yatay ve düşey birleşim yerlerinin davranışına bağlı tasarım da, depreme dayanıklılık açısından göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bölümde prefabrike panolu yapılarda, depreme dayanıklı tasarım yaklaşımları, değişik araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalar, prefabrike panolu yapılarda gözlenen deprem hasarları ve prefabrike panolu yapıların onarım ve güçlendirilmesi ele alınmıştır.

5.1 Monolitik Yapı Tasarımı

Prefabrike yapının aynen düktil yerinde dökme betonarme perde duvarlı yapıların davranışına benzer davranışa sahip olması, monolitik yapı tasarımının amacıdır. Bu tasarım yaklaşımında;

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 katlarında mafsallaşmanın olduğu yerde kesme donatıları, betonun kesme kuvveti taşımaya katkısı olmayacak şekilde hesaplanmalıdır.

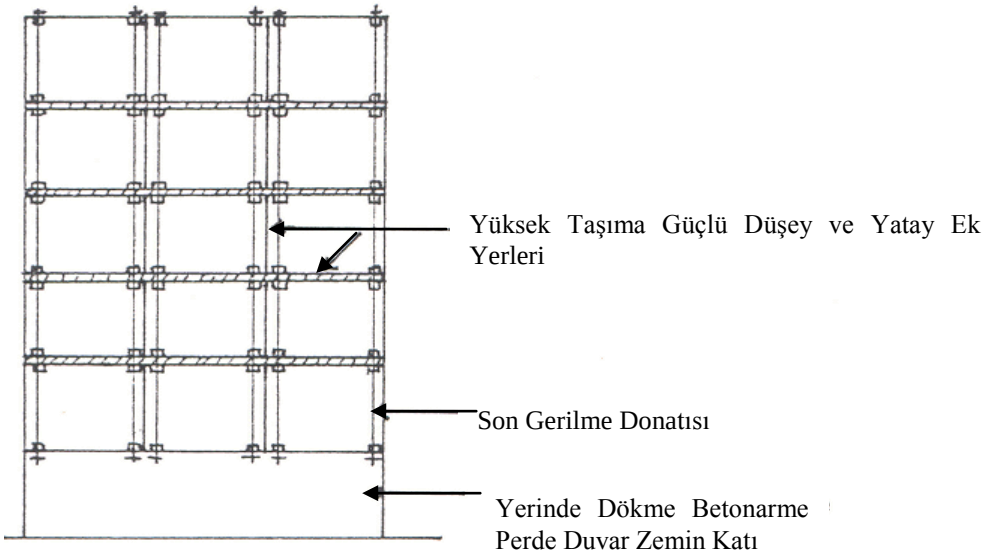
d) Duvar panolarının temelden kaymasını önleyecek biçimde özellikle alt katlarda yatay birleşim yerlerine yayılı kesme donatıları konmalı ve donatıların temelden ankrajı uygun biçimde sağlanmalıdır.

Yukarıdaki maddeler ışığında, Şekil 5.1'deki monolitik prefabrike yapı tasarımı için aşağıdaki çözümler uygulanabilir;

a) Yapının ilk birkaç katının yerinde dökme betonarme olarak yapılması,

b) Döşemelerin yerinde dökme betonarme olarak yapılması,

c) Bütün duvar panolarının temele ankrajlı çubuklarla son gerilme ile birbirine bağlanması.



Şekil 5.1 Prefabrike Panolu Yapıların, Yerinde Dökme Betonarme Perde Duvarlar Gibi Davranmasını Sağlayacak Ayrıntılar

5.2 Depremde Elastik Kalmayı Sağlayan Tasarım

Yapının ekonomik ömrü içerisinde maruz kalacağı en şiddetli depremde herhangi bir çatlağın ve kalıcı deformasyonun oluşmaması, elastik davranması istenen yapılardaki amaçtır. Yapının herhangi bir yerinde sünek davranış beklentisi yoktur ve bu yapının oluşabilecek en büyük kuvvetlere hiçbir hasar görmeden karşı koyması beklenir. Bu tür davranışın sağlanabilmesi için yatay hesap kuvvetleri oldukça büyük seçilmeli, normal yerinde dökme sünek betonarme yapılara göre en az 2 - 3 kat daha büyük alınmalı, panolar 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, aynı şekilde düşey birleşim yerlerinin de çatlamayacak biçimde tasarlanması gerekmektedir.

5.3 Yatay Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı

Alt ve üst uçları pürüzsüz olan ve ek yerinde bağlanan 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 ulaşabilir. Ayrıca kaymaların duvar düzlemi dışına doğru olabilme tehlikesi de vardır. Bu durumlar yapının güvenliğini tehlikeye sokar. Büyük kalıcı

kaymalar, yapıda ikinci mertebeden momentler meydana getirebileceğinden temelde ve katlarda önemli ek devrilme momentleri oluşabilecektir. Yatay ek yerlerinin aynı zamanda düşey yük taşıyan yerler olması, bu ek yerlerini kritikleştirmekte ve kritik bir yerde de kalıcı kaymalar yaparak deprem enerjisinin tüketimi güvenilir görünmemektedir.

5.4 Düşey Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı

Günümüzde uygulanan prefabrike panolu yapılarda genellikle yatay ek yerleri düşey ek yerlerinden daha güçlü olmaktadır. Yatay ek yerlerine etkiyen düşey yükler buralarda bir tür son gerilme etkisi yaratarak, ek yerinin kesme kuvveti ve moment taşıma gücünü artırır. Deneysel çalışmalar da, düşey yük altında olan yatay ek yerlerinin daha büyük kesme kuvveti taşıma kapasitesine sahip olduklarını göstermektedir. Düşey ek yerlerinde, ek yerine 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 oluştuğu şeklindedir. Özellikle panoların kenarlarına yakın yerlerde açılmış olan kapı ve pencere boşlukları, bu tür çatlakların oluştuğu yerlere örnek olarak verilebilir. Bu gibi panoların düşey bağlantılarının zayıf olması sonucu, düşey ek yerlerinde depremin hemen başında olan çatlamalar üst üste dizilmiş paralel pano sıraları arasında büyük sürtünme kuvvetleri oluştururken, önemli miktarda da enerji tüketilebilmektedir. Şekil 5.2'de prefabrike panolu sistemlerin tasarım seçeneklerine göre deprem davranışları verilmiştir.

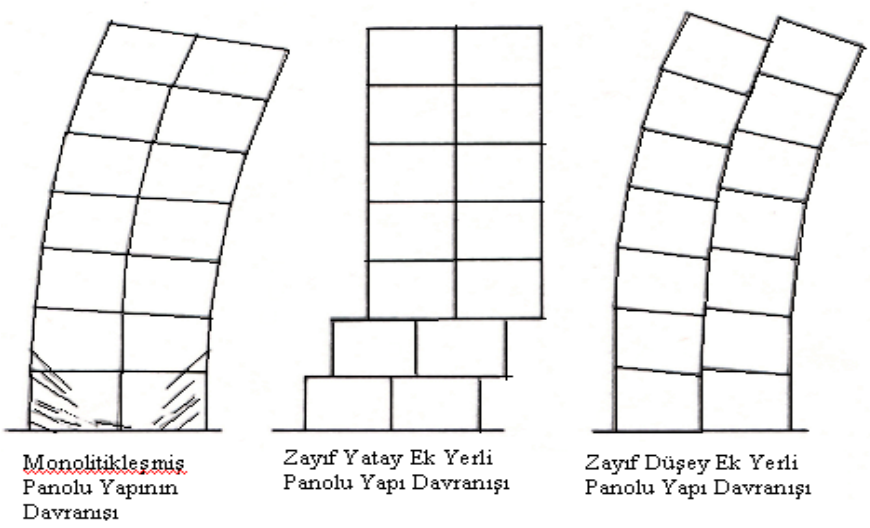
Bu yapılar genel olarak incelendiğinde şu sonuçlara varılır;

a) 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 deneysel olarak da saptanmıştır.

b) 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 kat kadar daha büyük yatay kuvvetlere göre tasarlanmasını gerektirebilir.

c) Depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli bir başka faktör de döşemelerdir. Döşemeler kendi düzlemleri içindeki kuvvetlere karşı çok rijit olduklarından, yatay yükleri düşey elemanlara rijitlikleri ile orantılı dağıttıkları kabul edilir. Prefabrike

döşeme plaklı yapılarda da bunun gerçekleştirilmesi için döşeme plak elemanlarının birbirlerine bağlanmaları gerekir. Bu plakların birbirine son gerilme ile bağlanması ya da üzerlerine 3 - 5 cm kalınlığında bir tabliye dökülerek monolitik özelliğe sahip olmaları gerekmektedir.



Şekil 5.2 Prefabrike Panolu Yapıların Deprem Davranışları

5.5 Prefabrike Pano ve Ek Yerleri Üzerinde Yapılmış Deneyler

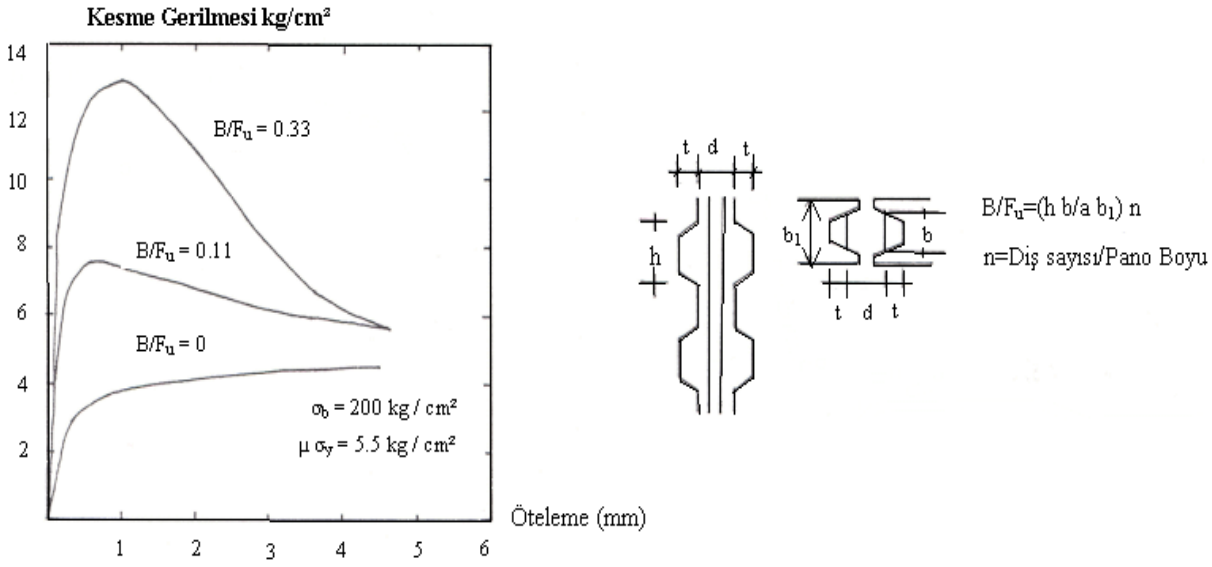
Prefabrike yapıların deprem davranışlarının önceden bilinmesi ve önlem alınması konusu, prefabrike yapı sistemlerinin yaygın olarak kullanıldığı deprem bölgelerindeki ülkelerde, deneysel çalışmalar yapılmasını gerektirmiştir. Özellikle ek yerlerinin deprem yüklerine benzer yükler altında denenmesi, depreme dayanıklı prefabrike yapı tasarımı için önemlidir.

Burada, çoğunlukla prefabrike panolu yapılardaki yatay ve düşey ek yerleri üzerinde yapılan yükleme deneyleri ele alınmıştır. Kimi deneylerde statik yükleme, kimisinde ise dinamik yükleme ile ek yerinin taşıyabileceği kesme gerilmesi ya da kesme kuvvetinin ek yerinin kenetli, düz, donatılı ve donatısız olması, donatının bağlanma biçimi ve ek yerine dik gelen kuvvetler gibi parametreler altındaki değişimleri incelenmiştir.

5.5.1 Statik Deneyler

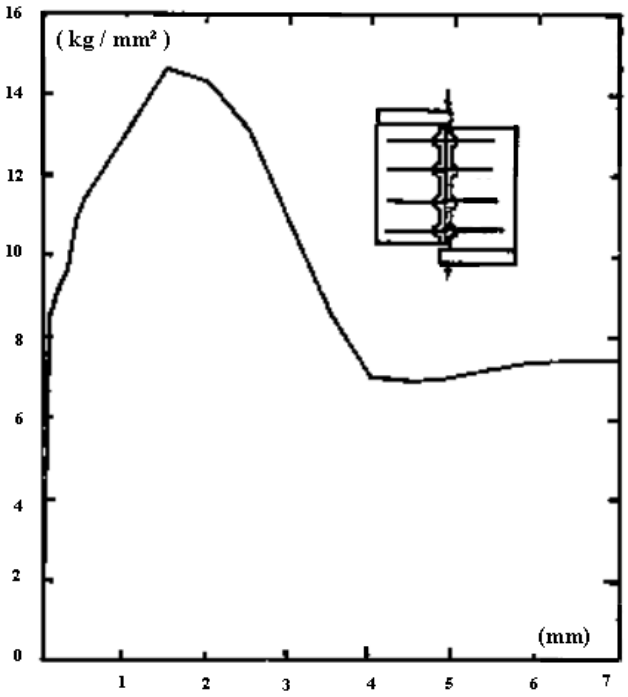
Mehlhorn ve Scwhing tarafından gerçekleştirilen deneylerde ek yerinin kenetli ve kenetsiz olması ve ek yerinde boyuna donatı olması halinde ek yerinde oluşan kesme gerilmeleri ve ek yerinin deformasyonları arasında Şekil 5.3'te verilen ilişki

bulunmuştur [7]. Burada B / F_u ek yerindeki kenetlerin boyunun, toplam ek yeri boyuna oranıdır. Şekil 5.3'te görüldüğü gibi panoların birbirlerine kenetli olarak birleştirilmesi, yüklemenin başlangıcında kesme gerilmesi kapasitesini önemli oranda artırır. Ancak panolar arasındaki ötelemenin artması ile kenetlerdeki beton kırılır ve kesme kapasitesi hızla azalır. Başlangıçtaki kesme kenetlerinin taşıma gücü, bunların tahribi ile giderek yok olur ve ek yerinin kesme direnci büyük ölçüde yüzeyler arasındaki sürtünmeye bağlanır. Şekil 5.3'te gösterilen σ_b, ek yerindeki betonun basınç dayanımını; $\mu\sigma_y$ ise ek yerindeki donatı yüzdesi ile donatı akma dayanımının çarpımını gösterir.



Şekil 5.3 Kesme Kenetlerinin, Kesme Gerilmesi Taşıma Gücüne Etkisi

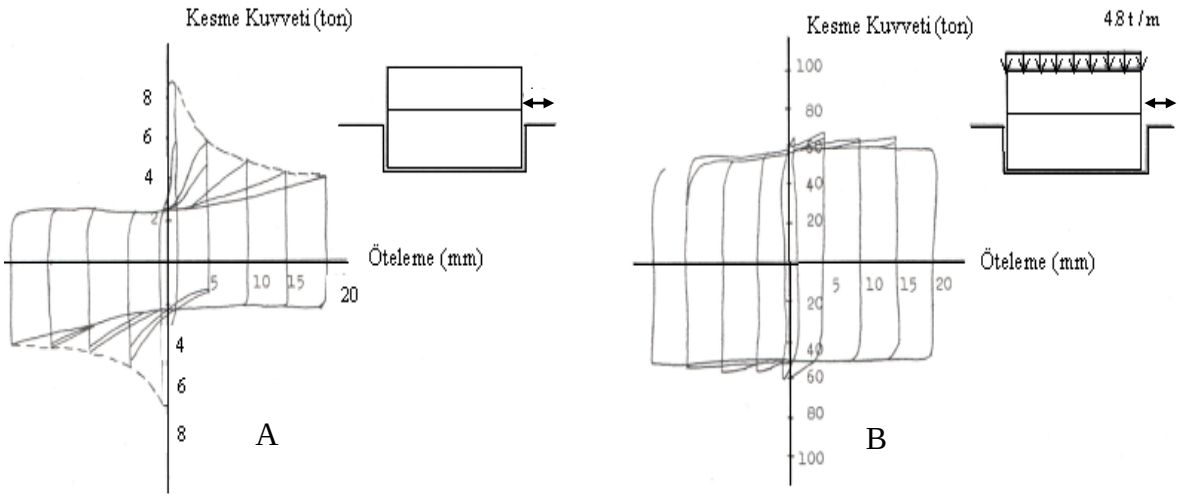
Tassion ve Tsoukantas ise yaptıkları çalışmada ek yerlerinin statik yükleme altında kesme dayanımı - öteleme konusunda Şekil 5.4'te verilen ve Mehlhorn ve Scwhing tarafından çıkarılan ilişkiye benzer bir ilişki çıkarmışlardır.



Şekil 5.4 Donatılı Ek Yerlerinin Kesme Dayanımı

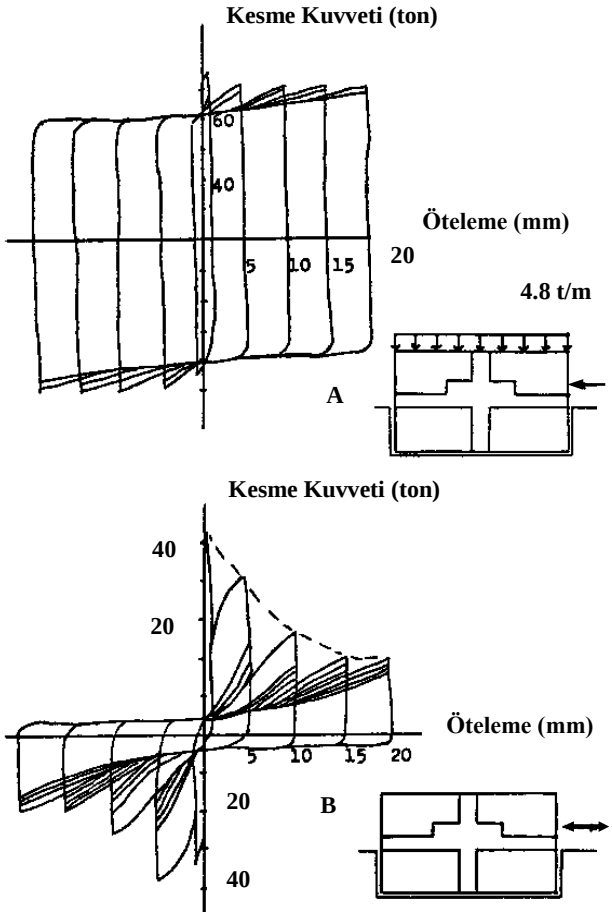
5.5.2 Dinamik ve Yönü Değişen Yükleme Deneyleri

Verbic ve Terzic tarafından, değişik türdeki pano ek yerleri üzerinde dört farklı birleşim yeri kullanılarak dinamik ve tersinir yükleme deneyleri yapılmıştır. Şekil 5.5'te iki düşey pano arasındaki yatay birleşim yerinde yalnızca harç vardır. Şekil 5.5 (B)'deki panolar, Şekil 5.5 (A)'daki gibi olup bu deneyde panolar 4.80 t / m'lik bir düşey yük altındadır. Her iki deneyin yük - deformasyon eğrileri karşılaştırıldığında, düşey basıncın donatısız ve kenetsiz bir yatay birleşim yerindeki kesme dayanımını ne ölçüde arttırdığı görülür. Düşey basıncın olmadığı örnekte başlangıç kesme dayanımı, birkaç tekrarlı yüklemeden sonra hızla %50'ye yakın bir miktara inmektedir. Ayrıca her bir yükleme kademesinde yükün yönünün değişmesiyle de ters yönde yüklemede kesme dayanımı azalmaktadır. Düşey basınç altındaki aynı tür birleşim yerinde ise devresel yüklemelerin artması ile kesme dayanımında meydana gelen azalma daha küçük olmaktadır. Düşey basınç, birleşim davranışını dengeli bir konumda tutmaktadır. Dolayısıyla bu iki deney, birleşim yeri üzerinde düşey basıncın olumlu katkısı olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.5 Birleşim Yerlerinin Kesme Kuvveti Davranışı

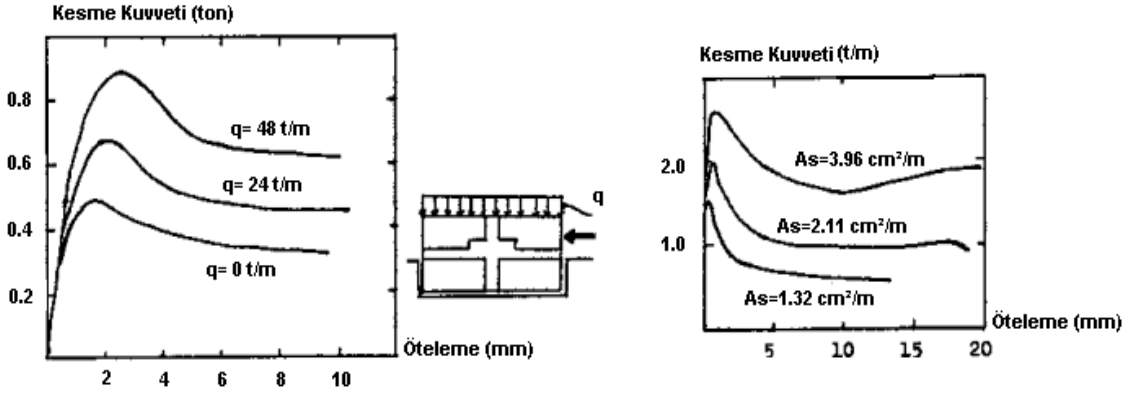
Şekil 5.6'da ise donatıların kaynaklı olarak bağlandığı bir birleşim yerinin düşey yüklü ve yüksüz durumda tekrarlı yüklemeler altındaki davranışları verilmiştir.



Şekil 5.6 Birleşim Yerlerinin Kesme Davranışı

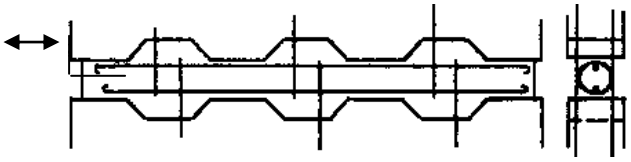
Birleşim yerinde donatının bulunması, kesme dayanımını önemli ölçüde arttırmaktadır. Ancak yine de belli bir düzeyde ek yeri kayması halinde ek yerinin kesme dayanımı, yüklemenin başlangıcındaki dayanımından %60 kaybetmektedir. Birleşim yeri üzerinde etkiyen bir düşey basıncın bulunması halinde ise artan yatay ötelemelerin, birleşim yerinin kayma direncinden fazla bir şey kaybettirmediğini göstermektedir. Düşey basınç altında birleşim yerinin kesme dayanımında olan azalma %10 - 20 düzeyindedir.

Bu deneyler, birleşim yerinin kesme dayanımına düşey yüklerin büyük katkıda bulunduğunu gösterir. Bu dört deneyden elde edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

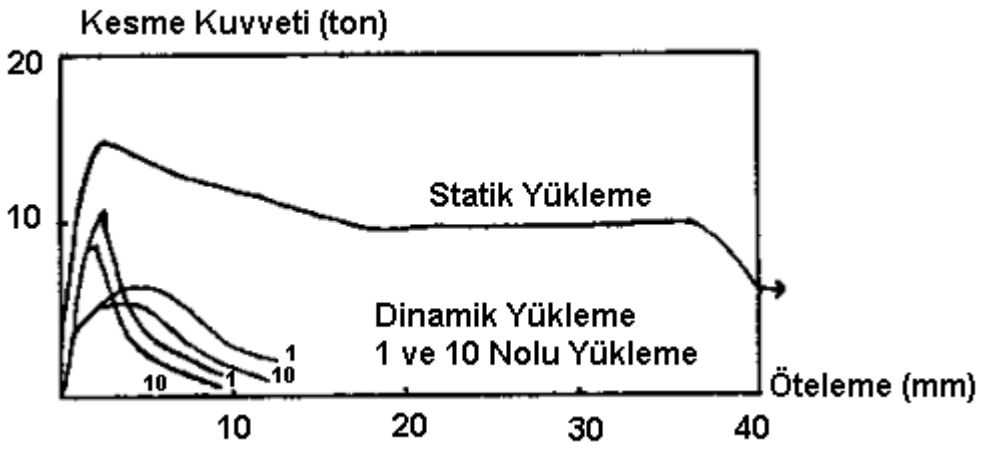


Şekil 5.7 Birleşim Yerindeki Donatının Miktarı ve Eksenel Yükün Değişmesi ile Kesme Dayanımındaki Değişim

Bir başka dinamik birleşim yeri deneyi Maio tarafından yapılmıştır. Bu deneyde kullanılan birleşim yeri düzeni Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilen kesme kuvvetleri ve birleşim yerinde oluşan kaymalar ise Şekil 5.9'da verilmiştir. Birleşim yeri statik olarak da denenmiş ve bu deneylerden statik yükleme halindeki maksimum kesme kuvveti kapasitesinin, dinamik yükleme halinde %70 kadar azaldığı gözlenmiştir. Statik yüklemede karşılıklı duran beton kenetlerinin 3 - 4 mm kadar bir ötelemede kırılmalarına karşın, dinamik yüklemede beton kesme kenetleri 1.4 - 3.9 mm'lik ötelemelerde kırılmışlardır. Deneyler 1 ve 3 adet kesme kenedi olan örnekler üzerinde yapılmıştır. Tek kesme kenedi olan ek yerinde daha düşük kesme direnci görülürken, buna karşılık daha fazla ötelemeye dayandığı gözlenmiştir. Üç kesme kenetli birleşim yeri daha büyük kesme kapasitesi verirken bu kenetlerin kırılmasından sonra kesme dayanımı hızla azalmış ve kopma anında deformasyon daha az olmuştur.



Şekil 5.8 Maio Tarafından Denenen Birleşim Yeri Detayı



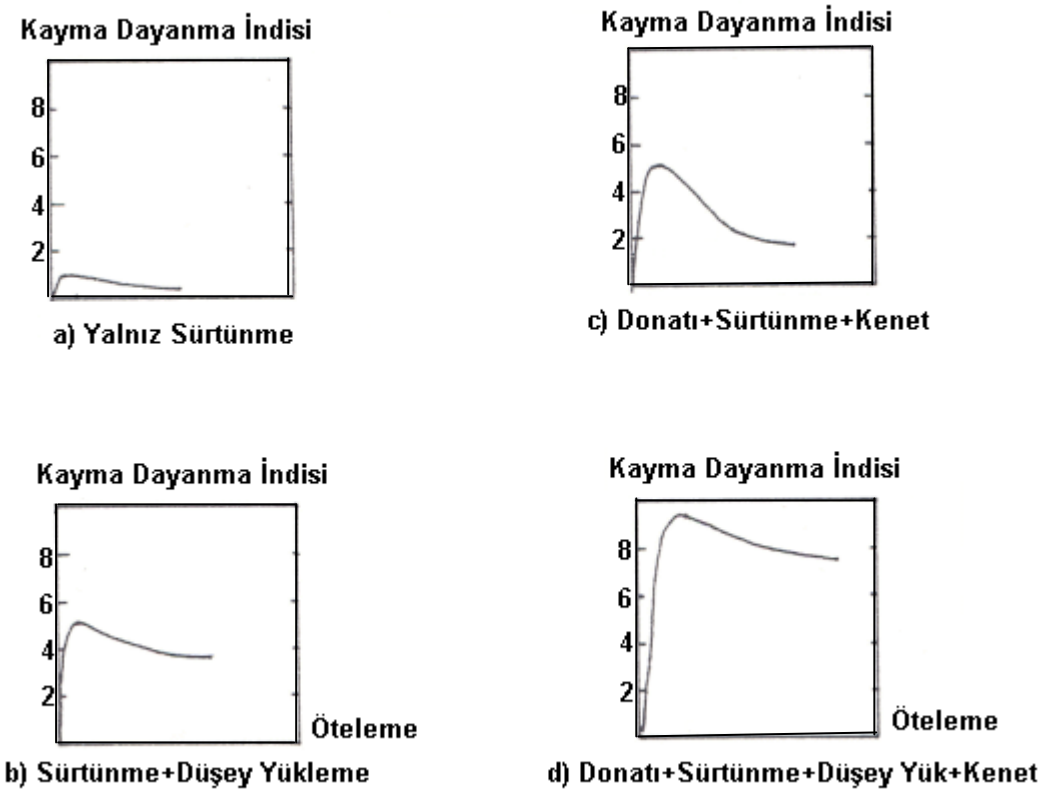
Şekil 5.9 Maio Tarafından Elde Edilen Birleşim Yeri Davranışı

Bu deneylerin ışığı altında bu cins ek yerlerinin kesme dayanımı için şöyle bir model geliştirilebilir; yüklemenin başında birleşim yerindeki beton ile pano arasındaki aderans, aradaki kesme kenedinin direnci ile oluşur. Bu yük düzeyinde çekme - basınç devresel yüklemelerinin sayısının artışı ile birleşim yerinin rijitliği ve kesme kuvveti taşıma gücü az da olsa azalır. Ancak ek yerine gelen kuvvetin artışı ile ani olarak, kesme kenetleri kırılır ve böylece birleşimin kesme kuvveti taşıma gücü azalır. Üstelik bu aşamada yüklemenin yönü değişen devresel yük olması halinde kesme dayanımında süratli bir azalma daha olur. Bu aşamada kesme kuvveti dayanımı ara yüzeylerdeki sürtünme ile sağlanır. Eğer birleşim yerine düşey yük de etkiyorsa, sürtünme ile sağlanan kesme direnci yüksek olur.

Donatının katkısı ise daha sonraki aşamalarda başlar. Donatı, birleşim yerinde bir miktar kayma olduktan sonra devreye girer. Birleşim yerinde kayma ile birlikte donatı, çevresindeki betonu ezer ve sonraki yüklemelerde serbest olarak eğilme davranışı gösterir ve yerinde bükülür. Bu durumda donatının bükülmeden yorulma direnci önemli olmaktadır. İçinde donatı da olan kesme kenetlerinde betonun kesme dayanımı aşıldıktan sonra, betonda oluşan çatlağın yüzeyi, bir pano ile hatıl arasındaki yüzeyden daha çok pürüzlü olduğu için sürtünme için gereken yük daha fazladır [7].

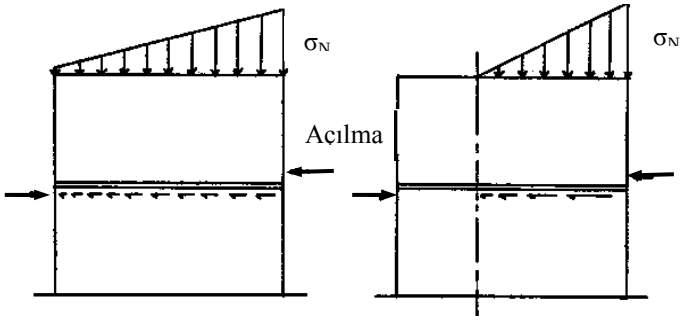
Donatının katkısı panoların çok büyük öteleme, 5 cm'den fazla, yapması durumunda sürtünmeye göre çok daha önemli olmaya başlar. Çünkü donatı o kadar büyümüştür ki; eğilme rijitliği ya da kama etkisinden çok çekme dayanımı ile harekete karşı koymaya başlar. Bu deneylerden, panolu yapılarda donatıya bağlı olmaksızın, oldukça önemli enerji yutma gücü olduğu görülmektedir. Birleşim yerinin davranışı rijit - plastik bir davranış olmaktadır.

Şekil 5.10'da ise çeşitli tür birleşim yerlerinin kesme dayanımı ve deformasyon davranışları şematik olarak verilmiştir. Kesme kenetli ve donatılı birleşim yerlerinde deformasyonun artışı ile taşıma gücünde önemli azalmalar olur. Eğer birleşim yeri düzlemine dik yönde bir basınç kuvveti varsa, deformasyonun artışı ile olan yük taşıma kapasitesi azalması daha yavaş olur. Sadece sürtünmenin olduğu ek yerlerinde, deformasyonun artması ile kesme dayanımında fazla bir değişme olmaz. Kesme kenetleri, ek yerinin başlangıç kesme direncinin artmasını sağlar. Daha sonra ötelemelerin artışı ve kesme kenetlerinin gücünü yitirmesinden sonra, kesme direnci yine sürtünmeye bağlı olur. Ancak beton kesme kenetlerinin kırılma yüzeyleri ek yeri betonu ile panolar arasındaki yüzeylere göre daha çok pürüzlü olduğu için yine de sürtünme direnci kesme kenetsiz ek yerine göre daha fazla olur.



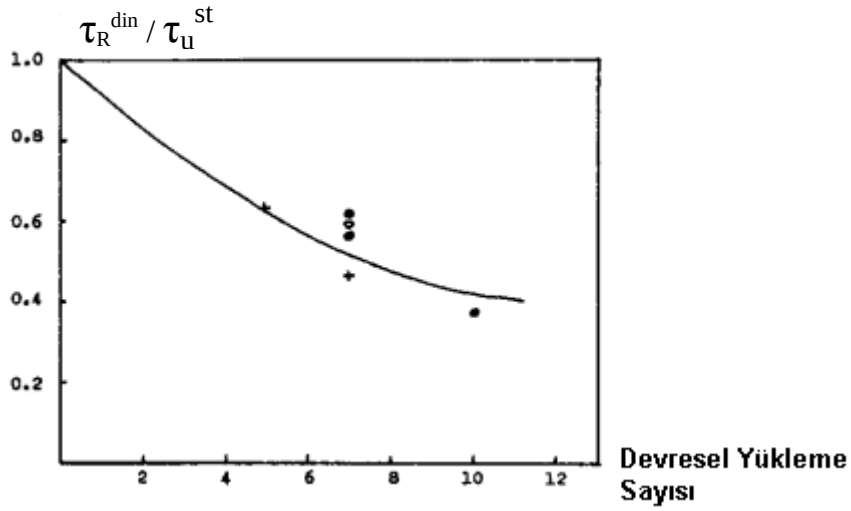
Şekil 5.10 Değişik Birleşim Yeri Mekanizmalarının Rölatif Kesme Dayanımları

Panoların birleşim yerlerinin kesme dayanım deneyleri eşit yayılı yükler altında yapılmaktadır. Bu durum, depremlerdeki gerçek durumu tam olarak yansıtmaz. Çünkü, deprem sırasında gelen yatay kuvvetler, panolardan oluşan duvarlarda eğilme momentleri de oluştururlar. Böylece ek yerindeki düşey kuvvet dağılımı eşit yayılı olmaktan çok trapezoit şeklinde olur. Hatta bazı durumlarda ek yerinde negatif basınç da söz konusu olabilir ve panolar birbirinden ayrılabilir. Bu durumda sürtünme yüzeyi azaldığından, Şekil 5.11'deki gibi kesme kuvveti taşıma gücü de azalır. Bu durumda ek yerinde eşit yayılı bir kesme kuvveti kapasitesi oluşamaz. Kesme kenetleri olan bir ek yerinde ise daha düzgün yayılı bir kesme kuvveti gücü oluşabilir. Pano birleşim yerlerinin yalnızca eşit yayılı düşey yük altında değil, üçgen yayılı düşey yük altında da deney yapılarak kesme kuvveti taşıma kapasitesinin bulunması gerekir.



Şekil 5.11 Eşit Yayılı Olmayan Düşey Basınç Altında Yatay Birleşim Yerinde Gelişen Kesme Dayanımı

Son olarak, Şekil 5.12'de Tassios ve Tsoukantas tarafından halkalı donatı ile teşkil edilmiş bir birleşim yerinin devresel yüklemelerden sonra ek yerinde kalan kesme dayanımı verilmiştir (τ_R^{din}). Görüleceği gibi 8 - 10 devresel yüklemeden sonra ek yerinin kesme dayanımı, başlangıç dayanımının %40'ı civarında oldukça dengeli bir biçimde kalmaktadır. Bu deneylerdeki sonuçlar, Verbic ve Terzic'in varmış olduğu sonuçlara benzemektedir. Denenen panoların farklı oluşu arada az da olsa farklılıklara yol açmaktadır. Ancak şiddetli bir depremden sonra, birleşim yerinin kesme dayanımında %50 civarında azalmanın mümkün olabileceği görülmektedir.

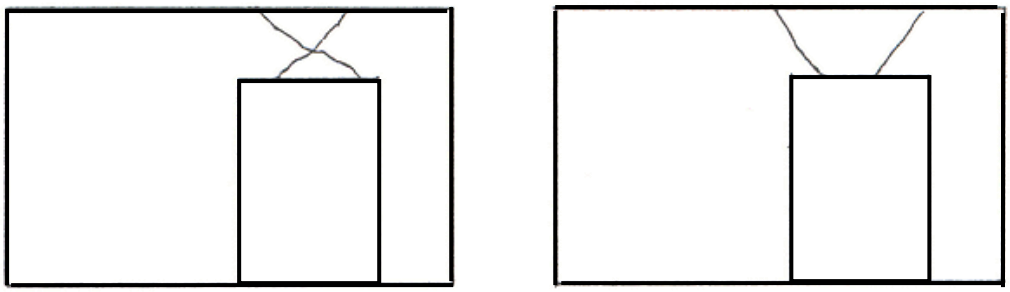


Şekil 5.12 Kalan Kesme Dayanımının Başlangıç Dayanımına Oranı

5.6 Prefabrike Panolu Yapılarda Gözlenen Deprem Hasarları

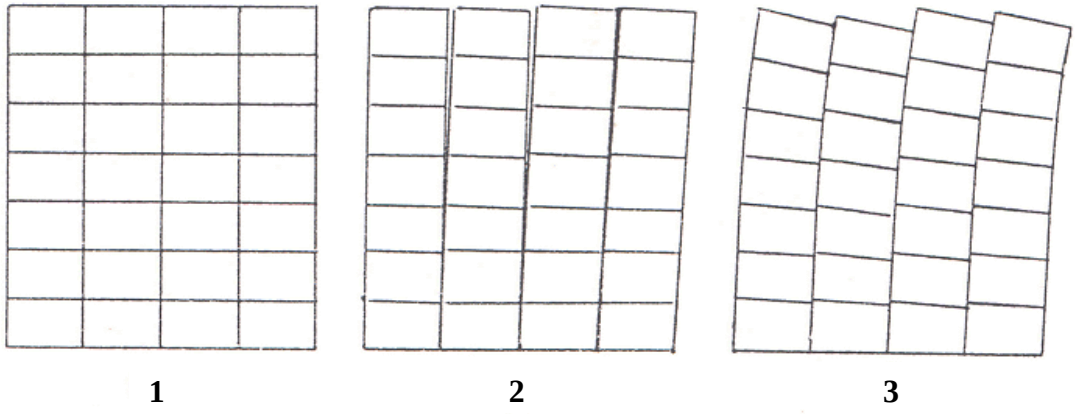
Düzlem panel duvarlar gibi iki boyutlu taşıyıcı elemanlardan oluşan veya belli bir oranda bu tür elemanları yapısal taşıyıcı sisteme entegre olarak içeren yapıların deprem sırasındaki olumlu davranışları bilinmektedir. Son depremler sonrasında da, bu sistemler yakından incelenmiş ve son derece başarılı bir sınav verdikleri gözlenmiştir [17]. Günümüze kadar prefabrike panolu sistemlerin etkilendiği şiddetli deprem sayısı fazla değildir. Bu depremleri, meydana geldikleri tarih sırasına göre; 1977 Romanya Vrancea Depremi, 1979 Adriyatik Kıyısındaki Karadağ Depremi, 1988 Ermenistan Depremi ve 1999 Marmara Depremi şeklinde sıralayabiliriz.

1977 Romanya depreminde, prefabrike panolu yapıların genellikle yeterli davranışı gösterdikleri gözlenmiştir. Bunun en önemli sebebi, bu bölgede inşa edilen panolu sistemlerdeki yatay ve düşey ek yerlerinin oldukça yüksek dayanımlı olmasıdır. Yapıların çoğunda düşey ek yerlerinde kılcal ve daha geniş (>1 mm) çatlaklar oluşmuştur. Ayrıca Şekil 5.13'te görüldüğü gibi kapı lentolarında kesme çatlakları gözlenmiştir [18]. Bu depremden sonra panolu yapıların titreşim periyotlarında %20 - 30 oranında bir artış olmuştur [19]. Bu artışın sebebi olarak ek yerlerindeki yumuşama, çatlama ve milimetre boyutunda kaymalar gösterilebilir. Periyotların artışı ile yapıların rijitliğinde ve elastisite modülünde %40 - 55 oranında bir azalma oluşmuştur. Bu arada yumuşak zemin üzerinde yer alan yapılarda bu artışın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu bir bakıma temel zemininin sıkışmasının ya da temelde dönmenin oluşturduğu bir periyot artışı olarak nitelenebilir.



Şekil 5.13 Romanya Depremindeki Hasarlar

Prefabrike panolu yapıların geçirdiği ikinci önemli deprem deneyimi 1979 yılında meydana gelen Karadağ depremidir. Velkov'a göre bu depremde panolu yapılarda çatlakların oluşması Şekil 5.14'teki gibi bir sıra izlemiştir; önce panolar arasındaki düşey ek yerlerinde çatlama 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 [20].



Şekil 5.14 Panoların Karadağ Depremindeki Davranışı

Panolu yapıların geçirmiş olduğu üçüncü deprem ise, bu sistemlerin çok yaygın olarak kullanıldığı Ermenistan'daki depremdir. Bu depremde prefabrike çerçeve sistemler ne yazık ki kötü bir sınav vermiş, bunun sonucunda da önemli sayıda can ve mal kaybı olmuştur. Bunun yanında prefabrike panolu yapılarda, yüksek dayanımlarından ve rijitliklerinden dolayı önemli deprem hasarı meydana gelmemiştir [21].

Prefabrike panolu yapıların son olarak geçirmiş olduğu deprem, 1999 yılında ülkemizdeki Kuzey Anadolu Fay Hattında oluşan ve çok sayıda vatandaşımızı yitirdiğimiz Marmara depremidir. Önüretimli panellerden oluşan yapılar bu bölgede genelde konut ve işyeri olarak inşa edilmiştir. Prefabrike konutlarda herhangi bir

yapısal hasar görülmezken, çevrede göçmüş veya ağır hasarlı yapılara rastlanmıştır. Önüretimli panellerden oluşan çok katlı yapılarda, panellerin planda iki doğrultuda yeterli perde alanını sağlaması nedeniyle hasar oluşmamıştır. Sonuç olarak bu tür yapıların sağlıklı bir davranış sergilediği söylenebilir [22].

5.7 Prefabrike Panolu Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi

Herhangi bir nedenle hasara uğramış bir yapının, hasara neden olan olay öncesindeki güvenlik düzeyine geri getirilmesi veya bunun üzerinde bir güvenliğe kavuşturulmasına yönelik olarak gerçekleştirilen her türlü işlem "onarım" olarak adlandırılır. Ortada henüz herhangi bir hasar yok iken, yapılan değerlendirme sonucunda dilenen düzeyde yapı güvenliği taşımadığı ya da kusurlu nitelikler taşıdığı anlaşılan bir yapının kusurlarının giderilmesi ve yapının olması gereken yapı güvenliği düzeyine kavuşturulmasına yönelik olarak gerçekleştirilen uygulamalar ise "güçlendirme" olarak adlandırılır.

"Yapıda yanal rijitlik sağlayan yeni elemanlar oluşturarak ve deprem etkilerinin büyük bir bölümünü bu yeni elemanlara taşıtarak sistem davranışının iyileştirilmesi ve eğer hâlâ gerekiyorsa, sınırlı sayıda elemanın güçlendirilmesi" şeklinde özetlenen onarım/güçlendirme stratejisi, prefabrike panolu yapılar için de geçerlidir [23].

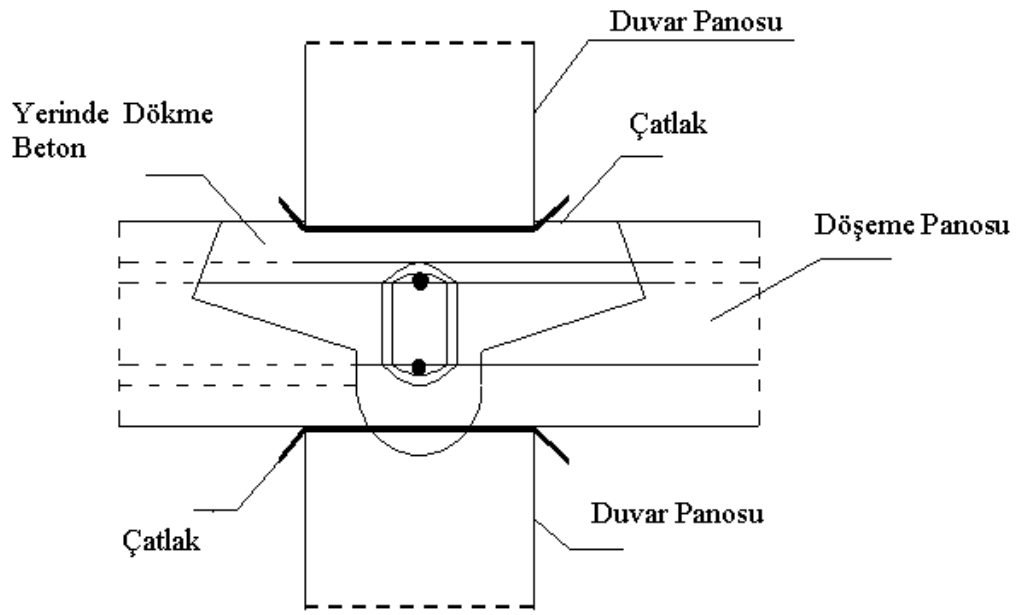
Çeşitli onarım ve güçlendirme yöntemlerini; sistem davranışı iyileştirme ve eleman onarımı/güçlendirilmesi olmak üzere iki genel kategoride değerlendirebiliriz. Bu iki yaklaşımdan hangisinin seçileceği ya da iki yaklaşımın nasıl ve ne oranda bir arada kullanılacağı, uğraşılan sorunla ve ele alınan yapının özellikleri ile yakından ilgilidir.

Genel olarak prefabrike yapıların bağlantı yerlerinin zayıf olması, onarım ve güçlendirmede, bağlantı yerlerinde özel önlemler alınmasını gerektirir. Büyük panolu prefabrike yapıların da deprem hasarından sonra onarım metotları; panoların birleşim şekline, tipine ve depremin şiddetine bağlıdır [24]. Bu tür yapılar, deprem dayanımına, hasar derecesine, sistem ve birleşim tipine bağlı olarak farklı metotlarla onarılabilir ve güçlendirilebilir.

5.7.1 Prefabrike Panolu Yapıların Onarımı

Islak birleşimlerde çatlaklar, tipik olarak prefabrike panolarla yerinde dökme beton arasındaki bağlantılarda görünür. Bu çatlaklar, betonun bölgesel ezilmesiyle büyüyebilir. Kuru birleşimlerden oluşan yapılarda ise birleşim bölgelerinde çatlama ve beton dökülmesi meydana gelebilir.

Şekil 5.15'te görüldüğü gibi ıslak yatay birleşimler bazen, prefabrike ve yerinde dökme beton arasındaki ek yerlerinde çatlakların artmasına neden olabilir. Bazı durumlarda pano ucundaki yerinde dökme betonda, yerçekiminin ve deprem yüklerinin neden olduğu sıkışmadan dolayı bölgesel ezilmeler de gözlenebilir. Bu birleşimleri 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 o bölgeler, yeni betonla ya da epoksit reçine harcıyla doldurulmalıdır. Yatay ek yerlerinin kalan kısmı da uygun emülsiyon ile (çimento şerbeti, sentetik yapıştırıcı vb.) derz yapılmalıdır.

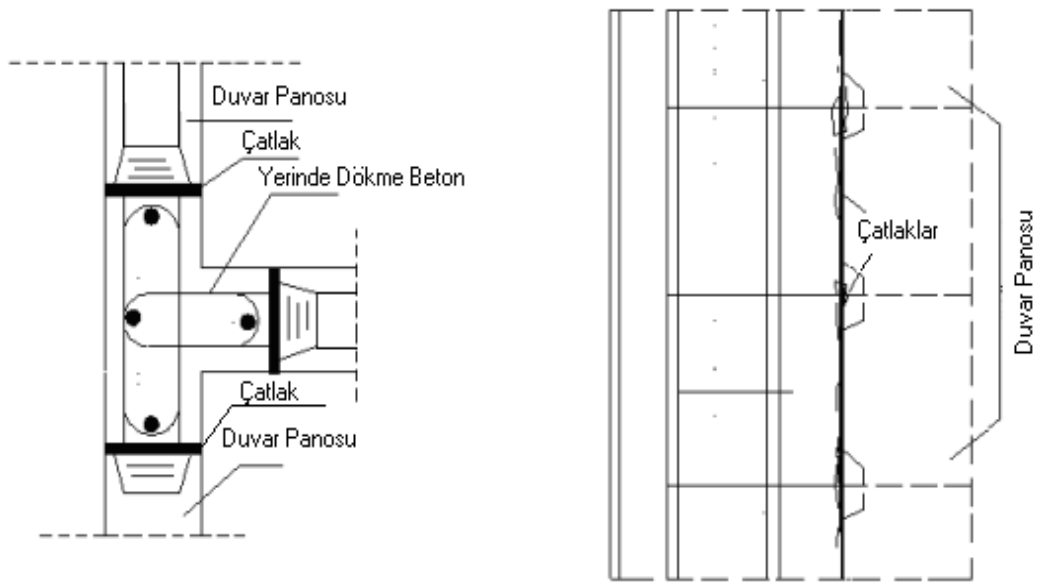


Şekil 5.15 Pano Ek Yerlerinde Çatlak Oluşumu

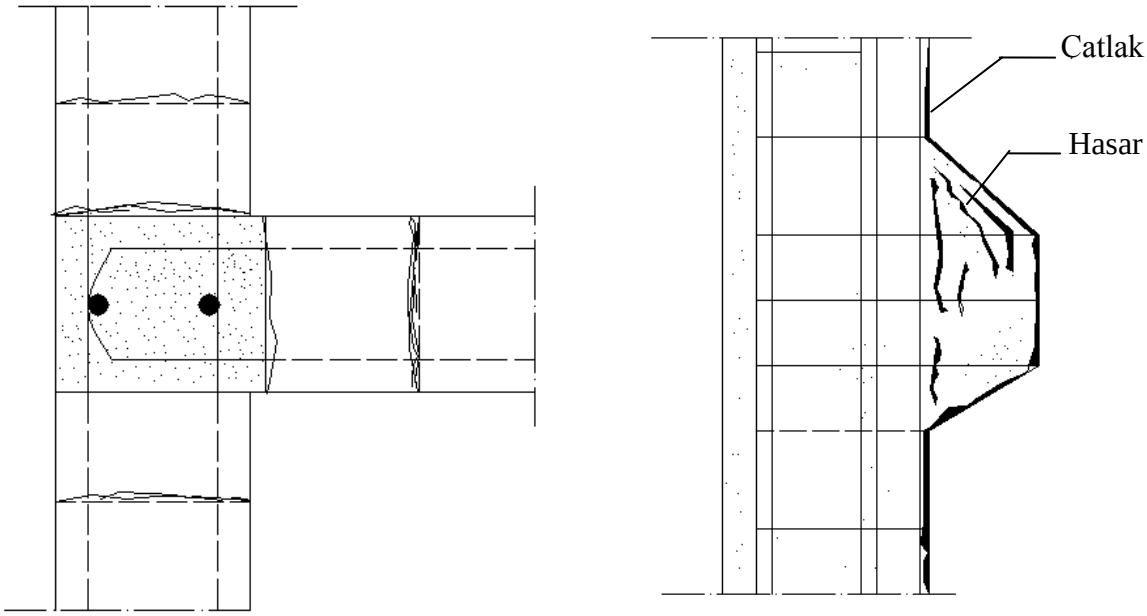
Şekil 5.16'da duvar panosunun düşeyde iki tip birleşimi gösterilmiştir. Şekil 5.16.a'da küçük kenetlerden meydana gelen birleşim tipi; 5.16.b'de ise büyük kenetlerin oluşturduğu bağlantı tipi verilmiştir. Düşey bağlantılardaki tipik hasarın nedeni; kenetlerin kısmen ezilmesi ve oluşan çatlakların temas yüzeyi boyunca genişlemesidir. Betonun bölgesel ezilmesi dışında ve iyi çatlakların oluşması durumunda çatlaklar, temizlenmeli ve tüm çatlak yüksekliği boyunca uygun enjeksiyon harcıyla doldurulmalıdır. Kenetlerin ezilmesiyle birlikte büyük çatlakların oluşması durumunda ise ezilmiş beton ve dökülen parçalar tamamen ortadan kaldırıldıktan sonra yeni beton ve harçla uygun form verilerek yerleştirme yapılmalıdır.

Kaynaklı veya bulonlu levhalardan ya da eklerden meydana gelen kuru birleşimlerde ise hasar genellikle, bağlantı bölgelerine bitişik yerlerde çatlamış ya da ezilmiş beton şeklinde gözlenir. Bu hasarlı bölgelerin onarımı için izlenen yol; gevşek ya da ezilmiş beton yerine çimento ya da epoksit şerbeti enjekte edilerek çatlakların doldurulmasıdır. Bağlantıların çelik elemanlarında gerilmeden dolayı oluşan hasar, ya 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 uygun olmaktadır.

Hasar bazen de bağlantılardan uzakta, özellikle kapı ve pencere boşluklarına bitişik panolarda oluşabilir. Bu bölgelerde oluşan çatlakların ve benzer hasarların onarımı için yerinde dökme betonarme yapılarda olduğu gibi epoksi aracılığıyla yapıştırma ya da uygun teknikler kullanılabilir. Uygulanması kolay olan yapıştırma tekniğiyle deprem yüklerine karşı dayanım ve yanal rijitlik büyük oranlarda artırılabilmektedir.



Şekil 5.16.a Büyük Panolu Sistemde Küçük Kenetlerle Düşey Bağlantı

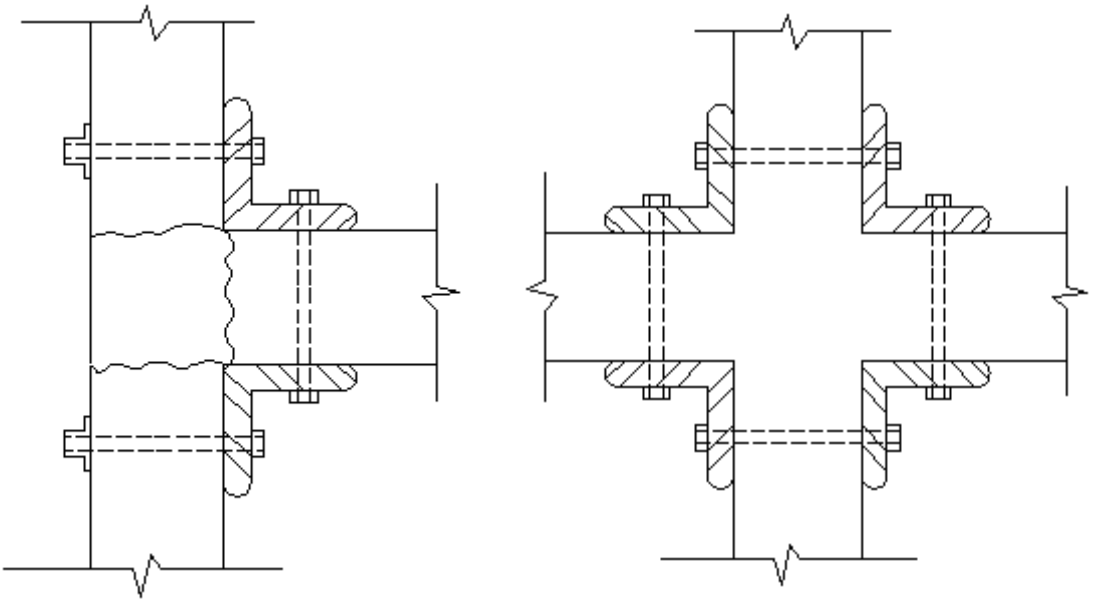


Şekil 5.16.b Büyük Panolu Sistemde Büyük Kenetlerle Düşey Bağlantı

5.7.2 Prefabrike Panolu Yapıların Güçlendirilmesi

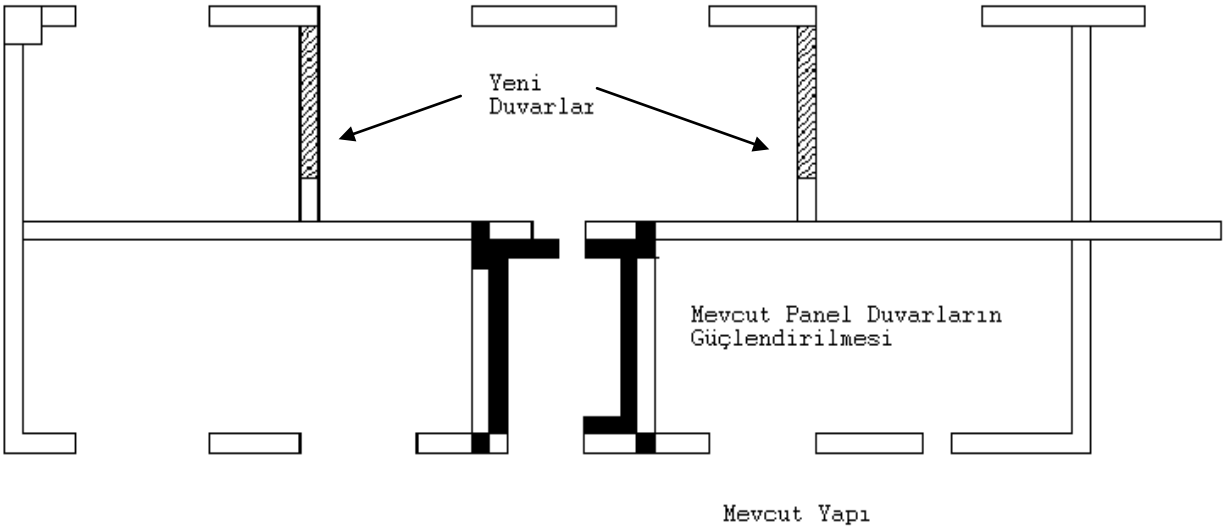
Prefabrike betonarme panolu yapıların güçlendirilmesinde, hasarın derecesine ve güç azalmasına bağlı olarak birçok farklı teknik uygulanmaktadır. Her iki yönde de yeterli duvarlar mevcutsa yapı performansını geliştirmek amacıyla yapılacak olan güçlendirme, var olan pano birleşim noktalarının sağlamlaştırılmasından ya da değiştirilmesinden ibarettir. Eğer yapının herhangi bir yönünde ve binada tek yönlü döşeme ve taşıyıcı duvarlara dik panolarla birlikte yer alan yetersiz duvarlar mevcutsa, ya yeni duvarlar eklenir ya da mevcut duvarlar güçlendirilir.

Mevcut pano birleşim yerlerinin güçlendirilmesi genel olarak, Şekil 5.17'deki birleşim noktalarına paralel bulonlu çelik köşebentler eklemek suretiyle gerçekleştirilir. Açılan deliklere ise epoksi aracılığıyla yapıştırma uygulanır. 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 panonun uçlarında meydana gelebilecek çatlaklar ya da dökülmelerden ötürü zamansız hasarlar önlenmiş olur.

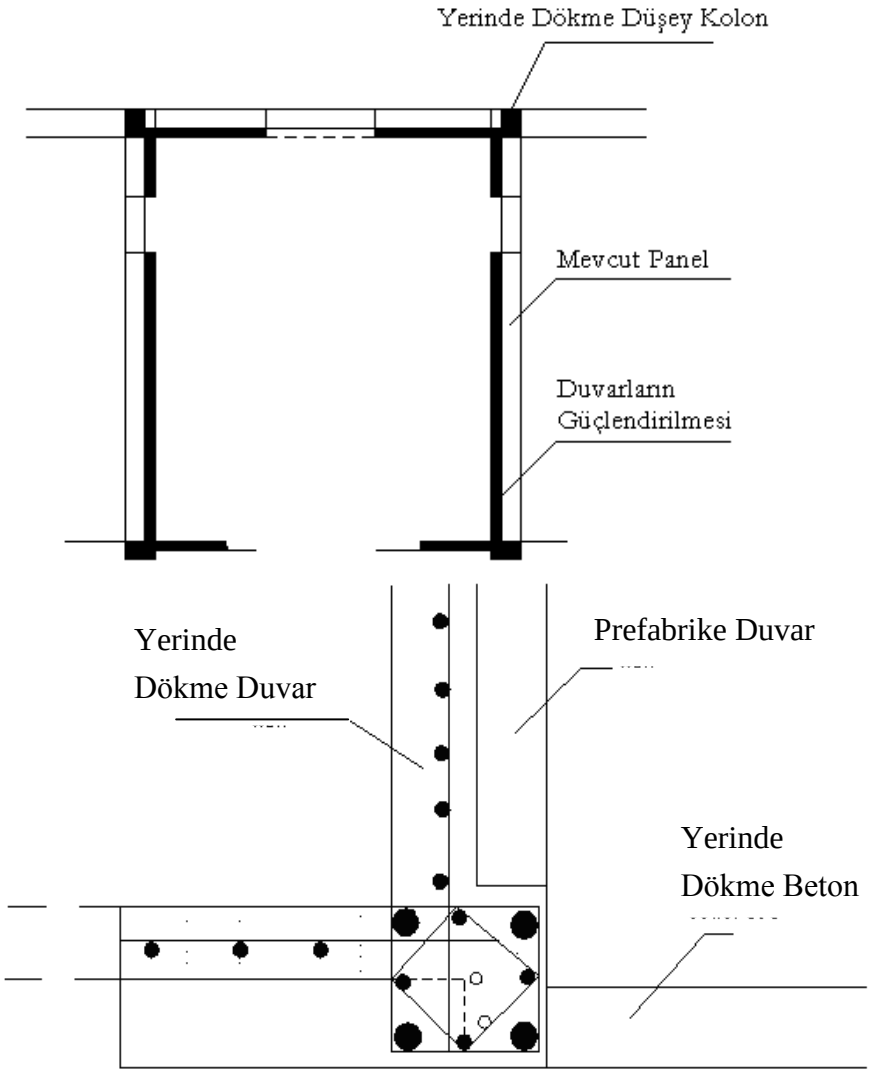


Şekil 5.17 Pano Birleşim Yerlerinin Köşebentlerle Güçlendirilmesi

Şekil 5.18'de, takviye için boyuna taşıyıcı duvarlardan ve en az enine bölme duvarlardan oluşan tipik bir panolu sistem verilmiştir. Çapraz yöndeki yetersiz rijitlik ve dayanım dikkate alınarak, duvarların altına yeni temellerle birlikte binanın tüm yüksekliği boyunca yeni bölme duvarlar eklenmesine karar verilmiştir. Ayrıca yapıda meydana gelen hasarın derecesi de dikkate alınarak, merkezi merdiven bölgesinin güçlendirilmesi için, var olan duvarlara betonarme duvar takviyesi yapılmasına karar verilmiştir. Duvar panolarının güçlendirilmesi, Şekil 5.19'daki düşey bağlantı yerlerinde betonarme kolon inşasıyla yürütülmektedir. Böylece eş zamanlı olarak prefabrike panoların ve yeni eklenen duvarların yatay donatıları sıkıca bağlanmış olur. Duvar yüksekliği boyunca düşey donatı, kat seviyelerinde açılan delikler boyunca süreklilik arz eder. Pano ve betonun temas yüzeyi arasında aderansın sağlanması için bu bölge pürüzlenir ve kenetlenir. Donatı çubukları yerleştirildikten sonra yeni beton tabakası ya uygun şekil verilerek ya da püskürtme beton tekniğiyle yerleştirilir.



Şekil 5.18 Duvar Takviyeli Panolu Sistem



Şekil 5.19 Betonarme Duvar ve Kolon Takviyesi

Duvarların eklenmesi durumunda, yatay sismik kuvvetlerin çeşitli duvar elemanları tarafından tekrar paylaşımı hesap kısmında dikkate alınmak zorundadır. Bazı duvarların uçlarındaki profil başlıklardan ötürü, bu duvarlar daha rijit olabilir ve döşeme bağlantılarının ya da temellerin güçlendirilmesi gerekebilir.

6. YÖNETMELİKLERDEKİ DEPREM YÜKLERİ VE HESAP KURALLARI

Bu bölümde, ülkemizde kullanılan ABYYHY (98), A.B.D.'de kullanılan UBC (97), AB ülkelerinde kullanılan Eurocode 8 ve bu yönetmeliklerdeki prefabrike binalara ilişkin özel koşullar hakkında bilgiler verilmiştir.

6.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Yönetmeliğin amacı, deprem yer hareketine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli minimum koşulları tanımlamaktır [25]. Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler; Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleridir. Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri, tüm binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir. Bu bölümde özetlenecek olan Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin ise birtakım uygulama sınırları vardır.

6.1.1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Kiriş, kolon ve perdelerden oluşan betonarme iskeletli yapılara etkiyen deprem yükleri genellikle yapıya döşemeleri seviyesinde etkiyen yatay yükler olarak kabul edilir. Yatay yüklerin binanın asal doğrultularında ayrı ayrı etkidiği kabul edilerek, taşıyıcı sistemlerin elemanlarında kesit etkileri bulunur [15]. Yapıların depreme dayanıklı olarak boyutlandırılmasında kullanılan Toplam Eşdeğer Deprem Yükü, taban kesme kuvveti olarak bilinir ve W toplam yapı ağırlığı olmak üzere;

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0IW \qquad (6.1)$$

şeklinde belirlenir. İfadede, A_0 Etkin Yer İvmesi Katsayısı, I Yapı Önem Katsayısı, S Spektrum Katsayısı, T_1 Yapının Birinci Titreşim Periyodu, W Toplam Yapı Ağırlığı, R_a Deprem Yükü Azaltma Katsayısı ve A Spektral İvme Katsayısı olup;

$$A(T) = A_0 \, I \, S(T) \qquad (6.2)$$

olarak verilmiştir. A_0 Etkin Yer İvmesi Katsayısı Tablo 6.1'de, I Yapı Önem Katsayısı Tablo 6.2'de tanımlanmıştır.

Tablo 6.1 Etkin Yer İvmesi Katsayısı

Deprem Bölgesi	Ao
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 6.2 Bina Önem Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	I
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gereken binalar (Hastaneler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları, terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, vb.) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.	1.0

Denklem (6.2)'de yer alan S(T) Spektrum Katsayısı, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T'ye bağlı olarak Denklem (6.3) ile hesaplanır;

$$S(T) = 1 + 1.5 \, T / T_A \qquad (0 \le T \le T_A) \qquad (6.3a)$$

$$S(T) = 2.5 \qquad (T_A < T \le T_B) \qquad (6.3b)$$

$$S(T) = 2.5 \, (T_B / T)^{0.8} \qquad (T > T_B) \qquad (6.4b)$$

Denklem (6.3)'deki Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B, Tablo 6.3 ile tanımlanan Zemin Grupları ve Tablo 6.4 ile gösterilen Yerel Zemin Sınıflarına bağlı olarak Tablo 6.5'te verilmiştir.

Tablo 6.3 Zemin Grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penetr. (N / 30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1.Volkanik kayaçlar	-	-	> 1000	> 1000
	2.Çok sıkı kum,çakıl	> 50	85 - 100	-	> 700
	3.Sert kil	> 32	-	> 400	> 700
(B)	1.Gevşek kayaçlar	-	-	500 - 1000	700 -1000
	2.Sıkı kum, çakıl	30 - 50	65 - 85	-	400 - 700
	3.Çok katı kil	16 - 32	-	200 - 400	300 - 700
(C)	1.Metamorfik kayaç	-	-	< 500	400 - 700
	2.Orta sıkı kum,çakıl	10 - 30	35 - 65	-	200 - 400
	3.Katı kil	8 - 16	-	100 - 200	200 - 300
(D)	1.Yumuşak alüvyon tabakaları	-	-	-	< 200
	2.Gevşek kum	< 10	< 35	-	< 200
	3.Yumuşak kil	< 8	-	< 100	< 200

Tablo 6.4 Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 6.3'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı(h1)
Z1	(A) grubu zeminler h1 ≤ 15 m olan (B) grubu zeminler
Z2	h1 > 15 m olan (B) grubu zeminler h1 ≤ 15 m olan (C) grubu zeminler
Z3	15m <h1≤ 50 m olan (C) grubu zeminler h1 ≤ 10 m olan (D) grubu zeminler
Z4	h1 > 50 m olan (C) grubu zeminler h1 > 10 m olan (D) grubu zeminler

Tablo 6.5 Spektrum Karakteristik Periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, $R_a(T)$, çeşitli taşıyıcı sistemler için Tablo 6.6'da tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R'ye ve doğal titreşim periyodu, T'ye bağlı olarak Denklem 6.4 ile belirlenmektedir;

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5)\, T / T_A \quad (0 \le T \le T_A) \qquad (6.4a)$$

$$R_a = R \qquad (T > T_A) \qquad (6.4b)$$

Tablo 6.6 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	**Süneklik Düzeyi**	
	Normal	**Yüksek**
Yerinde Dökme Betonarme Binalar		
Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar	4	7
Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	4	6
Deprem yüklerinin, çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	4	7
Prefabrike Betonarme Binalar		
Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	6
Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar	-	5
Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar	-	4
Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	3	5

Denklem (6.1)'de yer alan ve binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığı olarak göz önüne alınacak olan W, aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$W = \sum_{i=1}^{N} w_i = \sum_{i=1}^{N} g_i + n \cdot q_i \qquad (6.5)$$

Burada n, Hareketli Yük Katılım Katsayısı olup değerleri Tablo 6.7'de verilmiştir. g_i ve q_i ise, binanın i'inci katındaki toplam sabit ve hareketli yüklerdir. Toplam ağırlık hesaplanırken de, kar yüklerinin %30'u sabit yük olarak göz önüne alınmalıdır.

Tablo 6.7 Hareketli Yük Katılım Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	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

Denklem (6.1) ile hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak aşağıdaki denklem ile ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^{N} F_i \tag{6.6}$$

Burada N, toplam kat sayısıdır. $H_N > 25$ m için binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N'in değeri, birinci doğal titreşim periyodu T_1'e bağlı olarak (6.7)'deki formüle göre belirlenmelidir. Burada $H_N \leq 25$ m için $\Delta F_N = 0$ alınır. Binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliği olan H_N, bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülür.

$$\Delta F_N = 0{,}07 \cdot T_1 \cdot V_t \leq 0{,}2 \cdot V_t \tag{6.7}$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına aşağıdaki formülle dağıtılır;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i \cdot H_i}{\sum_{i=1}^{N} (w_i \cdot h_i)} \tag{6.8}$$

Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan binaların, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde ise Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodunun, aşağıdaki formülle hesaplanmasına izin verilmiştir;

$$T_1 = C_t * H_N^{3/4} \tag{6.9}$$

Buradaki C_t değeri, bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak aşağıda tanımlanmıştır:

a) Deprem yüklerinin tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda C_t değeri;

$$C_t = 0.075 / A_t^{1/2} \leq 0.05 \quad (6.10)$$

olarak hesaplanır. Burada A_t eşdeğer alanı aşağıdaki bağıntıyla bulunur;

$$A_t = \sum A_{wj} [0.2 + (l_{wj} + H_N)^2] \quad (6.11)$$

$A_{wj,}$ binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin m^2 cinsinden brüt en kesit alanını; $l_{wj,}$ binanın temel üstündeki ilk katında j'inci perdenin, göz önüne alınan deprem doğrultusunda çalışan m cinsinden uzunluğunu gösterir. (l_{wj} / H_N) oranının en büyük değeri ise 0.9 olarak dikkate 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 $C_t = 0.05$ alınmalıdır.

Yer değiştirmelerin sınırlandırılmasıyla ilgili olarak da, herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden göreli kat ötelemesi Δ_i, aşağıdaki formülle hesaplanır;

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

Bu formüldeki d_i ve d_{i-1}, binanın i'inci ve i - 1'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında hesapla elde edilen yatay yer değiştirmeleri göstermektedir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, Denklem (6.12) ile hesaplanan göreli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri (Δ_i)max, Denklem (6.13)'de verilen koşulların elverişsiz olanını sağlamalıdır;

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

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

6.1.2 Prefabrike Binalara İlişkin Özel Koşullar

Fabrika koşullarında üretilen taşıyıcı sistem elemanlarının şantiyede birleştirilmesi ile oluşturulan prefabrike binalarda, ABYYHY'de verilen diğer koşullar ile birlikte aşağıdaki özel koşullara da uyulmalıdır;

a) **Mafsallı Çerçeveler;** endüstri yapısı türü tek katlı binalar dışında, bağlantıları mafsallı olan (moment aktaramayan) prefabrike çerçeve türü taşıyıcı sistemlere, her iki doğrultuda yatay deprem yüklerinin tamamını taşıyabilen yerinde dökme betonarme perdeler yapılması koşulu ile izin verilir. Kaynaklı olarak yapılan mafsallı bağlantılar, Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Kuralları'na göre depremden oluşacak bağlantı kuvvetlerinin en az 1.5 katını, diğer mafsallı bağlantılar ise en az 1.2 katını taşıyacak yeterli dayanıma sahip olacaklardır.

b) Moment Aktarabilen Çerçeveler; prefabrike bina çerçevelerinde moment aktarabilen tüm bağlantıların deprem etkisi ile oluşan tersinir ve yinelenir yükler altında monolitik davranışa eşdeğer dayanım ve sünekliğe sahip oldukları, literatürden kaynak verilerek analitik yöntemlerle veya deneylerle kanıtlanmış olmalıdır. Bağlantılar, bağlanan elemanların taşıma güçleri düzeyinde oluşacak momentleri, kesme kuvvetlerini ve eksenel kuvvetleri, dayanım ve süneklikte herhangi bir azalma olmaksızın aktarabilecek dayanıma sahip olacaktır. Kaynaklı bağlantılarda Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Kuralları'na göre depremden ötürü bağlantıya etkiyen iç kuvvetlerin en az 1.5 katı, diğer tür bağlantılarda ise en az 1.2 katı dikkate alınmalıdır. Ayrıca bağlantılar, bağlanan elemanlarda plastik mafsal oluşma olasılığı yüksek olan yerlerden olabildiğince uzakta düzenlenmelidir.

c) Öngerilme Koşulları; döşeme elemanları ve tek katlı binaların kolonlarına mafsallı olarak bağlanan kiriş türü elemanlar dışında, deprem bölgelerinde kullanılacak prefabrike yapı elemanlarında tam öngerilme uygulanmasına izin verilmez. Elemanlarda yeterli sünekliği sağlayabilecek düzeyde öngerilmesiz donatı kullanılması zorunludur. Bu donatı ile ilgili olarak da TS - 3233'te verilen koşullara uyulmalıdır.

6.2 UBC 97'deki Sismik Tasarım Koşulları

6.2.1 Statik Kuvvet Yöntemi

Göz önüne alınan doğrultuda etkiyen toplam taban kesme kuvveti V;

$$V = W C_v I / R T \quad (6.14)$$

$$V < 2.5 WC_a I / R ; V > 0.11 C_a I W \quad (6.14a)$$

şeklinde hesaplanır [26]. Burada W, binanın toplam ağırlığını; C_v ve C_a, sismik katsayıları; T, yapı periyodunu; R, yapı davranış faktörünü; I, bina önem katsayısını ifade etmektedir. Toplam taban kesme kuvveti değerleri, dördüncü sismik bölge için de 0.8 W Z N_v I / R değerinden küçük olmamalıdır. Z, sismik bölge faktörünü; N_v, N_a, ise yakın kuvvet faktörlerini ifade etmektedir.

Z, Tablo 6.8'den, C_v, Tablo 6.10'dan, N_v, Tablo 6.11'den, C_a, Tablo 6.12'den, N_a, Tablo 6.13'ten I, Tablo 6.15'ten bulunur. Ayrıca zemin profil özellikleri, Tablo 6.9'da ve sismik kaynak tipleri Tablo 6.14'te gösterilmiştir.

Tablo 6.8 Sismik Bölge Faktörü

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

Tablo 6.9 Zemin Profil Özellikleri

Zemin Profili Tipi	Zemin Profili Adı	Ortalama Üstteki 30m'lik Zemin Profili		
		Kayma Dalga Hızı (m / s)	Standart Penet. Test, N	Kayma Dayanımı (kPa)
S(A)	Sert Kaya	> 1500	-	-
S(B)	Kaya	760 - 1500	-	-
S(C)	Çok Sıkı Zemin	360 - 760	> 50	100
S(D)	Sert Zem. Pro.	180 - 360	15 - 50	50 – 100
S(E)	Yumuşak Ze.Pro.	< 180	< 15	< 50

Tablo 6.10 Sismik Katsayı, Cv

Zemin Profili Tipi	Sismik Bölge Faktörü, Z				
	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	0.32Nv
S(B)	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40Nv
S(C)	0.13	0.25	0.32	0.45	0.56Nv
S(D)	0.18	0.32	0.40	0.54	0.64Nv
S(E)	0.26	0.50	0.64	0.84	096Nv

Tablo 6.11 Yakın Kuvvet Faktörü, Nv

Sismik Kaynak	Sismik Kaynağa Yaklaşık Mesafe			
Tipi	$\leq$ 2 km	5 km	10 km	$\geq$ 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 6.12 Sismik Katsayı, Ca

Zemin Profili	Sismik Bölge Faktörü, Z				
Tipi	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	0.32Na
S(B)	0.08	0.15	0.20	0.30	0.40Na
S(C)	0.09	0.18	0.24	0.33	0.40Na
S(D)	0.12	0.22	0.28	0.36	0.44Na
S(E)	0.19	0.30	0.34	0.36	0,36Na

Tablo 6.13 Yakın Kuvvet Faktörü, Na

Sismik Kaynak	Sismik Kaynağa Yaklaşık Mesafe		
Tipi	$\leq$ 2 km	5 km	$\geq$ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Tablo 6.14 Sismik Kaynak Tipleri

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynak Tanımı	Max.Moment Magnitüd M	Kayma Oranı, SR (mm / yıl)
A	Büyük magnitüdlü deprem üretebilen faylar	M > 7.0	SR > 5
B	Tip A ve B dışında kalan bütün faylar	M > 7.0 M < 7.0 M > 6.5	SR < 5 SR > 2 SR < 2
C	Büyük magnitüdlü deprem üretemeyen faylar	M < 6.5	SR < 2

Tablo 6.15 Önem Faktörü

Konum Kategorisi	Yapının İşlevi	Önem Faktörü	
		I	Ip
Zorunlu kuruluşlar	Güç jeneratörleri, yangın ve polis merkezleri, acil ve iletişim merkezleri, vb.	1.25	1.5
Tehlikeli yapılar	Toksik ve patlayıcı içeren yerler, depolama yerleri.	1.25	1.5
Özel yapılar	Ofisler, oteller, endüstri yapıları, dinlenme yapıları, vb.	1.0	1.0

Toplam taban kesme kuvvetinin, bina yüksekliği boyunca düşey dağılımı (6.15) denklemi yardımıyla hesaplanır;

$$V = F_t + \sum F_i \qquad (6.15a)$$

$$F_t = 0.07\ T\ V \qquad (6.15b)$$

$F_{t,}$ en üstte toplanmış kuvvet olup 0.025 V'yi aşmamalıdır ve T'nin 0.7 saniye veya daha az olduğu durumlarda sıfır olarak düşünülmelidir. Taban kesme kuvvetinin geri kalan kısmı, n'inci katı da kapsayarak yapının bütün yüksekliği boyunca dağıtılmalıdır ve aşağıdaki formülle hesaplanmalıdır;

$$F_x = (V - F_t)\ W_x\ h_x / \sum W_i\ h_i \qquad (6.16)$$

W_i, W_x: W'nin h_i, h_x yüksekliğine karşılık gelen kısmıdır.

Yapı periyodu T, bütün binalar için yaklaşık olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$T = C_t * h_N^{3/4} \quad (6.17)$$

h_N, binanın toplam yüksekliği olup, taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dış merkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda $C_t = 0.07$, taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.08$, diğer tüm binalarda ise $C_t = 0.05$ olarak alınır.

Yer değiştirmelerin sınırlandırılmasıyla ilgili olarak, temel periyodu 0.7'den küçük olan binalarda, maksimum inelastik davranış deplasmanı Δ_m kullanılarak hesaplanan kat yer değiştirmesi, kat yüksekliğinin 0.025 katını aşmamalıdır. Temel periyodu 0.7 veya daha büyük olan binalarda ise hesaplanan kat yer değiştirmesi kat yüksekliğinin 0.020 katını aşmamalıdır. Ayrıca Δ_m hesaplanırken, ikinci mertebe etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır.

$$\Delta_m = 0.7 \, R \, \Delta_s \quad (6.18)$$

Δ_s, yapıya dizayn sismik kuvveti etkidiğinde bütün katlarda oluşan dizayn davranış deplasmanıdır.

6.2.2 Prefabrike Binalara İlişkin Özel Koşullar

Birleşimlere etkiyecek dizayn yatay sismik kuvveti, F_p ve prefabrik panel birleşimlerine ve mekanik malzemelere gelen dizayn yatay sismik kuvveti de aşağıdaki formülle hesaplanabilirler [27];

$$F_p = 4 \, C_a \, I_p \, W_p = (a_p \, C_a \, I_p / R_p) * (1+3h_x / h_r) \, W_p \quad (6.19)$$

F_p değeri, $0.7 \, C_a \, I_p \, W_p$ değerinden düşük; $4 \, C_a \, I_p \, W_p$ değerinden de büyük olmamalıdır. h_r, yapının çatı yüksekliğini, h_x, elemanların yüksekliğini göstermektedir. Yapı davranış faktörü R, konsol prefabrike kolonların yatay dayanımları için 2.2 alınmalıdır.

6.3 Eurocode 8'deki Sismik Tasarım Koşulları

Deprem bölgelerindeki inşaat mühendisliği konularında, binaların tasarım ve inşasında kullanılan Eurocode 8'in amacı; depremlerde can kaybını önlemek, önemli yapıların korunmasını sağlamak ve hasar miktarını sınırlandırmaktır [28].

6.3.1 Statik Kuvvet Yöntemi

Sismik taban kesme kuvveti F_b, uygulanacak deprem doğrultusu için;

$$F_b = S_d W \qquad (6.20)$$

bağıntısıyla hesaplanır. W, yapının toplam ağırlığıdır. Hesaplarda kar yükünün %20'si de ölü yük olarak düşünülmelidir. T, binanın temel titreşim periyodu; S_d, dizayn spektrumu olmak üzere;

$$S_d = \alpha\, S\, [1 + T / T_B \{(\beta_0 / q) - 1\}] \qquad 0 \le T \le T_B \qquad (6.21a)$$

$$S_d = \alpha\, S\, \beta_0 / q \qquad T_B \le T \le T_C \qquad (6.21b)$$

$$S_d = \alpha\, S\, (\beta_0 / q)\, [T_C / T]^{kd1} \qquad T_C \le T \le T_D \qquad (6.21c)$$

$$S_d = \alpha\, S\, \beta_0 / q\, [T_C / T]^{kd1}\, [T_D / T]^{kd2} \qquad T_D \le T \qquad (6.21d)$$

bağıntılarından bulunabilir ve S_d, (6.21c) ve (6.21d) denklemlerinde 0.20 α'dan küçük olmamalıdır. α, dizayn yer ivmesi a_g'nin, gravite ivmesi g'ye oranını; S, zemin parametresini; β_0, spektral ivme amplifikasyon faktörünü; k_{d1}, k_{d2}, katsayıları; T_B, T_C, T_D, periyot sınırlarını ve q, davranış faktörünü ifade etmektedir. Zemin türleri ve dalga hızları Tablo 6.16'da; T_B, T_C, T_D periyot sınırları Tablo 6.17'de ve q davranış faktörü Tablo 6.18'de verilmiştir.

Tablo 6.16 Zemin Sınıfları

Zemin	Tanım	Vs (m / s)
A	Kaya veya diğer jeolojik formasyon	> 800
	Sıkı yığışımlı kum, çakıl veya yüksek konsolideli kil	> 400
B	Orta yığışımlı kum, çakıl veya sıkı kil	350 - 200
C	Düşük kohezyonlu yığışımlı zemin	< 200
	Orta yumuşak sıkılıkta kohezyonlu emin	< 200

Tablo 6.17 Elastik Davranış Spektrumu Parametre Değerleri

Zemin	S	βo	kd1	kd2	T(B)s	T(C)s	T(D)s
A	1.0	2.5	2 / 3	5 / 3	0.10	0.40	3.0
B	1.0	2.5	2 / 3	5 / 3	0.15	0.60	3.0
C	0.9	2.5	2 / 3	5 / 3	0.20	0.80	3.0

Tablo 6.18 Davranış Faktörü, q

Yapı Tipi		q
Çerçeve Sistem		5.0
Dual Sistem	Düzenli Çerçeve	5.0
	Bağlanmış duvarlar ile	5.0
	Bağlanmamış duvarlar ile	4.5
Duvar Sistem	Bağlanmış duvarlar ile	5.0
	Bağlanmamış duvarlar ile	4.0
Hücre Sistem		3.5
Ters Pendulum Sistem		2.0

Temel mod biçimi, yükseklik boyunca lineer olarak artan yatay yer değiştirme ile benzeştirilerek, yatay sismik kuvvet F_i;

$$F_i = F_b [(z_i W_i) / (\sum z_j W_j)] \quad (6.22)$$

şeklinde hesaplanır. F_i, i'inci kata etkiyen yatay kuvvet; z_i, z_j ise temel üstünden m_i, m_j kısmının yüksekliğidir.

Binanın temel titreşim periyodunu bulmak için, yapı dinamiği (Rayleigh Metod) metodu önerilir. Başlangıç dizayn aşamasında ise aşağıdaki yaklaşık formül kullanılır. Yüksekliği 80 metreye kadar olan yapılarda T'nin değeri yaklaşık olarak aynı formülle belirlenir;

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

Taşıyıcı sistemi sadece betonarme çerçevelerden veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan binalarda $C_t = 0.075$; taşıyıcı sistemi sadece çelik çerçevelerden oluşan binalarda $C_t = 0.08$; diğer tüm binalarda ise $C_t = 0.05$ alınır. Bu formülde ise h_N, metre cinsinden binanın toplam yüksekliğini gösterir. Alternatif olarak, yapı yüksekliği 80 m üstünde olan yapılarda T'nin tahmini değeri $2\ d^{1/2}$ olarak alınabilir. d, metre cinsinden yapının en üst noktasının yatay yer değiştirmesidir.

Yer değiştirmelerin sınırlandırılması ile ilgili olarak, taşıyıcı olmayan elemanların gevrek olduğu yapılarda (6.24) denklemi; taşıyıcı elemanların yapının deformasyonu ile ilişkisi olmayan binalarda (6.25) denklemi kullanılır.

$d_r / \nu = 0.004\ h$ (6.24)

$d_r / \nu = 0.006\ h$ (6.25)

Tablo 6.19'daki γ_I, önem faktörüyle ilişkili olan ν azaltma faktörü, Tablo 6.20'de verilmiştir.

Tablo 6.19 Önem Faktörü, γ_I

Önem Kategorisi	Yapılar	Önem Faktörü
I	Halkın korunması için önemli yapılar, yangın istasyonları, hastaneler, güç tesisleri	1.4
II	Okullar, toplantı salonları, enstitüler	1.2
III	Sıradan yapılar, diğer kategorilere uymayan yapılar	1.0
IV	Düşük önemi olan yapılar, tarımsal yapılar, vb.	0.8

Tablo 6.20 Azaltma Faktörü, ν

Önem Kategorisi	I	II	III	IV
Azaltma Faktörü, ν	2.5	2.5	2.0	2.0

d_r, katlar arası dizayn yer değiştirme değeri olup d_s ile d_{s-1} farkı şeklinde hesap edilir. d_s ise belirtilen noktanın yer değiştirmesini ifade eder ve aşağıdaki formülle bulunur;

$d_s = k_d * q_o * d_e * \gamma_I$ (6.26)

k_d, düktilite sınıf faktörünü ifade eder ve Tablo 6.21'de gösterilmiştir. q_o, davranış faktörünü ifade eder ve Tablo 6.18'de gösterilmiştir. d_e, yapısal sistemdeki yerin yer değiştirmesini ifade eder ve elastik analizle tayin edilir.

Tablo 6.21 Düktilite Sınıf Faktörü, k_d

Düktilite sınıfı	Yüksek	Orta	Düşük
k_d	1.00	0.75	0.50

6.3.2 Prefabrike Binalara İlişkin Özel Koşullar

Prefabrike yapılarda davranış faktörü q_p;

$q_p = k_p\, k_d\, q_o$ (6.27)

bağıntısıyla bulunur. Birleşim yerlerinin kritik bölgeden uzak yerleştirildiği prefabrike sistemlerde k_p, 1.0; enerji dağıtabilen sistemler veya güçlü birleşimlerle oluşturulan sistemlerde k_p, 0.75 ve davranış faktörü q_o, 1.0 değerini alır.

Kritik bölgeden uzak oluşturulmuş birleşimler, kritik bölgeden birleşecek elemanların kalınlığından daha büyük bir mesafede teşkil edilmelidir. Güçlü birleşimler, uygun bir şekilde dizayn edildikleri taktirde, kritik bölgede oluşturulabilirler ve böylece elastik olmayan davranış birleşim bölgesi dışında sağlanmış olur. Enerji dağıtabilen birleşimler ise yerel düktilite kurallarını sağlamalıdır.

Kritik bölgede sismik durumlar altındaki prefabrike elemanlar arasındaki birleşimlerin dizayn dayanımı;

$$R_{pd} = R_d / (\gamma_{Rd}\,\gamma_{cycl}) \tag{6.28}$$

bağıntısıyla bulunur. R_d, sabit yükleme altındaki dizayn dayanımını; γ_{Rd}, ilave model-kesin olmayış faktörünü; γ_{cycl} ise dayanımı azaltmak için hesaplanan azaltma faktörünü ifade eder ve aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$\gamma_{cycl} = 1 + 0.15q_p \geq 1.20 \tag{6.29}$$

Eksenel dayanım ve yüksek, orta ve düşük düktilite seviyeleri için γ_{Rd} sırasıyla; 1.2, 1.1 ve 1.0 değerlerini alır. Kayma dayanımı ve yüksek, orta ve düşük düktilite seviyeleri için γ_{Rd} sırasıyla; 1.35, 1.25 ve 1.15 değerlerini alır. Eksenel dayanım için γ_{cycl}, 1.15; düşey birleşimlerin kayma dayanımı için γ_{cycl}, 1.15 ve yatay birleşimlerin kayma dayanımı için γ_{cycl}, 1.20 değerlerini alır. Kritik bölge dışında oluşturulan birleşimlerin dizayn dayanımlarının, γ_{Rd} ve γ_{cycl} ile azaltılmasına gerek yoktur.

Dış ve iç duvar panellerinin birleşimlerine etki eden kuvvet, F_w;

$$F_w = \{\{[3\,\alpha\,\gamma_1\,(1 + Z / H)]\} / \{q_a\,[1 + (1 - T_w / T)]\}\}W_w \tag{6.30}$$

bağıntısıyla hesaplanır. q_a, iç veya dış duvarlar için davranış faktörü olup değeri 2.0'dir.Z, yapının temel üstünden itibaren duvar yüksekliğini; H, yapının toplam yüksekliğini; T_w, duvarın temel titreşim periyodunu ve T, yapının temel titreşim periyodunu ifade eder. Kritik bölge içerisinde yapılacak olan kolon - kolon birleşimlerine ise ancak düşük düktilite sınıflarında izin verilmektedir.

Bu bölümde son olarak yukarıda açıklanan üç farklı yönetmelikteki deprem hesaplama metodları kullanılarak, prefabrike duvar ve döşeme panolarıyla oluşturulmuş bir binanın, kat sayısı 2'den başlatılıp 10'a kadar arttırılarak, farklı

zemin türlerine göre taban kesme kuvvetleri bulunup; bu kesme kuvvetleri tablo ve grafik şeklinde sunulmuştur. Yapının kat yükseklikleri 2.70 m olup kat ağırlıkları Tablo 6.22'de verilmiştir.

Tablo 6.22 Kat Toplam Ağırlıkları

Kat No	G (kN)	Q (kN)
Çatı Katı	2796,01	495,095
Normal Kat	2918,22	581,97
Bodrum Kat	2964,135	581,97

Tablo 6.23'te ilk olarak, kat sayısına göre bina toplam ağırlıkları, yükseklikleri ve daha sonra bina toplam yüksekliklerine bağlı olarak yapının doğal titreşim periyotları bulunmuştur. Zemin cinsine göre değişen spektrum karakteristik periyotlar dikkate alınarak spektrum katsayıları, S(T) bulunmuştur. Spektrum katsayısına bağlı olarak spektral ivme katsayısı, A(T) hesaplanarak taban kesme kuvvetleri bulunmuştur. 10 katlı binada farklı olarak, bina toplam yüksekliği 25 m'nin üzerinde olduğundan ek eşdeğer deprem yükü, ΔF_N hesaba katılmıştır. Son olarak taban kesme kuvvetlerinin, 0.10 A_0 I W değerinden küçük olmama şartı kontrol edilmiştir.

Tablo 6.24'te ilk olarak, kat sayısına göre bina toplam ağırlıkları ve yükseklikleri bulunmuştur. Yakın kuvvet faktörü (N_v ve N_a) değerlerine bağlı olarak sismik katsayı (C_v ve C_a) değerleri hesaplanmış ve daha sonra bina toplam yüksekliklerine bağlı olarak yapının doğal titreşim periyotları bulunmuştur. Yapı davranış faktörü, R ve bina önem katsayısı, I değerleri de tablodan alınarak taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır. Son olarak hesaplamalarda dikkate alınan dördüncü sismik bölge için taban kesme kuvvetlerinin, 0.8 W Z Nv I / R değerinden küçük olmama şartı kontrol edilmiştir.

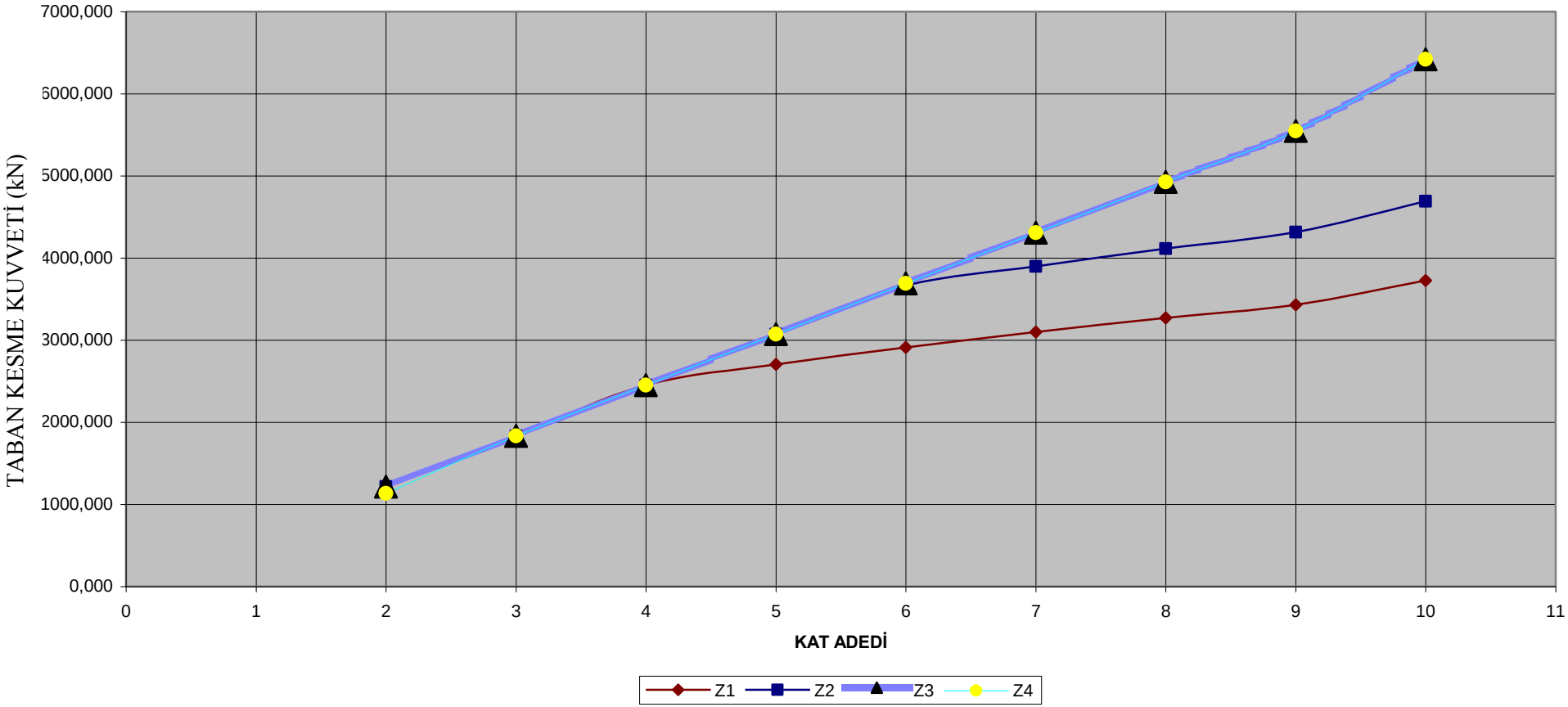
Tablo 6.25'te ilk olarak, kat sayısına göre bina toplam ağırlıkları, yükseklikleri ve daha sonra bina toplam yüksekliklerine bağlı olarak yapının doğal titreşim periyotları bulunmuştur. Elastik davranış spektrumu parametreleri (S, β_0, k_{d1}, k_{d2}, T_B, T_C, T_D), en olumsuz deprem bölgesi için α değeri ve davranış faktörü, q_0 kullanılarak dizayn spektrumu ve son olarak da sismik taban kesme kuvvetleri hesaplanmıştır.

Tablo 6.23.a ABYYHY'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre 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)	0,1*A_0*I*W
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	0,240	0,1	0,3	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z1	12268,887	10,8	0,298	0,1	0,3	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z1	15361,698	13,5	0,352	0,1	0,3	5	1	0,4	2,199	0,880	2702,651	614,468
6	Z1	18454,509	16,2	0,404	0,1	0,3	5	1	0,4	1,971	0,789	2910,345	738,180
7	Z1	21547,320	18,9	0,453	0,1	0,3	5	1	0,4	1,797	0,719	3097,898	861,893
8	Z1	24640,131	21,6	0,501	0,1	0,3	5	1	0,4	1,659	0,664	3269,804	985,605
9	Z1	27732,942	24,3	0,547	0,1	0,3	5	1	0,4	1,546	0,618	3429,124	1109,318
10	Z1	30825,753	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**	**A_0**	**S(T)**	**A(T)**	**V_t (kN)**	**0,1*A_0*I*W**
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	0,240	0,15	0,4	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z2	12268,887	10,8	0,298	0,15	0,4	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z2	15361,698	13,5	0,352	0,15	0,4	5	1	0,4	2,500	1,000	3072,340	614,468
6	Z2	18454,509	16,2	0,404	0,15	0,4	5	1	0,4	2,481	0,993	3663,494	738,180
7	Z2	21547,320	18,9	0,453	0,15	0,4	5	1	0,4	2,262	0,905	3899,583	861,893
8	Z2	24640,131	21,6	0,501	0,15	0,4	5	1	0,4	2,088	0,835	4115,975	985,605
9	Z2	27732,942	24,3	0,547	0,15	0,4	5	1	0,4	1,946	0,778	4316,524	1109,318
10	Z2	30825,753	27	0,592	0,15	0,4	5	1	0,4	1,826	0,731	4690,709	1233,030

Tablo 6.23.b ABYYHY'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre 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)	$0,1*A_0*I*W$
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	0,240	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z3	12268,887	10,8	0,298	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z3	15361,698	13,5	0,352	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	3072,340	614,468
6	Z3	18454,509	16,2	0,404	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	3690,902	738,180
7	Z3	21547,320	18,9	0,453	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	4309,464	861,893
8	Z3	24640,131	21,6	0,501	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	4928,026	985,605
9	Z3	27732,942	24,3	0,547	0,15	0,6	5	1	0,4	2,500	1,000	5546,588	1109,318
10	Z3	30825,753	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)**	**$0,1*A_0*I*W$**
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	0,240	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	1835,215	367,043
4	Z4	12268,887	10,8	0,298	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	2453,777	490,755
5	Z4	15361,698	13,5	0,352	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	3072,340	614,468
6	Z4	18454,509	16,2	0,404	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	3690,902	738,180
7	Z4	21547,320	18,9	0,453	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	4309,464	861,893
8	Z4	24640,131	21,6	0,501	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	4928,026	985,605
9	Z4	27732,942	24,3	0,547	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	5546,588	1109,318
10	Z4	30825,753	27	0,592	0,2	0,9	5	1	0,4	2,500	1,000	6420,735	1233,030



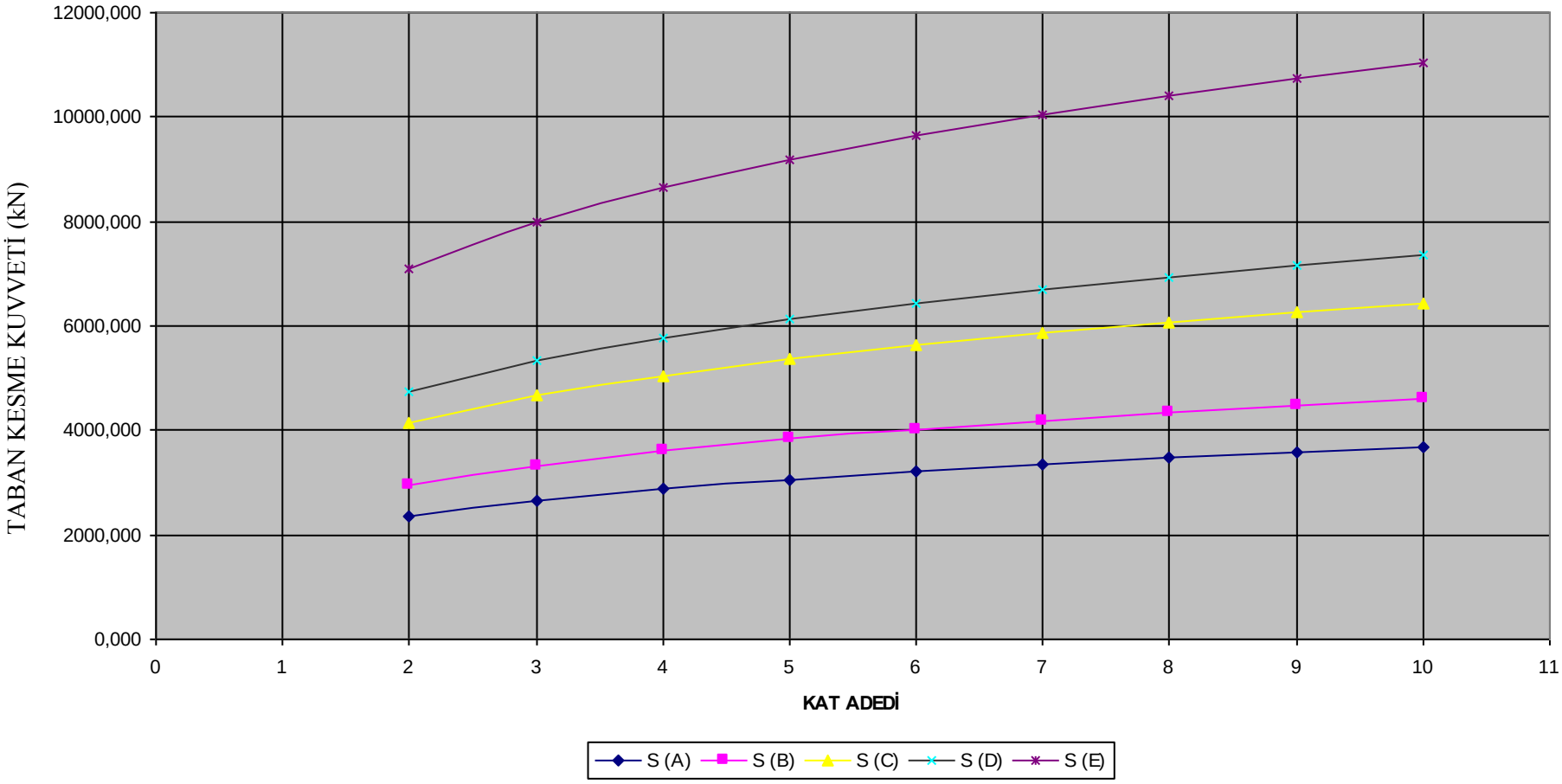
Şekil 6.1 ABYYHY'de, Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adedine ve Zemin Türlerine Göre Değişimi

Tablo 6.24.a UBC 97'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre 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)**	**0,8*W*Z*N_v*I/R**
2	S (A)	5900,200	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)	12085,822	10,8	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,298	4,5	2885,199	859,436
5	S (A)	15178,633	13,5	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,352	4,5	3065,136	1079,369
6	S (A)	18271,444	16,2	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,404	4,5	3218,134	1299,303
7	S (A)	21364,255	18,9	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,453	4,5	3352,037	1519,236
8	S (A)	24457,066	21,6	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,501	4,5	3471,614	1739,169
9	S (A)	27549,877	24,3	0,4	1	1	0,32	0,32	1	0,547	4,5	3579,995	1959,102
10	S (A)	30642,688	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)**	**0,8*W*Z*N_v*I/R**
2	S (B)	5900,200	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)	12085,822	10,8	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,298	4,5	3606,499	859,436
5	S (B)	15178,633	13,5	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,352	4,5	3831,420	1079,369
6	S (B)	18271,444	16,2	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,404	4,5	4022,667	1299,303
7	S (B)	21364,255	18,9	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,453	4,5	4190,047	1519,236
8	S (B)	24457,066	21,6	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,501	4,5	4339,518	1739,169
9	S (B)	27549,877	24,3	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,547	4,5	4474,994	1959,102
10	S (B)	30642,688	27	0,4	1	1	0,4	0,4	1	0,592	4,5	4599,192	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)**	**0,8*W*Z*N_v*I/R**
2	S (C)	5900,200	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)	12085,822	10,8	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,298	4,5	5049,099	859,436
5	S (C)	15178,633	13,5	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,352	4,5	5363,988	1079,369
6	S (C)	18271,444	16,2	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,404	4,5	5631,734	1299,303
7	S (C)	21364,255	18,9	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,453	4,5	5866,065	1519,236
8	S (C)	24457,066	21,6	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,501	4,5	6075,325	1739,169
9	S (C)	27549,877	24,3	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,547	4,5	6264,991	1959,102
10	S (C)	30642,688	27	0,4	1	1	0,56	0,4	1	0,592	4,5	6438,868	2179,036

Tablo 6.24.b UBC 97'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre Taban Kesme Kuvvetleri

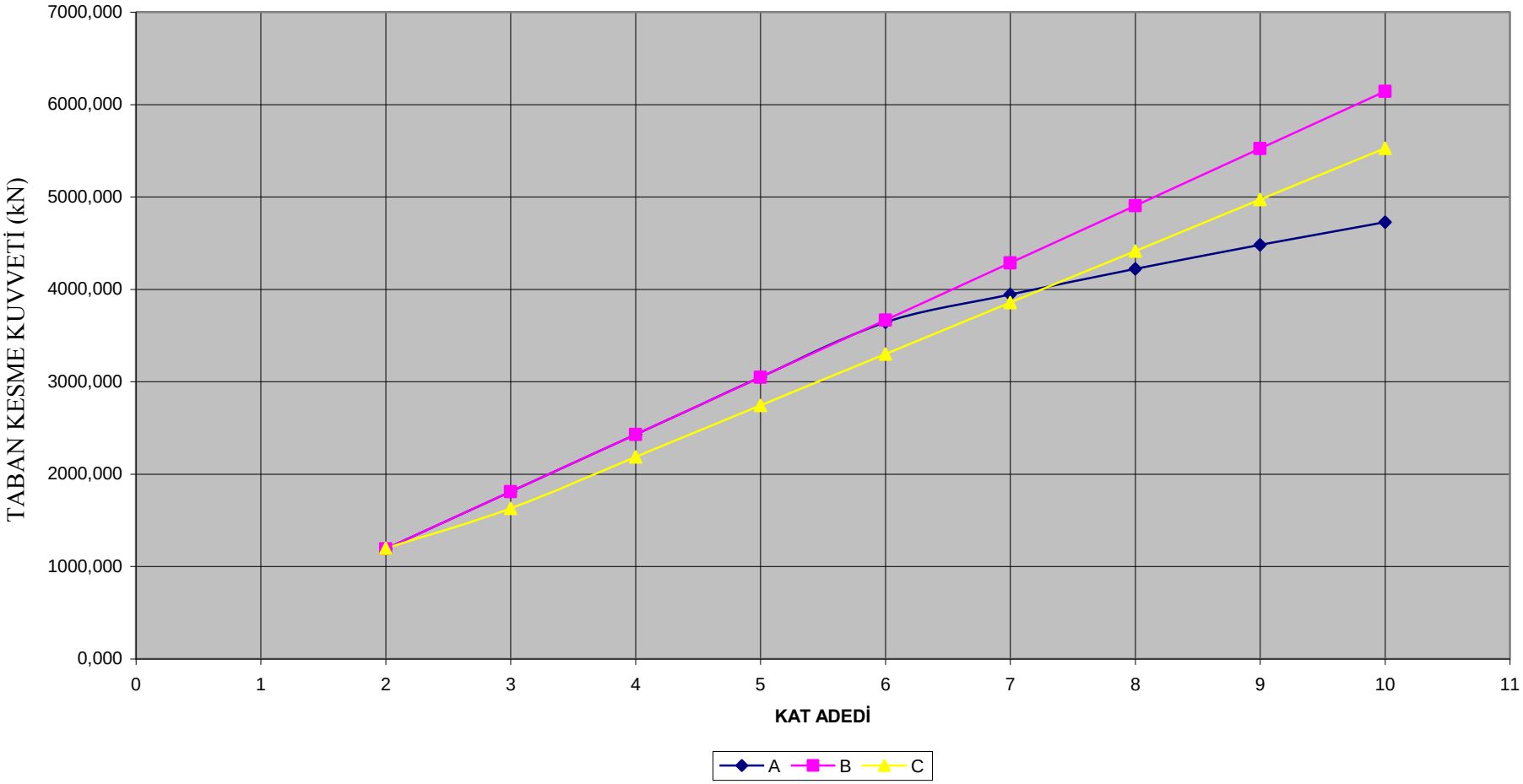
Kat Adedi	**Zemin Cinsi**	**W (kN)**	**H_n (m)**	**Z**	**N_V**	**N_a**	**C_V**	**C_a**	**I**	**T**	**R**	**V_t (kN)**	**0,8*W*Z*N_v*I/R**
2	S (D)	5900,200	5,4	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,177	4,5	4737,714	419,570
3	S (D)	8993,011	8,1	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,240	4,5	5327,688	639,503
4	S (D)	12085,822	10,8	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,298	4,5	5770,399	859,436
5	S (D)	15178,633	13,5	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,352	4,5	6130,272	1079,369
6	S (D)	18271,444	16,2	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,404	4,5	6436,267	1299,303
7	S (D)	21364,255	18,9	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,453	4,5	6704,075	1519,236
8	S (D)	24457,066	21,6	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,501	4,5	6943,229	1739,169
9	S (D)	27549,877	24,3	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,547	4,5	7159,990	1959,102
10	S (D)	30642,688	27	0,4	1	1	0,64	0,44	1	0,592	4,5	7358,707	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)**	**0,8*W*Z*N_v*I/R**
2	S (E)	5900,200	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)	12085,822	10,8	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,298	4,5	8655,598	859,436
5	S (E)	15178,633	13,5	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,352	4,5	9195,409	1079,369
6	S (E)	18271,444	16,2	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,404	4,5	9654,401	1299,303
7	S (E)	21364,255	18,9	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,453	4,5	10056,112	1519,236
8	S (E)	24457,066	21,6	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,501	4,5	10414,843	1739,169
9	S (E)	27549,877	24,3	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,547	4,5	10739,985	1959,102
10	S (E)	30642,688	27	0,4	1	1	0,96	0,36	1	0,592	4,5	11038,060	2179,036



Şekil 6.2 UBC 97'de, Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adedine ve Zemin Türlerine Göre Değişimi

Tablo 6.25 EC 8'de Farklı Zemin Türleri ve Kat Yüksekliklerine Göre Taban Kesme Kuvvetleri

Kat Adedi	Zemin Cinsi	W (kN)	H_n (m)	T	T (B)	T (C)	T (D)	q_0	S_d	F_b (kN)
2	A	5961,240	5,4	0,177	0,1	0,4	3	5	0,200	1192,248
3	A	9054,051	8,1	0,240	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	24518,106	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)**	**q_0**	**S_d**	**F_b (kN)**
2	B	5961,240	5,4	0,177	0,15	0,6	3	5	0,200	1192,248
3	B	9054,051	8,1	0,240	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	24518,106	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	0,15	0,6	3	5	0,200	6140,746
Kat Adedi	**Zemin Cinsi**	**W (kN)**	**H_n (m)**	**T**	**T (B)**	**T (C)**	**T (D)**	**q_0**	**S_d**	**F_b (kN)**
2	C	5961,240	5,4	0,177	0,2	0,8	3	5	0,201	1195,782
3	C	9054,051	8,1	0,240	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	24518,106	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 6.3 EC 8'de, Taban Kesme Kuvvetlerinin Kat Adedine ve Zemin Türlerine Göre Değişimi

7. SAYISAL UYGULAMA

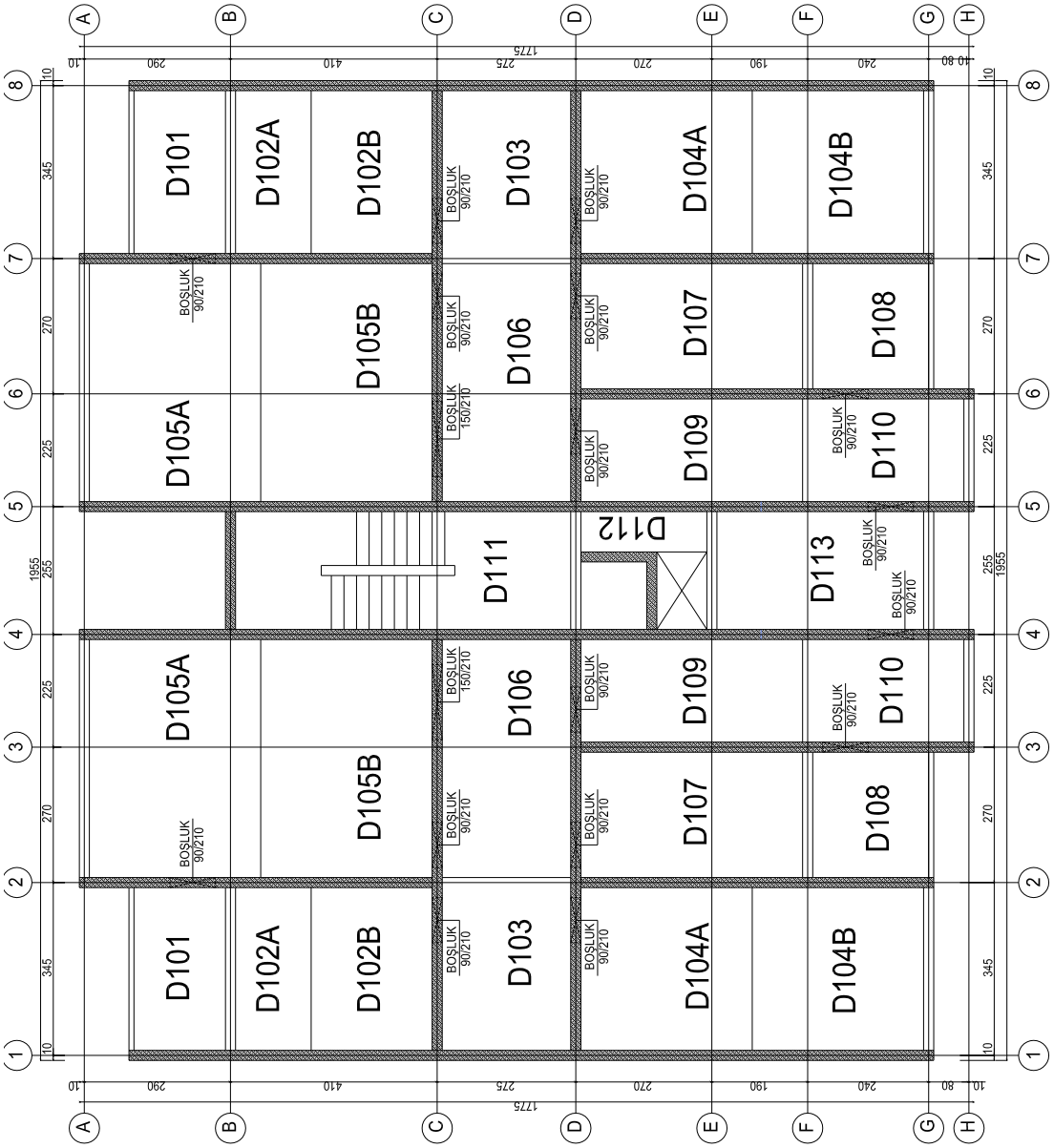
Bu bölümde prefabrike büyük duvar ve döşeme panolarıyla oluşturulan, kalıp planları Şekil 7.1'de gösterilen 4, 6 ve 8 katlı konut binalarının SAP 2000 programında Mod Birleştirme Yöntemi ile analizleri yapılmıştır.

Yapıların plandaki boyutları Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Kat yükseklikleri 2.70 m olup yapı birinci derecede deprem bölgesinde bulunmaktadır. Yapının oturduğu zemin yumuşak killi zayıf bir zemindir ve kat toplam ağırlıkları Tablo 7.1'de verilmiştir.

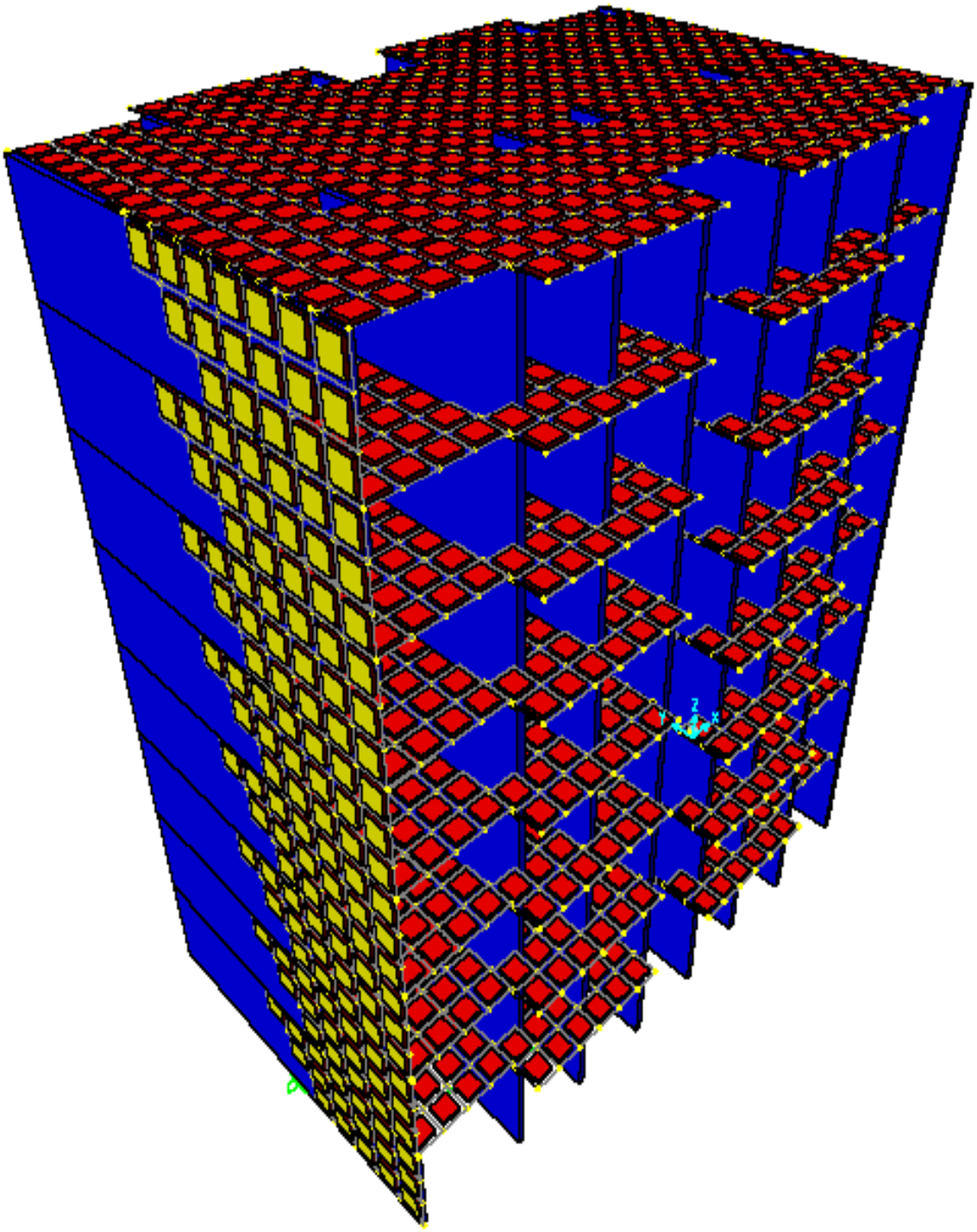
Tablo 7.1 Kat Toplam Ağırlıkları

Kat No	G (kN)	Q (kN)
Çatı Katı	2796,01	495,095
Normal Kat	2918,22	581,97
Bodrum Kat	2964,135	581,97

Yapının 3 boyutlu olarak modellenmesinde, birbirleriyle birleşimleri sağlanan duvar panolarının yatay yüklere göre sürekli bir perde; döşemelerin ise rijit bir plak gibi davrandığı öngörülmüştür. Her iki yönde oluşturulan perdeler yapının ana taşıyıcı sistemini meydana getirmiştir. Analizden elde edilen verilerle bağlantı elemanlarındaki rijitlik dereceleri (R=1.00, R=0.75 ve R=0.50) dikkate alınarak değişik kat sayılarına göre, maksimum - minimum kat deplasmanları ve oluşan iç kuvvetler hesaplanmıştır.



Şekil 7.1 Prefabrike Betonarme Panolu Sistem Kalıp Planı



Şekil 7.2 SAP 2000 Programı ile Modellenen Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

7.1 Farklı Kat Adetlerine Göre Maksimum ve Minimum Kat Deplasmanları

Deprem yükleri göz önüne alınarak, her bir kata ait maksimum ve minimum kat deplasmanları, prefabrike betonarme panolu yapının yatay ve düşey birleşim yerlerindeki rijitlik dereceleri de (R=1.00, R=0.75 ve R=0.50) dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Bulunan maksimum ve minimum deplasman değerleri, sırasıyla dört, altı ve sekiz katlı prefabrike panolu yapılar için oluşturulan tablolarda gösterilmiş olup deplasman değerlerinin değişimleri incelenmiştir.

Tablo 7.2 4 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m)	R=0,50				R=0,75				R=1,00			
	X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü	
	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.
1. Kat	0,000201	0,000173	0,000551	0,000484	0,000122	0,000105	0,000332	0,000292	0,000097	**0,000084**	0,000266	**0,000233**
2. Kat	0,000543	0,000471	0,001300	0,001150	0,000328	0,000284	0,000784	0,000694	0,000262	0,000227	0,000628	0,000555
3. Kat	0,000859	0,000748	0,002034	0,001829	0,000519	0,000451	0,001228	0,001104	0,000415	0,000361	0,000982	0,000883
4. Kat	**0,001045**	0,000945	**0,002628**	0,002399	0,000630	0,000570	0,001586	0,001448	0,000504	0,000456	0,001269	0,001158

Tablo 7.3 6 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m)	R=0,50				R=0,75				R=1,00			
	X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü	
	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.
1. Kat	0,000375	0,000354	0,000948	0,000867	0,000234	0,000222	0,000592	0,000542	0,000188	**0,000177**	0,000474	**0,000433**
2. Kat	0,001065	0,001010	0,002415	0,002244	0,000665	0,000632	0,001509	0,001402	0,000532	0,000505	0,001207	0,001122
3. Kat	0,001806	0,001715	0,004112	0,003863	0,001129	0,001072	0,002570	0,002415	0,000903	0,000858	0,002056	0,001932
4. Kat	0,002467	0,002343	0,005835	0,005535	0,001542	0,001465	0,003647	0,003460	0,001233	0,001172	0,002917	0,002768
5. Kat	0,002977	0,002829	0,007431	0,007110	0,001861	0,001768	0,004644	0,004444	0,001488	0,001415	0,003715	0,003555
6. Kat	**0,003283**	0,003164	**0,008809**	0,008500	0,002052	0,001977	0,005506	0,005312	0,001642	0,001582	0,004405	0,004250

Tablo 7.4 8 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Kat Deplasmanları

Kat Deplasmanları (m)	R=0,50				R=0,75				R=1,00			
	X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü		X Yönü		Y Yönü	
	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.	Mak.	Min.
1. Kat	0,000529	0,000514	0,001325	0,001223	0,000331	0,000321	0,000828	0,000765	0,000264	**0,000257**	0,000663	**0,000611**
2. Kat	0,001535	0,001494	0,003522	0,003344	0,000959	0,000934	0,002201	0,002090	0,000767	0,000747	0,001761	0,001671
3. Kat	0,002679	0,002609	0,006248	0,005989	0,001674	0,001631	0,003905	0,003743	0,001339	0,001305	0,003124	0,002994
4. Kat	0,003801	0,003703	0,009258	0,008942	0,002376	0,002314	0,005786	0,005588	0,001901	0,001851	0,004629	0,004471
5. Kat	0,004810	0,004686	0,012356	0,011999	0,003006	0,002929	0,007722	0,007499	0,002405	0,002343	0,006178	0,005999
6. Kat	0,005649	0,005503	0,015381	0,015000	0,003531	0,003439	0,009613	0,009375	0,002824	0,002751	0,007690	0,007500
7. Kat	0,006288	0,006126	0,018215	0,017831	0,003930	0,003829	0,011385	0,011144	0,003144	0,003063	0,009108	0,008915
8. Kat	**0,006699**	0,006571	**0,020796**	0,020435	0,004187	0,004107	0,012998	0,012772	0,003349	0,003285	0,010398	0,010217

Yukarıdaki tablolar incelendiğinde yapının yatay ve düşey birleşim yerlerinde değiştirilen rijitlik derecelerine göre;

4 katlı prefabrike panolu yapıda X ve Y yönündeki maksimum deplasmanlar R=0,50 değeri için 4. katta oluşmuştur. Minimum deplasmanlar ise R=1,00 değeri için 1. katta oluşmuştur.

6 katlı prefabrike panolu yapıda X ve Y yönündeki maksimum deplasmanlar R=0,50 değeri için 6. katta oluşmuştur. Minimum deplasmanlar ise R=1,00 değeri için 1. katta oluşmuştur.

8 katlı prefabrike panolu yapıda X ve Y yönündeki maksimum deplasmanlar R=0,50 değeri için 8. katta oluşmuştur. Minimum deplasmanlar ise R=1,00 değeri için 1. katta oluşmuştur.

Prefabrike panolu yapıdaki kat deplasmanları incelendiğinde taşıyıcı sistemin yatay ve düşey birleşim yerleri daha rijit yapıldıkça maksimum ve minimum kat deplasmanlarının azaldığı görülmüştür. Kat deplasmanlarının düşük değerlerde seyretmesini, sistemin simetrik olması ile meydana gelen moment çifti ile açıklayabiliriz.

7.2 Farklı Kat Adetlerine Göre Maksimum İç Kuvvetler

Farklı yükleme durumları göz önüne alınarak Mod Birleştirme Yöntemi'ne göre SAP 2000'de modellenip analiz edilen sırasıyla 4, 6 ve 8 katlı prefabrike panolu yapıların en elverişsiz koşuldaki 34 numaralı elemanında oluşan iç kuvvetler (normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti) tablolar halinde gösterilmiştir. Söz konusu iç kuvvetlerin hesaplanmasında birleşim elemanlarındaki rijitlik dereceleri de (R=1.00, R=0.75 ve R=0.50) dikkate alınmıştır.

Tablo 7.5 4 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Maksimum İç Kuvvetler

Eleman Numarası	Etkime Mesafesi (m)	Yükleme Durumu	N (kN)			V (kN)			M (kN-m)		
			R=0,50	R=0,75	R=1,00	R=0,50	R=0,75	R=1,00	R=0,50	R=0,75	R=1,00
34	0,00	Ölü Yük	-250,696	-250,696	-250,696	1,347	1,347	1,347	-5,4501	-5,4501	-5,4501
34	3,00	Ölü Yük	-165,869	-165,869	-165,869	1,347	1,347	1,347	-9,4925	-9,4925	-9,4925
34	0,00	Hareketli Yük	-31,711	-31,711	-31,711	0,289	0,289	0,289	-1,4927	-1,4927	-1,4927
34	3,00	Hareketli Yük	-31,711	-31,711	-31,711	0,289	0,289	0,289	-2,36	-2,36	-2,36
34	0,00	Deprem Yükü	97,137	121,421	201,283	62,974	78,717	130,456	269,5261	336,9076	558,3236
34	3,00	Deprem Yükü	97,137	121,421	201,283	62,974	78,717	130,456	80,6312	100,789	167,0091

Tablo 7.6 6 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Maksimum İç Kuvvetler

Eleman Numarası	Etkime Mesafesi (m)	Yükleme Durumu	N (kN)			V (kN)			M (kN-m)		
			R=0,50	R=0,75	R=1,00	R=0,50	R=0,75	R=1,00	R=0,50	R=0,75	R=1,00
34	0,00	Ölü Yük	-286,993	-286,993	-286,993	1,474	1,474	1,474	-6,4385	-6,4385	-6,4385
34	3,00	Ölü Yük	-202,166	-202,166	-202,166	1,474	1,474	1,474	-10,8603	-10,8603	-10,8603
34	0,00	Hareketli Yük	-36,508	-36,508	-36,508	0,309	0,309	0,309	-1,7664	-1,7664	-1,7664
34	3,00	Hareketli Yük	-36,508	-36,508	-36,508	0,309	0,309	0,309	-2,6932	-2,6932	-2,6932
34	0,00	Deprem Yükü	245,077	306,347	490,154	103,727	129,659	207,455	535,53	669,4124	1071,0599
34	3,00	Deprem Yükü	245,077	306,347	490,154	103,727	129,659	207,455	224,3505	280,4382	448,7011

Tablo 7.7 8 Katlı Prefabrike Panolu Yapıdaki Maksimum İç Kuvvetler

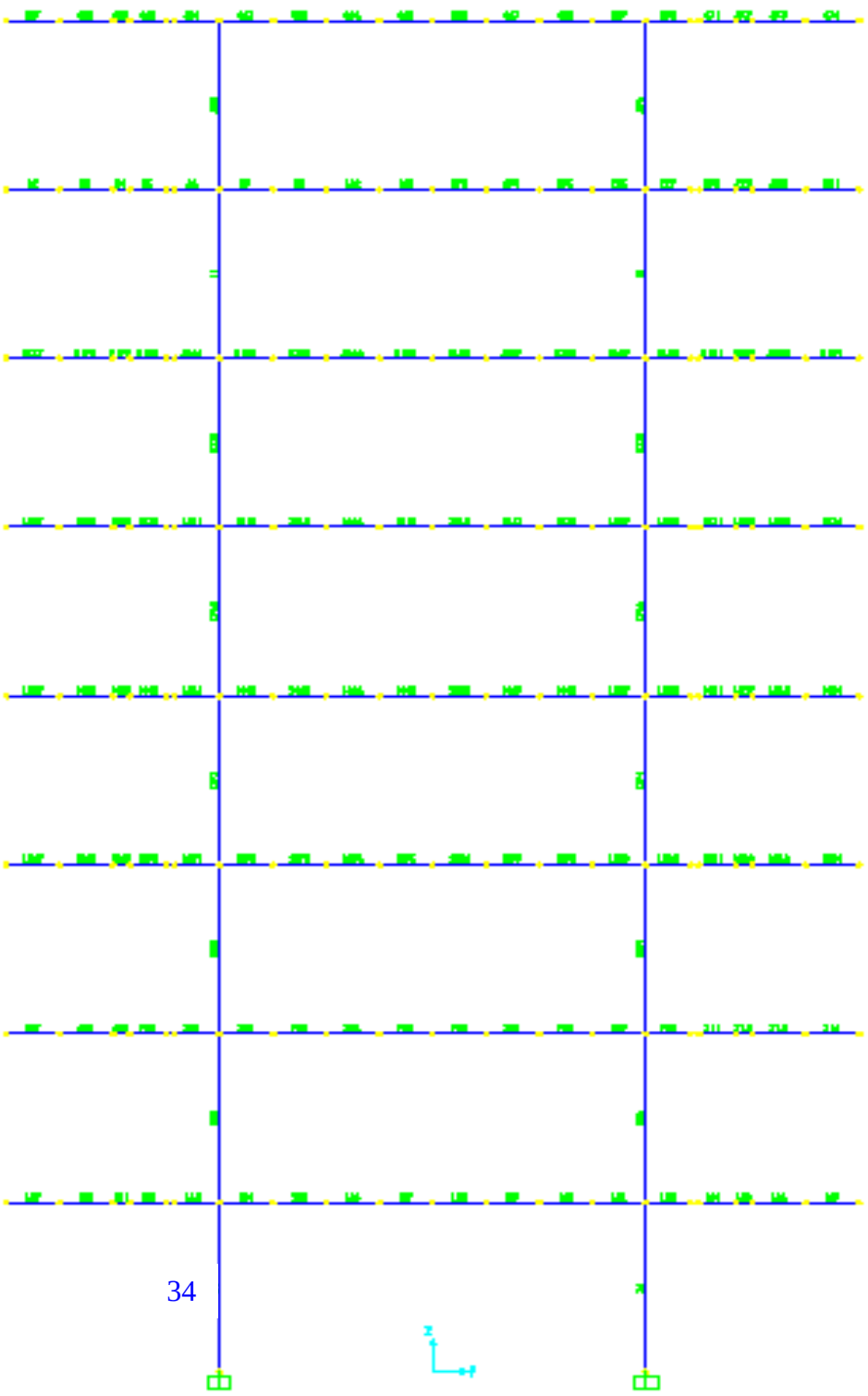
Eleman Numarası	Etkime Mesafesi (m)	Yükleme Durumu	N (kN)			V (kN)			M (kN-m)		
			R=0,50	R=0,75	R=1,00	R=0,50	R=0,75	R=1,00	R=0,50	R=0,75	R=1,00
34	0,00	Ölü Yük	-286,993	-319,136	-319,136	1,474	1,563	1,563	-6,4385	-7,0477	-7,0477
34	3,00	Ölü Yük	-202,166	-234,309	-234,309	1,474	1,563	1,563	-10,8603	-11,737	-11,737
34	0,00	Hareketli Yük	-36,508	-41,09	-41,09	0,309	0,326	0,326	-1,7664	-1,9262	-1,9262
34	3,00	Hareketli Yük	-36,508	-41,09	-41,09	0,309	0,326	0,326	-2,6932	-2,9051	-2,9051
34	0,00	Deprem Yükü	245,077	425,383	531,729	103,727	135,905	169,882	634,53	802,2404	1402,8005
34	3,00	Deprem Yükü	245,077	425,383	531,729	103,727	135,905	169,882	324,8505	394,5268	493,1585

Tablolarda bahsi geçen eleman numarası SAP 2000 programı ile modellenen yapının Şekil 7.3'te gösterilen y-z düzlemindeki kesitinde yer almaktadır. Numarası 34 olarak ifade edilen söz konusu düşey eleman, analiz sonucunda deprem yüklerine karşı en olumsuz davranış gösteren eleman olarak tespit edilmiştir.

Yukarıdaki tablolar incelendiğinde yapının yatay ve düşey birleşim yerlerinde değiştirilen rijitlik derecelerine göre;

4 katlı prefabrike panolu yapının 34 No'lu düşey elemanında maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti deprem durumunda R=1,00 olduğu durumda meydana gelmiştir. Aynı şekilde 6 katlı ve 8 katlı prefabrike panolu yapılar için bulunan değerler de göstermiştir ki; maksimum iç kuvvetler R=1 olduğu durumda 34 No'lu düşey elemanda oluşmuştur.

Modellemesi ve analizi SAP 2000 Programı yardımıyla yapılan prefabrike betonarme panolu bir yapıda yatay ve düşey birleşim yerlerindeki rijitlikler, yarı rijitten tam rijite doğru değişirken katlarda meydana gelen deplasmanlarda azalış, buna karşılık iç kuvvetlerde artış meydana gelmiştir.



Şekil 7.3 SAP 2000 Programı ile Modellenen Yapının Y-Z Düzleminde Görünüşü

7.3 Taşıyıcı Duvar Panolarının Hesabı

Bu kısımda ağırlıkları Tablo 7.8'de verilen taşıyıcı duvar panolarının hesabı yapılmıştır. Düşey yükler ve deprem etkileri nedeniyle panolara etkiyebilecek bütün kuvvetler bu hesaplarda göz önüne alınmıştır. Taşıyıcı duvar panolarının düşey yüklerden gelen N basınç kuvvetini, yatay yüklerden gelen V (kesme) ve N_z (normal) kuvvetini, düzlemi içindeki yatay kuvvetlerin M eğilme momentini, düzlemine dik yatay kuvvetlerin M_{cd} eğilme momentini, dış merkezlikler düzlemine dik doğrultuda M_c eğilme momentini, eşit olmayan mesnet çökmelerinden gelen V_t kesme kuvvetini güvenlikle taşıdığı hesapta gösterilmelidir [3].

Ayrıca duvar panosu düzlemine dik doğrultuda burkulmamalı, panoda diyagonal çatlak oluşmamalı, en büyük basınç gerilmesi etkisinde pano köşesinde ve altındaki harç veya betonda ezilme olmamalı ve tekil yük etkimesi halinde, panonun bölgesel güvenliği sağlanmalıdır.

Tablo 7.8 Pano Ağırlıkları

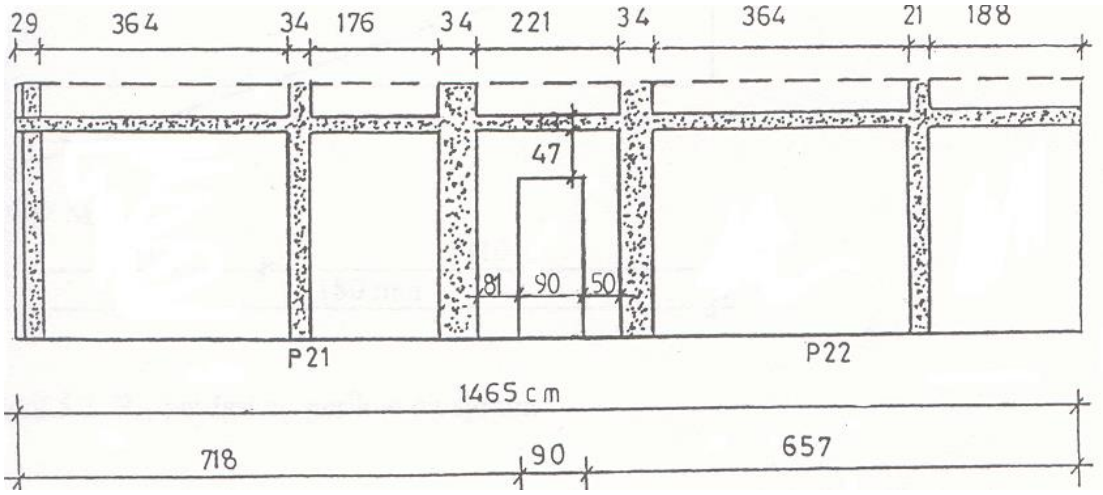
Pano	l (cm)	d (cm)	h (cm)	Pencere	Kapı	Adet	Betonarme Ağırlığı (kN)	Yalıtım, Kasa, Minha Ağırlığı (kN)	Hesap Ağırlığı (kN)
DP 101	364	28	270	-	-	2	58,97	0,59	59,56
DP 102	176	28	270	-	-	2	28,51	0,29	28,80
DP 103	221	28	270	-	-	2	35,80	0,36	36,16
DP 104	364	28	270	-	-	2	58,97	0,59	59,56
DP 105	154	28	270	-	-	4	24,95	0,25	25,20
DP 106	244	28	270	-	80/210	4	39,53	10,93	30,34
DP 107	223	28	270	-	80/210	4	36,13	10,93	26,91
DP 108	133	28	270	-	-	4	21,55	0,22	21,76
DP 109	244	28	270	-	-	4	39,53	0,40	39,92
DP 110	226	28	270	50/220	-	2	36,61	7,27	30,68
CP 101	340	20	270	144/135	-	4	36,72	8,63	29,79
CP 102	480	20	270	284/135	-	4	51,84	16,42	37,58
CP 103	220	20	270	120/127	-	4	23,76	6,76	18,32
CP 104	215	20	270	110/100	-	2	23,22	5,05	19,47
P 101	188	16	270	-	-	3	20,30	-	20,30
P102	364	16	257	-	-	4	37,42	-	37,42
P103	394	16	257	-	-	4	40,50	-	40,50
P104	386	16	257	-	-	4	39,68	-	39,68
P105	611	16	257	-	100/210	4	62,81	8,90	54,91
P106	483	16	257	-	90/210	4	49,65	8,06	42,59
P107	157	16	257	-	-	2	16,14	-	16,14
P108	574	16	257	-	90/210	4	59,01	15,62	44,89
P109	214	16	257	-	150/210	4	22,00	13,10	9,91
P110	581	16	257	-	90/210	4	59,73	17,58	44,63
P111	191	16	257	-	-	4	19,63	8,54	11,59
P112	114	16	257	-	-	2	11,72	-	11,72
P113	364	16	257	-	-	1	37,42	-	37,42
P114	176	16	257	-	-	1	18,09	-	18,09
P115	221	16	257	-	-	1	22,72	-	22,72
P116	364	16	257	-	-	1	37,42	-	37,42

7.3.1 Bağ Elemanlarının Hesabı

a) Düşey Bağ Elemanlarının Hesabı :

Yapıya etkiyen kuvvetlerin oluşturduğu düşey çekme kuvvetleri, temele kenetli düşey bağ elemanlarıyla aktarılmalıdır. Büyük panolarla yapılan bu yapıda söz konusu düşey çekme kuvvetleri, panolar arasındaki düşey birleşimlerin içerisine konulacak düşey donatılarla taşınacaktır. Ayrıca bu düşey donatıların yanı sıra gerekli yerlerde pano kenarlarına kat boyunca devam edecek olan bulonlar konulacaktır. Bu bulonlar üst katlarda da gerekli olan yerlere kadar devam ettirilecektir.

Burada (1-1) aksının bodrum katında yer alan panolar göz önüne alınarak düşey bağ elemanları hesaplanmıştır.



Şekil 7.4 (1-1) Aksı Bodrum Kat Perdeleri

P21 perdesi için düşey bağ elemanlarının hesabı:

$F = 0.16*7.18 = 1.149\ m^2$ $W = b*h^2/6 = 0.16*7.18^2/6 = 1.375\ m^3$

$M_{za} = -1402.80$ kNm $V_{za} = 531.73$ kN

$M_{zü} = -493.16$ kNm $V_{zü} = 531.73$ kN

Düşey yükten : N = 360.23 kN

Depremden : $N_z = \pm 531.73$ kN

$N_1 = 360.23+531.73 = 891.96$ kN

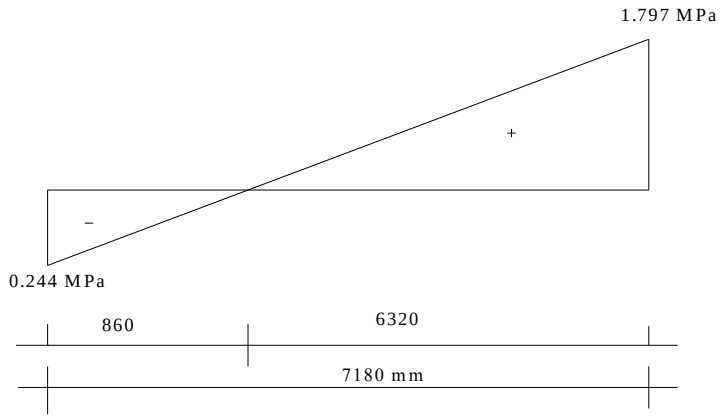
$N_2 = 360.23-531.73 = -171.50$ kN

Altta Gerilmeler : $\sigma_a = (N/F) \pm (M/W)$

$\sigma_{11} = 1796.51\ kN/m^2 = 1.797$ MPa

σ_{12}= -243.93 kN/m^2 = -0.244MPa

Buradan : σ_{max} = 1.797 MPa ve σ_{min} = -0.244 MPa olarak belirlenir.



Şekil 7.5 P21 Perdesi Alt Gerilme Diyagramı

Çekme Kuvveti : T = 0.5*0.244*1770*160 = 34550.40 N

A_s = T/0.70*f_{yk} = 34550.40/0.70*420 = 1.17 cm^2

$A_{s,min}$ = 0.0005*b_w*l_w = 0.0005*160*7180 = 5.74 cm^2

T_4 = 44*b = 44*7.18 = 315.92 kN

A_s = 315920/0.70*420 = 10.75 cm^2

Her bir düşey birleşime konulacak düşey donatı = 4∅14 (6.16 cm^2)

Toplam = 12∅14 (18.48 cm^2)

Panonun sağ ucuna deprem sırasında oluşabilecek çekme kuvvetlerini karşılamak için mevcut donatılara ek olarak M 30'luk bulon konulacaktır. Bu bulon üst kata kadar devam ettirilecektir.

P22 perdesi için düşey bağ elemanlarının hesabı :

F = 0.16*6.57= 1.051 m² W = b*h^2/6 = 0.16*6.57^2/6 = 1.151 m³

M_{za} = -1402.80 kNm V_{za} = 531.73 kN

$M_{zü}$ = -493.16 kNm $V_{zü}$ = 531.73 kN

Düşey yükten : N = 360.23 kN

Depremden : N_z = ± 531.73 kN

N_1 = 360.23+531.73 = 891.96 kN

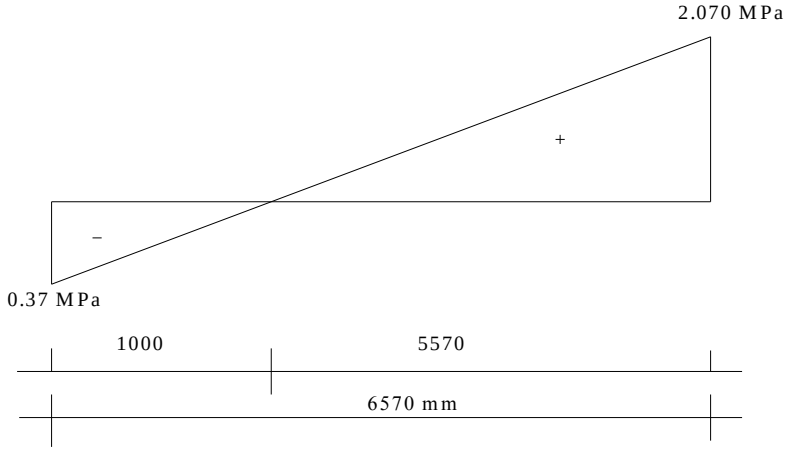
N_2 = 360.23-531.73 = -171.50 kN

Altta Gerilmeler : σ_a = (N/F) ± (M/W)

σ_{11}= 2067.44 kN/m2 = 2.07 MPa

σ_{12}= -370.10 kN/m2 = -0.37 MPa

Buradan : σ_{max} = 2.070 MPa ve σ_{min} = -0.37 MPa olarak belirlenir.



Şekil 7.6 P22 Perdesi Alt Gerilme Diyagramı

Çekme Kuvveti : T = 0.5*0.37*1560*160 = 46176.00 N

A_s = T/0.70*f_{yk} = 46176.00/0.70*420 = 1.57 cm^2

$A_{s,min}$ = 0.0005*b_w*l_w = 0.0005*160*6570 = 5.26 cm^2

T_4 = 44*b = 44*6.57 = 289.08 kN

A_s = 289080/0.70*420 = 9.83 cm^2

Her bir düşey birleşime konulacak düşey donatı = 4∅14 (6.16 cm^2)

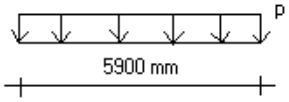
Toplam = 8∅14 (12.32 cm^2)

Panonun sağ ve sol uçlarına deprem sırasında oluşabilecek çekme kuvvetlerini karşılamak için mevcut donatılara ek olarak M30'luk bulonlar konulacaktır. Bu bulonlar üst kata kadar devam ettirilecektir.

b) Yatay Bağ Elemanlarının Hesabı

Kat döşemeleri, düzlemindeki yatay yükleri yatay yük taşıyan taşıyıcı duvarlara veya çerçeve kirişlerine aktarıp, kat döşemesinin her iki doğrultuda bir kafes kiriş veya gergili kemer gibi davranmasını sağlayabilmelidir. Bu diyafram davranışı sağlayabilmek için yatay bağ hatılları ve bağ çubuklarından oluşan yatay bağ sistemleri teşkil edilmelidir.

Burada (1-1) aksının bodrum katında yer alan panolar göz önüne alınarak yatay bağ elemanları hesaplanacaktır.



Şekil 7.7 Konsol Kiriş Yayılı Yük

p= 1905.07/14.65 = 130.04 kN/m

p= 130.04/5 = 26.01 kN/m (Bir kata gelen yük)

M_k= 26.01*5.902/2 = 452.704 kNm

z= 0.80*h_p= 0.8*2.70 = 2.16 m (Ortalama manivele kolu)

F= 452.704/2.16= 209.59kN > T_2=70 kN

A_s= 209590/(0.70*420) = 7.13 cm^2

Seçilen donatı 4∅16 (8.04 cm^2)

İki döşemenin açıklıktaki yatay birleşimlerine 4∅10 BÇ III donatı konulacaktır.

Döşeme ile taşıyıcı olamayan cephe panoları birleşim bölgesine 4∅10 BÇ III donatı konulacaktır.

7.3.2 Panolar Arası Düşey Kayma Güvenliğinin Sağlanması

a) Pano Kesme Kuvvetlerinin Belirlenmesi :

Panolara etkiyen normal kuvvetler pano boyunca düzgün yayılı olarak etkimektedir. Bu nedenle normal kuvvetlerin kesme kuvveti doğurmadığı kabul edilerek, panolara etkiyen momentlerin oluşturduğu kesme kuvvetleri bulunup, buna göre düşey kayma güvenliğinin olup olmadığı kontrol edilecektir.

P21 perdesi için kesme kuvvetlerinin belirlenmesi :

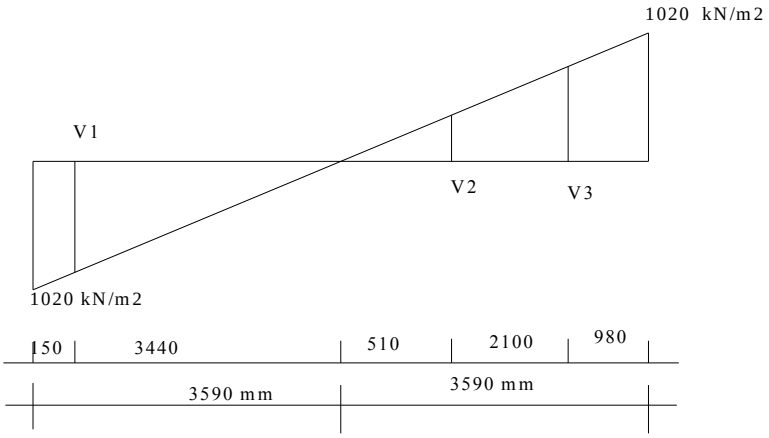
M_{za} = -1402.80 kNm W= 1.375 m^3

$M_{zü}$ = 493.16 kNm

$\sigma_{za} = \pm M_a / W$ = 1402.80/1.375 = 1020.22 kN/m^2

$\sigma_{zü} = \pm M_ü / W$ = 493.16/1.375 = 358.660 kN/m^2

$\Delta\sigma$= 1020.22 – 358.66 = 661.56 kN/m^2



Şekil 7.8 P21 Perdesi Kesme Kuvvetleri

V_1= [1020.22*(3.592 – 3.442) * 0.16] / [2*3.59] = 23.97 kN

V_2= [1020.22*(3.592 – 0.512) * 0.16] / [2*3.59] = 287.09 kN

V_3= [1020.22*(3.592 – 2.612) * 0.16] / [2*3.59] = 138.14 kN

P22 perdesi için kesme kuvvetlerinin belirlenmesi :

M_{za} = -1402.80 kNm W= 1.151 m^3

$M_{zü}$ = 493.16 kNm

$\sigma_{za} = \pm M_a / W = 1402.80/1.151 = 1258.12$ kN/m^2

$\sigma_{zü} = \pm M_ü / W = 493.16/1.151 = 428.46$ kN/m^2

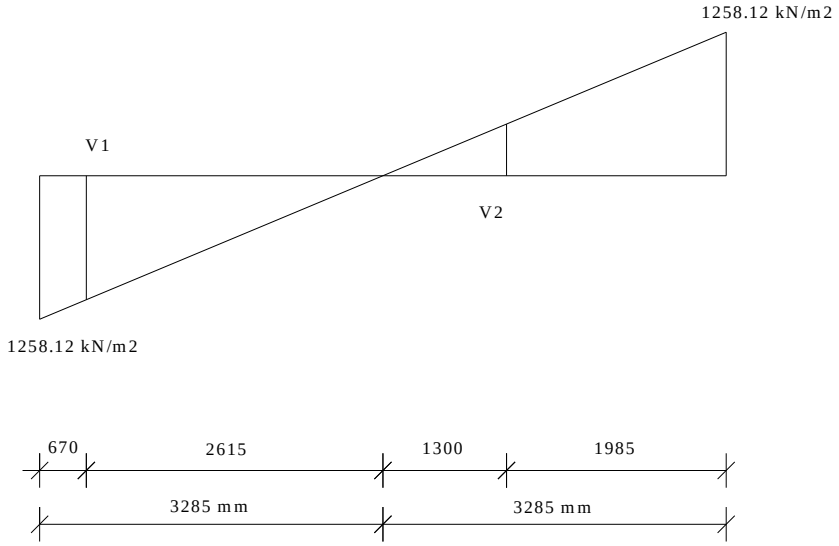
$\Delta\sigma$= 1258.12 –428.46 = 829.66 kN/m^2

V_1= [1258.12*(3.2852 – 2.6152) * 0.16] / [2*3.285] = 121.11 kN

V_2= [1258.12*(3.2852 – 1.302) * 0.16] / [2*3.285] = 279.18 kN

Buradan her iki perde için bulunan kesme kuvvetlerinden en elverişsizi alınarak;

V_d = 279.18 kN değeri hesaplarda kullanılır.



Şekil 7.9 P22 Perdesi Kesme Kuvvetleri

2) Pano Düşey Birleşimi Kayma Hesabı

l_j = 2700 mm (Kat yüksekliği)

b_j = 160 mm (do > 50 mm olduğundan)

$A_j = b_j * l_j = 2700*160 = 432000\ mm^2$

h_{ke}= 95 mm > 50 mm

b_{ke}= 85 mm

n= 12 (Kenet sayısı)

$Ak_e = b_{ke} * h_{ke} * n = 85*95*12 = 96900\ mm^2$

t_{ke}= 20 mm, t_w=160 mm, $\alpha_{ke} = 26.5^0 < 30^0$

$h_{ke} / t_{ke} = 4.75 < 8$

Burada yukarıda P21 ve P22 perdeleri için belirlenen V_d = 287.09 kN kesme kuvveti göz önüne alınarak panoların düşey kayma güvenliği tahkiki yapılacaktır. Duvar panolarının kenarlarında 12∅8 BÇ I fiyong donatı mevcuttur. Bu donatılar da göz önünde tutularak, birleşimin güvenle taşıyabileceği kesme kuvveti hesaplanıp, tahkik yapılacaktır.

$A_{ke}=96900mm^2 > 0.2A_j = 0.2*432000 = 86400mm^2$(Kenetli birleşim kabul edilecektir)

V_d= 287090 N

f_{cd} = 13 N/mm^2 (Birleşim betonu BS 20)

f_{yk} = 220 N/mm^2 (BÇ I – Fiyong donatı)

f_{yk} = 420 N/mm^2 (BÇ III – Yatay birleşim donatısı)

A_{s1}=2*12∅8 (12.02 cm^2) As2=2*4∅16 (16.08cm^2) $A_s=A_{s1}+A_{s2}$

$w_{s1} = A_s*f_{yk}/A_j*f_{cd}$ = {[(1202*220)+(1608*420)] / 432000*13} = 0.16 > 0.15

$V_{res} = \beta_1(A_{ke}+0.02*A_j)*f_{cd}+\beta_3*A_s*f_{yk}$ β_1=0.07, β_2=0.90, β_3=0.75

V_{res}=0.07*(96900+0.02*432000)*13 + 0.75*(1202*220+1608*420)= 800891 N

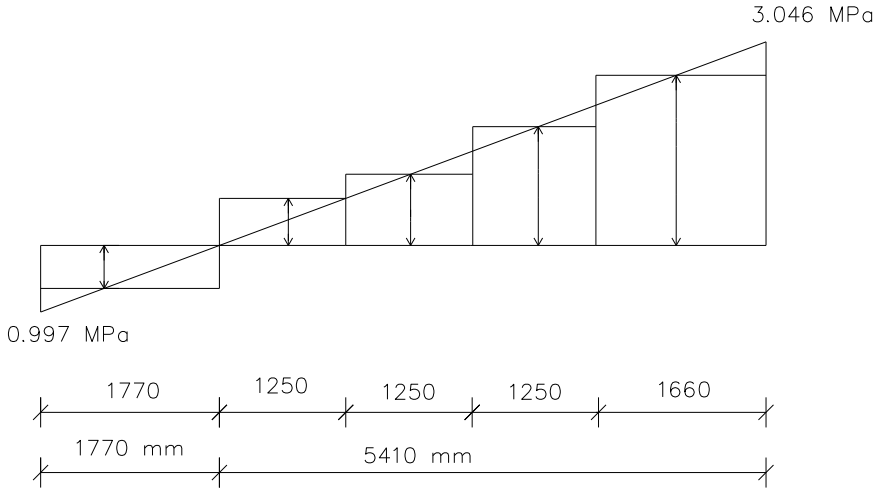
$V_{res} > 4/3*V_d$ = 4/3*539730 N = 719640 N V_{res}=800891 N > 719640 N

$V_{res} < 0.3*A_j*f_{cd}$=0.3*432000*13=1684800 N V_{res}=800891 N < 1684800 N

Pano düşey birleşimlerindeki mevcut donatı kayma güvenliği yönünden yeterlidir.

7.3.3 Panolar Arası Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması

a) Hem Çekme Hem de Basınç Etkisine Göre Hesap



Şekil 7.10 Çekme ve Basınç Bölgesindeki Gerilmeler

σ_0= 0.50 Mpa N_0 = 160*0.50*1770 = 141600 N (çekme bölgesi)

σ_1= 0.352 Mpa N_0 = 160*0.352*1250 = 70400 N (basınç bölgesi)

σ_2= 1.056 Mpa N_0 = 160*1.056*1250 = 211200 N (basınç bölgesi)

σ_3= 1.760Mpa N_0 = 160*1.760*1250 = 352000 N (basınç bölgesi)

σ_4= 2.580 Mpa N_0 = 160*2.580*1250 = 516000 N (basınç bölgesi)

a1) Çekme gerilmesi etkisindeki bölgede hesap :

A_s= 4∅14 (6.16 cm2) N_d = 141600 N

$N_d < A_s*f_{yk}$ = 616*420 = 258720 N N_d = 141600 N < 258720 N

β_1=0.07, β_2=0.90, β_3=0.75 (Kenetli birleşim, enine yayılı teçhizat)

b_{ke} = 135 mm, h_{ke} = 75 mm, n = 10

$A_{ke} = b_{ke}*h_{ke}*n = 135*75*10 = 101250\ mm^2$

$V_{res} = \beta_1*A_{ke}*f_{cd} + \beta_2*(A_s*f_{yk}-N_d)*[1-(N_d/A_s*f_{yk}]$

V_{res}=0.07*101250*13+0.9*(616*420-141600)*[1-(141600/616*420)]= 139855 N

a2) Basınç gerilmesi etkisindeki bölgede hesap :

A_s = 8∅14 (12.32 cm2) $A_j=b_j*l_j$

$w_{s1} = (A_s*f_{yk}+N_{d1}) / (A_{j1}*f_{cd})$ = (1232*420+70400)/(1250*160*13)= 0.23 > 0.15

$V_{res,1}= (\beta1*A_{ke}+0.02*A_{j1})*f_{cd}+\beta_3*(A_s*f_{yk}+N_{d1})$

β_1=0.07, β_2=0.90, β_3=0.75 (Kenetli birleşim, enine yayılı teçhizat)

$A_{ke}= b_{ke}*h_{ke}*n= 135*75*8= 81000mm^2$

$V_{res,1}$=(0.07*81000+0.02*1250*160)*13+0.75(1232*420+70400)= 566590 N

$w_{s2} = (A_s*f_{yk}+N_{d2}) / (A_{j2}*f_{cd})$ =(1232*420+211200)/(1250*160*13)= 0.28 > 0.15

$V_{res,2}= (\beta_1*A_{ke}+0.02*A_{j2})*f_{cd}+\beta_3*(A_s*f_{yk}+N_{d2})$

$A_{ke}= b_{ke}*h_{ke}*n= 135*75*6= 60750\ mm^2$

$V_{res,2}$=(0.07*60750+0.02*1250*160)*13+0.75*(1232*420+211200)=653762.5 N

$w_{s3} = (A_s*f_{yk}+N_{d3}) / (A_{j3}*f_{cd})$ =(1232*420+352000)/(1250*160*13)= 0.33 > 0.15

$V_{res,3}= (\beta_1*A_{ke}+0.02*A_{j3})*f_{cd}+\beta_3*(A_s*f_{yk}+N_{d3})$

$A_{ke}= b_{ke}*h_{ke}*n= 135*75*8= 81000\ mm^2$

$V_{res,3}$=(0.07*81000+0.02*1250*160)*13+0.75*(1232*420+352000)= 777790 N

$w_{s4} = (A_s*f_{yk}+N_{d3}) / (A_{j3}*f_{cd})$ =(1232*420+516000)/(1660*160*13)= 0.30 > 0.15

$V_{res,4}= (\beta_1*A_{ke}+0.02*A_{j4})*f_{cd}+\beta_3*(A_s*f_{yk}+N_d4)$

$A_{ke}= b_{ke}*h_{ke}*n= 135*75*8= 81000mm^2$

$V_{res,4}$=(0.07*81000+0.02*1660*160)*13+0.75*(1232*420+516000)= 917846 N

$V_{res} = V_{res,1} + V_{res,2} + V_{res,3} + V_{res,4}$

V_{res} = 566590 + 653762.5 + 777790 + 917846 = 2915988.5 N

$V_{res} > \gamma_{er}*V_d$= 4/3 * 1058590= 1411453 N Vres = 2915988.5 N > 1411453 N

Panolar arası yatay kayma güvenliği, mevcut donatı ve kenetler tarafından sağlanmaktadır.

a3) Hem çekme hem de basınç gerilmeleri etkisindeki yatay bir birleşimde çekme bölgesindeki teçhizat alanı :

$A_{sç} = N_{d0} / f_{yk} = 141600 / 420 = 337.14\ mm^2$

$\min A_{sç} = 0.0005*7180*160 = 574.4\ mm^2$

Mevcut donatı = 4∅16 ($804\ mm^2$)

7.3.4 Duvar Panolarının ve Birleşimlerin Eksantrisite Hesabı

Bu uygulamada üst ve alt duvar panolarının taşıyıcı kısımları üst üste geldiğinden bütün panolarda $e_{1t} = e_{2t} = 0$'dır.

Ayrıca oluşacak diğer eksantrisiteler :

e_s : Yerlaştirmede beklenmeyen eksantrisite, $e_s = 5$ mm (Ayarlama bulonu mevcut)

e_3 : Pano orta düzlemindeki eksantrisite, $e_3 = 0.04*tw = 0.04*160 = 6.4$ mm

a) B Panosundaki eksantrisitelerin hesabı:

P_3 : Dış tabaka ağırlığı.

P_2 : İzolasyon ağırlığı.

P_1 : Taşıyıcı tabaka ağırlığı.

P_d : Panoya oturan döşeme mesnet reaksiyonu.

$P_3 = 0.08*25*2.78 = 5.56$ kN/m

$P_2 = 4*0.015 = 0.06$ kN/m

$P_1 = 25*0.16*2.70 = 10.80$kN/m

$P_d = 2.55*4.69/4 = 2.99$ kN/m

$R_p = P_3+P_2+P_d = 5.56+0.06+2.99 = 8.61$ kN/m N = 130.04 kN/m

$e_{pi} = (5.56*16+0.06*10-2.99*6.5)/8.61 = 8.14$ cm

$e_{2t,ü} = (R_p*e_{pi}) / (N+R_p) = (8.61*8.14)/(130.04+8.61) = 0.51$ cm

$e_{2t,a} = (R_p*e_{pi}) / (N+R_p+P_1) = (8.61*8.14) / (130.04+8.61+10.80) = 0.47$ cm

Panonun üst kesitindeki dış merkezlik : $e_ü$

$e_ü = e_{1t,ü} + e_{2t,ü} + e_3 = 0+0.51+0.64 = 1.15$ cm

Panonun alt kesitindeki dış merkezlik : e_a

$e_a = e_{1t,a} + e_{2t,a} + e_s + e_3 = 0+0.47+0.50+0.64 = 1.61$ cm

Duvar panosunun ortasındaki dış merkezlik : e_o

$e_o = \sqrt{0,3 * (e_{ü}^2 + e_a^2) + 0,4 * (e_{ü} * e_a)} + e_k + e_z$

$e_k = 0.002 * h_w$

$e_k = 0.002 * 2.70 = 0.54$ cm

Pano düzlemine dik deprem etkilerinden dolayı meydana gelen dış merkezlik : e_z

$e_z = M_{oz} / N \quad M_{oz} = f * h_{w2} / 8 \quad f = C_o * W_p \quad W_p = 5.56+10.8+0.06=16.42$ kN/m

$f = 0.08 * 16.42 = 1.31$ kN/m $\qquad M_{oz} = 1.31 * (2.7)2 / 8 = 1.194$ kNm

$e_z = 1.194 / 130.04 = 0.00092$ m $= 0.92$ cm

$e_0 = \sqrt{0.3 * (1.15^2 + 1.61^2) + 0.4 * (1.15 * 1.61)} + 0.54 + 0.92 = 2.84$ cm

$e_o = 2.84$ cm > tw / 6 = 16 / 6 = 2.67 cm (Simetrik donatı konulacaktır)

Donatı Hesabı :

$f_{cd} = 25/1.4 = 17.86$ MPa (BS25) fyk = 365 MPa (BÇ III)

Depremli durum :

N= 130.04 kN $\qquad$ M = N*eo = 130.04*0.0284 = 3.69 kN/m

Depremsiz durum :

$e_o = 2.84-0.92 = 1.92$ cm $\qquad$ N = 1.5*130.04 = 195.06 kN/m

$M=N*e_o=195.06*0.0192=3.75$ kN/m

Depremsiz durum daha elverişsizdir.

m=375000 / (1000*1602*17.86) = 0.00082

n=195060 / (1000*160*17.86) = 0.07 $\quad \Rightarrow \quad$ w = 0.03

$A_{s1}=A_{s2}=w*b*h / (f_{yk}/f_{cd})= 0.03*1000*160/(365/17.86)= 235$ mm^2/m (BÇ III)

$A_{s1}=A_{s2}=235*(42/50)= 197$ mm^2 / m (BÇ IV)

Seçilen donatı : Q221/221 (Her bir yüzde)

* Taşıyıcı dış duvar panolarının taşıyıcı olmayan 8 cm'lik dış tabakasına Q105/106 minimum hasır donatı konulacaktır.

b) A ve C Panolarındaki eksantrisitelerin hesabı :

$P_3 = 0.08*25*2.78 = 5.56$ kN/m

$P_2 = 4*0.015 = 0.06$ kN/m

$P_1 = 25*0.16*2.70 = 10.80$kN/m

$P_d = 4.19*3.29/2 = 6.89$ kN/m

$R_p = P_3+P_2+P_d = 5.56+0.06+6.89 = 12.51$ kN/m N = 130.04 kN/m

$e_{pi} = (5.56*16+0.06*10-6.89*6.5)/12.51 = 3.58$ cm

$e_{2t,ü} = (R_p*e_{pi}) / (N+R_p) = (12.51*3.58)/(130.04+12.51) = 0.32$ cm

$e_{2t,a} = (R_p*e_{pi}) / (N+R_p+P_1) = (12.51*3.58) / (130.04+12.51+10.80) = 0.429$ cm

Panonun üst kesitindeki dış merkezlik : $e_ü$

$e_ü = e_{1t,ü} + e_{2t,ü} + e_3 = 0+0.32+0.64 = 0.96$ cm

Panonun alt kesitindeki dış merkezlik : e_a

$e_a = e_{1t,a} + e_{2t,a} + e_s + e_3 = 0+0.29+0.50+0.64 = 1.43$ cm

Duvar panosunun ortasındaki dış merkezlik : e_o

$e_o = \sqrt{0,3 * (e_ü^2 + e_a^2) + 0,4 * (e_ü * e_a)} + e_k + e_z$

$e_k=0.002*h_w$

$e_k = 0.002*2.70 = 0.54$ cm

Pano düzlemine dik deprem etkilerinden dolayı meydana gelen dış merkezlik : e_z

$e_z = M_{oz} / N$ $M_{oz} = f*h_{w2} / 8$ $f = C_o*W_p$ $W_p= 5.56+10.8+0.06=16.42$ kN/m

$f = 0.08*16.42 = 1.31$ kN/m $M_{oz} = 1.31* (2.7)2 / 8 = 1.194$ kNm

$e_z = 1.194 / 130.04 = 0.00092$ m $= 0.92$ cm

$e_0 = \sqrt{0.3 * (0.96^2 + 1.43^2) + 0.4 * (0.96 * 1.43)} + 0.54 + 0.92 = 2.90$ cm

$e_o = 2.90$ cm $> t_w / 6 = 16 / 6 = 2.67$ cm (Simetri donatı konulacaktır)

Donatı Hesabı :

$f_{cd} = 25/1.4 = 17.86$ MPa (BS25) fyk = 365 MPa (BÇ III)

Depremli durum :

N= 130.04 kN $M = N*e_o = 130.04*0.029 = 3.77$ kN/m

Depremsiz durum :

$e_o = 2.90-0.92 = 1.98$ cm $N = 1.5*130.04 = 195.06$ kN/m

$M=N*e_o=195.06*0.0198=3.86$ kN/m

Depremsiz durum daha elverişsizdir.

m=386000 / (1000*1602*17.86) = 0.00084

n=195060 / (1000*160*17.86) = 0.07 $\Rightarrow$ w = 0.03

$A_{s1}=A_{s2}=w*b*h / (f_{yk}/f_{cd})= 0.03*1000*160/(365/17.86)= 235\ mm^2/m$ (BÇ III)

$A_{s1}=A_{s2}=235*(42/50) = 197\ mm^2 / m$ (BÇ IV)

Seçilen donatı : Q221/221 (Her bir yüzde)

7.3.5 Duvar Panolarının Burkulma Hesabı

Duvar panoları; yalnız düşey yük, pano düzlemine dik yatay yük (deprem veya rüzgâr) ve bu yükleme grubundaki düşey yük ve pano düzlemi içindeki yatay yük (deprem veya rüzgâr) ve bu yükleme grubundaki düşey yüklerden herhangi birisinin etkimesi durumunda burkulmamalıdır.

Ayrıca duvar panolarının burkulma hesabında dış merkezlikler de göz önüne alınmalıdır. Duvar panoları üst ve alt yatay kenarlarında tutulmuşlardır. Düşey kenarlarının ise bazen birisi bazen de ikisi tutulmuş olabilir. İki düşey kenarın serbest olduğu durumlar da mevcuttur. Duvar panolarının burkulma yüküne düşey kenarlarının tutulma sayısı etkimektedir. Diğer önemli husus, burkulma kontrolünde birim genişlikli hangi düşey şeridin göz önüne alınacağıdır. Bu şerit, pano alt kenarında normal gerilmelerin üniform olmadığı durumlarda; yalnız bir düşey kenarı tutulmuş panolarda, pano serbest kenarında, her iki düşey kenarı tutulmuş panolarda, pano genişliğinin ortasında ve her iki kenarın serbest olması durumunda, büyük basınç gerilmesine maruz kenardan "a" kadar içeride alınmalıdır [3].

a, $h_w / 3$; $l_c / 3$ değerlerinden küçük olanını; h_w, duvar panosu yüksekliğini ve l_c, pano alt kenarında basınç bölgesi uzunluğunu ifade eder.

Panolarda burkulma olmaması için $\gamma_{n1}*\sigma_c \le \phi(e_0/t_w , \lambda)*f_{cd}$ şartı sağlanmalıdır.

σ_c = Belirlenen kontrol şeridinde, pano alt kenarındaki gerilme,

γ_{n1} = 1.5 (Gevrek kırılmayı önleme katsayısı),

f_{cd} = Beton basınç hesap dayanımı,

$\phi = \phi (e_0/t_w , \lambda)$ e_0/t_w ve λ'ya bağlı burkulma fonksiyonu,

ξ = Sabit yük / Toplam yük,

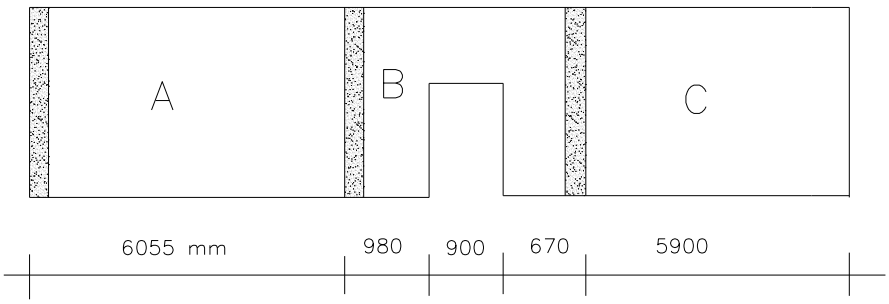
λ = Değiştirilmiş narinlik,

k = Pano düşey kenarlarının tutulup tutulmadığına bağlı katsayı,

α = Beton cinsine ve sürtünmeye bağlı bir katsayı,

t_w = Pano taşıyıcı tabaka ağırlığı.

Burada (1-1) aksının bodrum katında yer alan panolar göz önüne alınarak burkulma kontrolü yapılacaktır.



Şekil 7.11 Burkulmaya Maruz Duvar Panoları

Burkulma fonksiyonunun belirlenmesi için panoların k ve λ değerlerinin belirlenmesi gereklidir.

1-1 aksı panolarının düşey yükleri : G = 346.06 kN, Q = 43.20 kN

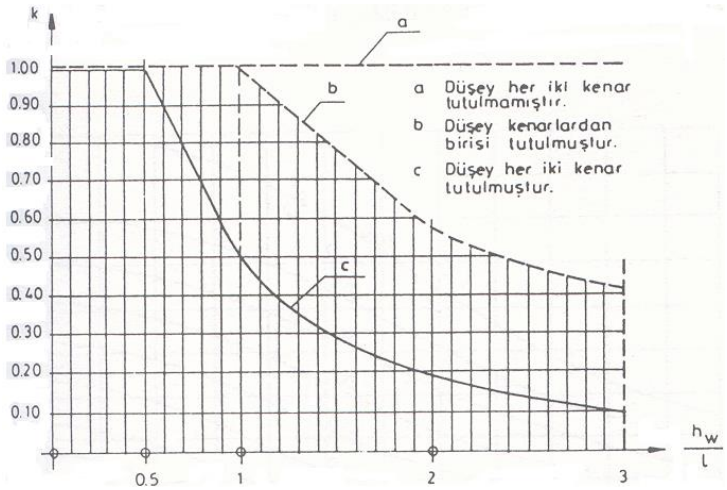
E_c = 30250 N/mm^2 (BS 25) $f_{cm} = f_{ck}+\Delta f = 25+4.2 = 29.20$ MPa

ξ = 346.04/(346.04+43.20) 0.89

$$\alpha = \frac{Ec}{1.6 * f_{cm} * (1 + 1.2 * \xi)} = \frac{30250}{1.6 * 29.20 * (1 + 1.2 * 0.89)} = 313.10$$

$$\lambda = \frac{k * h_w}{\sqrt{\alpha} * t_w} = \frac{k * 2700}{\sqrt{313.10} * 160} = 0.954k$$

k katsayıları Şekil 7.12'den alınarak, Tablo 7.9'da verilmiştir.



Şekil 7.12 k Katsayıları Diyagramı

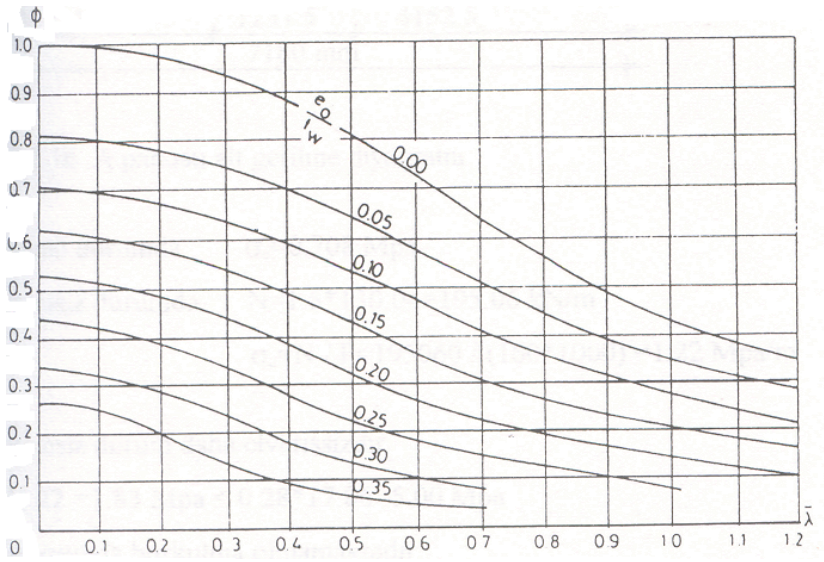
Tablo 7.9 Pano k ve λ Değerleri

	A	B	C
h_w / l	0,45	2,76	0,46
k	1	0,44	1
λ	0,954	0,42	0,954

Tablo 7.10 Pano e_o / t_w Değerleri

	A	B	C
e_o (Depremli durum)	2,9	2,84	2,9
e_o (Depremsizdurum)	1,98	1,92	1,98
e_o / t_w (Depremli durum)	0,181	0,178	0,181
e_o / t_w (Depremsiz durum)	0,124	0,12	0,124

Burkulma fonksiyonu (ϕ) değerleri Şekil 7.13'den alınarak Tablo 7.11'de verilmiştir.



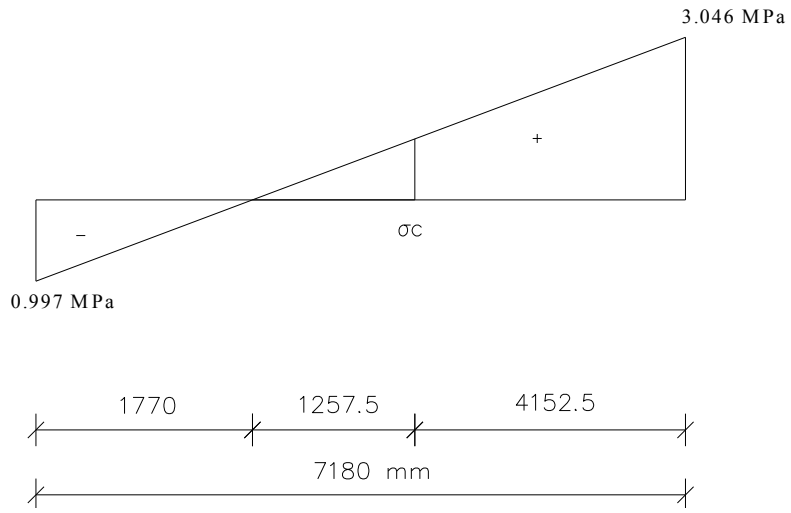
Şekil 7.13 Burkulma fonksiyonu (ϕ) değerleri Diyagramı

Tablo 7.11 Pano ϕ Değerleri

	A	B	C
ϕ (Depremli durum)	0,19	0,42	0,19
ϕ (Depremsiz durum)	0,28	0,55	0,28

a) A panosunda burkulma kontrolü

A panosu düşey iki kenarından tutulu olduğundan burkulma kontrolünde göz önüne alınacak birim genişlikli düşey şerit, pano genişliğinin ortasındaki şerittir.



Şekil 7.14 A Panosunun Alt Gerilme Diyagramı

Depremli durumda : $\sigma_c = 0.708$ MPa

Depremsiz durumda : N = 1.5*130.04 = 195.06 kN/m

$$\sigma_c = N / F = 195060 / (160*1000) = 1.22 \text{ MPa/m}$$

Depremsiz durum daha elverişsizdir.

1.5*1.22 = 1.83 MPa ≤ 0.28*17.86 = 5.00 MPa

A panosunda burkulma olmamaktadır.

b) C panosunda burkulma kontrolü

C panosu düşey bir kenarından tutulduğundan, burkulma kontrolünde göz önüne alınacak birim genişlikli düşey şerit, pano serbest kenarıdır.

Depremli durumda : $\sigma_c = 2.99$ MPa

Depremsiz durumda : N = 1.5*130.04 = 195.06 kN/m

$$\sigma_c = N / F = 195060 / (160*1000) = 1.22 \text{ MPa/m}$$

Depremli durum daha elverişsizdir.

1.5*2.99 = 4.485 MPa > 0.19*17.86 = 3.39 MPa

C panosunda burkulma olacaktır. Dolayısıyla burkulma olmaması için ya pano kalınlığını ya da panonun beton kalitesini artırmak gerekir.

C panosunun beton kalitesi BS 35 olarak arttırılırsa;

$f_{cd} = f_{ck} / 1.4 = 35 / 1.4 = 25$ MPa

1.5*2.99 = 4.485 MPa < 0.19*25 = 4.750 MPa

Bu durumda C panosundaki burkulma önlenmiş olur.

7.3.6 İkinci Mertebe Etkileri

Duvar panolarında eo eksantrisitesinden dolayı meydana gelebilecek ikinci mertebe etkilerininde göz önüne alınması gereklidir. Bu nedenle birim genişlikli duvar panosu esas alınarak hesap yapılacak ve mevcut olan donatının yeterli olup olmadığı kontrol edilecektir. Burada A panosu için ikinci mertebe etkileri incelenecektir.

$I = 6.05*0.163 / 12 = 0.00207 \text{ m}^4$

$F = 6.05*0.16 = 0.968 \text{ m}^2$

$$i = \sqrt{I / F} = \sqrt{0.00207 / 0.968} = 0.0462 \qquad \lambda = \frac{k * h_w}{i} = \frac{1.0 * 2.7}{0.0462} = 58.39$$

$\lambda = 58.39 > 22$ olduğundan ikinci mertebe etkisi vardır.

EI = Stabilite kontrolünde göz önüne alınacak eğilme rijitliği,

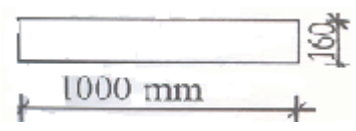
E_cI_c = Çatlamamış beton kesitinin eğilme rijitliği,

E_sI_s = Mevcut donatının eğilme rijitliği,

R_m = (Devamlı hesap yüklerinin momenti / Toplam hesap yüklerinin momenti),

N_k = Euler burkulma yükü,

β = Moment azaltma katsayısı.



Şekil 7.15 Birim Genişlikli Pano Kesiti

Ec = 30250 N/mm^2 Ic = 1000*1603 / 12 = 341333 mm^4

Es = 2*105 N/mm^2

$I_s = 2*A_s*d^2 = 2*221*602 = 1591200$ mm^4

$$EI = \frac{(E_c * I_c)/5 + E_s * I_s}{1 + R_m}$$

$$EI = \frac{(30250 * 341333)/5 + (2*10^5 * 1591200)}{1 + 0.89} = 1.26*1012 \text{ Nmm}^2$$

$$Nk = \frac{\pi^2 * E * I}{(k * h_w)^2} = \frac{3.14^2 * 1.261 * 10^{12}}{(1 * 2700)^2} = 1705481 \text{ N} = 1705.48 \text{ kN}$$

$$\beta = \frac{1}{1 - (N_d / N_k)} = \frac{1}{1 - (195.06 / 1705.48)} = 1.129$$

M_{max} = 3.86 kNm $M_\beta = \beta * M_{max} = 1.129*3.86 = 4.35$ kNm

m=4350000 / (1000*1602*17086) = 0.0095

n=195060 / (1000*160*17086) = 0.068 $\Rightarrow$ w = 0.03

$A_{s1}=A_{s2}=w*b*h / (f_{yk}/f_{cd}) = 0.03*1000*160/(365/17.86) = 235$ mm^2/m (BÇ III)

$A_{s1}=A_{s2}=235*(42/50) = 197$ mm^2 / m (BÇ IV)

Gerekli donatı : Q221/221 (Bu donatı mevcut olduğundan, bu etkiler karşılanmaktadır.)

7.3.7 Panoda Diyagonal Çatlak Tahkiki

Duvar panolarında çatlak olmaması için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\gamma_{n1} * \sigma 1 \le \frac{0.75 * f_{ck}}{1.4 * 12.5} = 0.0428*f_{ck} = 0.0428*25 = 1.07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_c}{2} - \sqrt{(\sigma_c / 2) + \tau_c^2}$$

$\sigma_c = N / l_w * t_w$

$$\tau c = \frac{3}{2} * \left(\frac{V}{l_w * t_w}\right)$$

N = Pano eksenel yükü,

V = Pano alt kenarı kesme kuvveti,

γ_{n1}= 1.2

$\sigma_1 = \sigma_c$ normal gerilmesiyle τc kayma gerilmesinin oluşturduğu küçük asal gerilme.

P21 Perdesi İçin Diyagonal Çatlak Tahkiki :

N = 1177.27 kN t_w = 160 mm σ_c = 1177270/160*7180 = 1.02 MPa

V = 1058.59 kN l_w = 7180mm τ_c = 1.5*1058590/160*7180 = 1.38 MPa

$$\sigma_1 = \frac{1.02}{2} - \sqrt{(1.02/2)^2 + 1.38^2} = -0.89 \text{ MPa}$$

1.2*0.89 = 1.06 MPa (Çekme) ≤ 1.07 MPa

P22 Perdesi İçin Diyagonal Çatlak Tahkiki :

N = 1083.15 kN t_w = 160 mm σc = 1083500/160*6570 = 1.03 MPa

V = 863.559 kN l_w = 6570mm τc = 1.5*863559/160*6570 = 1.23 MPa

$$\sigma_1 = \frac{1.03}{2} - \sqrt{(1.03/2)^2 + 1.23^2} = -0.82 \text{ MPa}$$

1.2*0.82 = 0.98 MPa (Çekme) ≤ 1.07 MPa

Her iki perdede de diyagonal çatlak oluşmamaktadır.

7.3.8 Pano Basınç Birleşimi Mukavemet Hesabı

Panolarla yapılan taşıyıcı duvarlarda, üst kattaki N düşey kuvvetleri altındaki kata, alt duvar panosuna oturan döşeme panoları ile aralarındaki yerinde dökme beton ve üst duvar panosunun altındaki, alt duvar panosunun üstündeki harç tarafından aktarılır. Uzunluğu boyunca σc beton basınç gerilmelerinin değişken olduğu pano basınç birleşimlerinde birleşimin kontrolü σc beton basınç gerilmelerinin en büyük olduğu uçta, bir lc uzunluğundaki ortalama σcd gerilmesi ile yapılabilir. Birleşim boyunca σc gerilmelerinin yayılışı lineer alınabilir. Yapıda beton basınç gerilmeleri pano boyunca değişken olduğundan bu durum göz önüne alınacaktır.

$N_d = \sigma_{cd} * A_w \le RN_d = \eta_i * A_w * f_{cwd} * 1 / \gamma_n$

Geniş birleşim : $\eta_i = \eta_{II}$

$\eta_{II} = (1-e_a/t_w)*(f_{cjk}/f_{cwk})$ $\gamma_n = 1.0$

f_{cjk} = 20 MPa (Birleşim betonu karakteristik basınç mukavemeti)

f_{cwk} = 25 MPa (Pano betonu karakteristik basınç mukavemeti)

P21 Perdesinde basınç birleşimi mukavemet hesabı :

$l_c \le 120$ cm; $l_b/6 = 541/6 \cong 90$ cm l_c = 90 cm olarak belirlenir.

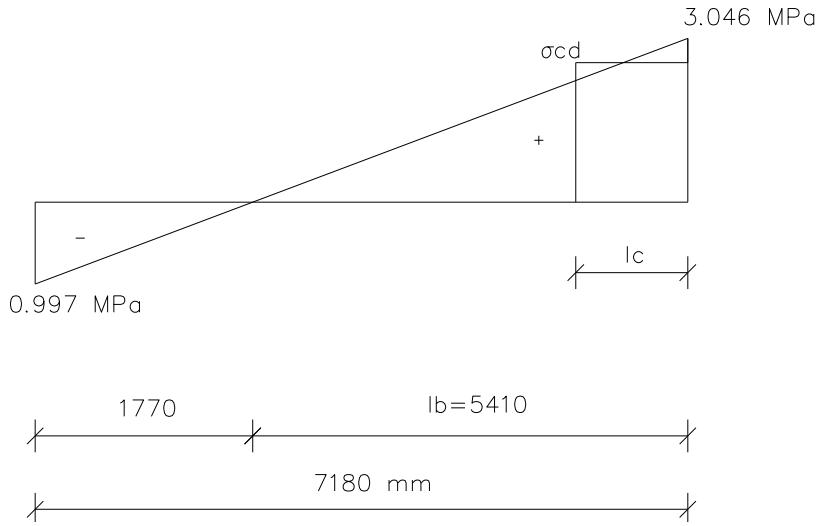
σ_{cd} = 2.54 MPa f_{cwd} = 17 MPa e_a = 14.30 mm

l_c = 900 mm t_w = 160 mm A_w = 900*160 = 144000 mm^2

η_{II} = (1-14.3/160)*(20/25) = 0.73

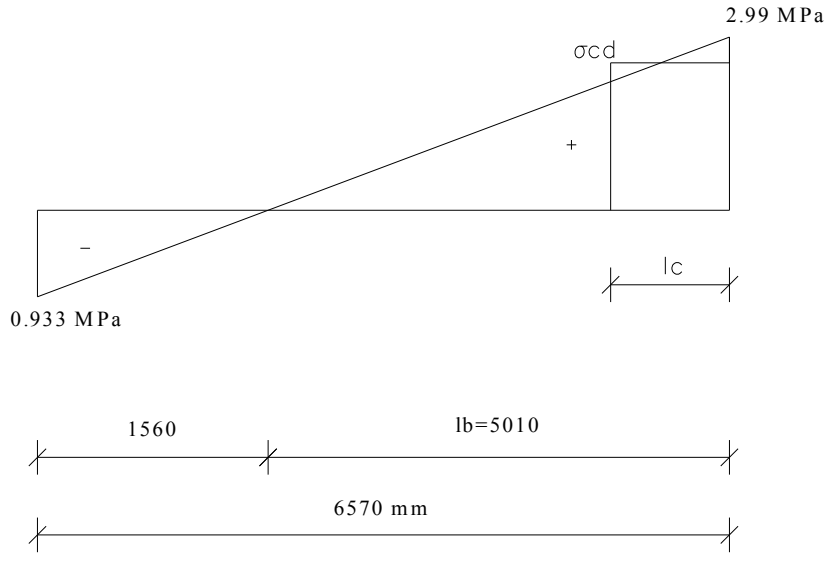
$R_{nd} = \eta_i * A_w * f_{cwd} * l/\gamma_n$ = 0.73*144000*17*1/1 = 1787040 N

N_d = 2.54*144000 = 365760 N < R_{nd} = 1787040 N



Şekil 7.16 P21 Perdesi İçin σ_{cd} Gerilmesi

P22 Perdesinde basınç birleşimi mukavemet hesabı :



Şekil 7.17 P22 Perdesi İçin σ_{cd} Gerilmesi

$l_c \leq 120$ cm; $l_b/6$ = 501/6 ≅ 83.5 cm l_c = 83.5 cm olarak belirlenir.

σ_{cd} = 2.49 MPa f_{cwd} = 17 MPa e_a = 14.30 mm

l_c = 835 mm t_w = 160 mm A_w = 835*160 = 133600 mm^2

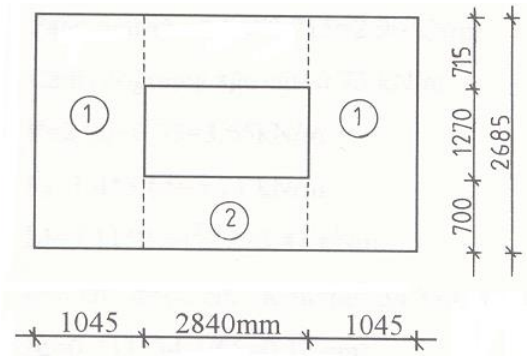
η_{II} = (1-14.3/160)*(20/25) = 0.73

$R_{nd} = \eta_i * A_w * f_{cwd} * l/\gamma_n = 0.73*133600*17*1/1 = 1657976$ N

$N_d = 2.49*133600 = 332664$ N < $R_{nd} = 1657976$ N

7.3.9 Taşıyıcı Olmayan Dış Cephe Panosu

Projede mevcut olan bütün dış cephe panoları 20 cm kalınlığında sandviç panolardan oluşmaktadır. Bu panolar 8 cm taşıyıcı betonarme kısım, 4 cm yalıtım malzemesi ve 8 cm taşıyıcı olmayan betonarme kısımdan oluşmaktadır. Bütün cephe panoları düşey kenarlarından taşıyıcı panolara sürekli olarak bağlıdırlar. Cephe panolarının hesabında en önemli etkeni rüzgâr yükü oluşturmaktadır. Panolarda depremden dolayı meydana gelen etkiler rüzgâr etkisi yanında daha elverişli olmaktadır. Burada bir cephe panosu için hesap yapılmıştır.



Şekil 7.18 Cephe Panosu

Pano ağırlığı = $0.16*25+4*0.015 = 4.06$ kN/m^2 C = $0.08*1.33 = 0.106$

Deprem yükü = $W_d = C*g = 0.106*4.06 = 0.430$ kN/m^2

Rüzgâr yükü = $W_r = c*q$

H > 8 m için q = 0.80 kN/m^2 c = 1.20

$W_r = 0.80*1.2 = 0.96$ kN/m^2

$W_r > W_d$ olduğundan , rüzgâr etkisi daha elverişsizdir.

1 Nolu parça için hesap :

Çizgisel kuvvet : $W_1 = 0.96*2.84/2 = 1.36$ kN/m

Düzgün yayılı yük : $W_2 = 0.96$ kN/m^2

$Q = W_1*l_x = 1.36*2.685 = 3.65$ kN

$K = W_2*l_x*l_y = 0.96*2.685*1.045 = 2.69$ kN

$M_1 = K/11 + Q/5.6 = 2.69/11 + 3.65/5.6 = 0.896$ kNm $M_d=1.30*0.896=1.165$ kNm

b = 100 cm d = 4 cm

K = 100*4^2/11.65 = 137.34 $\Rightarrow$ k_s = 0.239 (BS 25 / BÇ IV)

A_s = 0.239*11.65/4 = 0.70 cm^2 Seçilen hasır donatı : Q 106/106

2 Nolu parça için hesap :

Pano ağırlığı = 4.06*0.715 = 2.90kN/m

Cam+doğrama ağırlığı = 0.75 kN/m

P = 2.90+0.75 = 3.65 kN/m

P_d = 1.4*3.65 = 5.11 kN/m

M = 5.11*2.84^2/12 = 3.43 kNm

d = 8 cm d = 66 cm K = 8*66^2/34.3 = 1016 $\Rightarrow$ k_s = 0.233

A_s = 0.233*34.3/66 = 0.12 cm^2 Seçilen hasır donatı : Q 106/106

7.4 Bağlantı Kirişlerinin Hesabı

Projede bağlantı kirişlerinin tümü 600 / 160 mm boyutundadır. Bağlantı kirişleri, süneklik düzeyi yüksek kiriş gibi hesaplanacaktır. Burada bağ kirişlerinin statik ve betonarme hesapları gösterilmeyecek yalnız yükleme sonucu gerekli donatıların bağ kirişi içindeki düzenlemesi gösterilecektir.

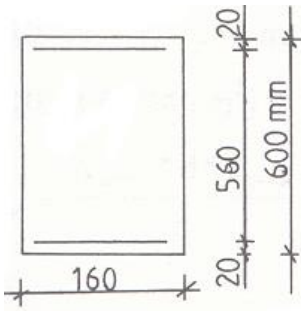
Bağlantı kirişine etkiyen yükler, döşemeden gelen yükler ve kirişin kendi zati ağırlığıdır. Bunlara bağlı olarak kirişin kesit ve donatı hesaplarında kullanılacak değerlerin belirlenmesi için depremden ve düşey yüklerden meydana gelen etkilerin süperpoziyonu gereklidir.

Tablo 7.12 Moment ve Kesme Kuvvetlerinin Süperpozisyonu

Etki	**M_{sol} (kNm)**	**$M_{açıklık}$ (kNm)**	**$M_{sağ}$ (kNm)**	**V (kN)**
Deprem	±26,63	0	±26,4	82,49
Düşey Yük	-0,487	0,244	-0,487	3,24
Deprem + Düşey Yük	-27,117	0,244	-26,887	85,73

Açıklıkta donatı hesabı :

Malzeme : BS 25 / BÇ III



Şekil 7.19 Bağlantı Kirişi En Kesiti

Minimum donatı :

$\rho_{min} \geq f_{ctd} / f_{yd} = 1.15 / 365 = 0.00315$; $\rho_{min} \geq 0.0003$

$minA_s = \rho_{min} * b_w * d = 0.00315 * 160 * 560 = 2.82\ cm^2$

Seçilen minimum donatı : 3∅12 ($3.39\ cm^2$)

$M_{açıklık} = 0.244$ kNm

$K = b * d^2 / Md = 16 * 56^2 / 2.44 = 20564$

$K = 12695 \Rightarrow k_s = 0.288$

$A_s = 0.288 * 2.44 / 56 = 0.013 cm^2$ Seçilen donatı : 3∅12

Mesnette Donatı Hesabı

$M_1 = 26.63$ kNm

$K = 16 * 56^2 / 266.3 = 188.41 \Rightarrow k_s = 0.297$

$A_s = 0.297 * 266.3 / 56 = 1.41\ cm^2$ Mevcut donatı : 3∅12 ($3.39\ cm^2$)

$M_2 = -27.117$ kNm

$K = 16 * 56^2 / 271.17 = 185 \Rightarrow k_s = 0.297$

$A_s = 0.297 * 271.17 / 56 = 1.44\ cm^2$ $minA_s = 3.39\ cm^2$

Minimum donatı konulacaktır : 3∅12 ($3.39\ cm^2$)

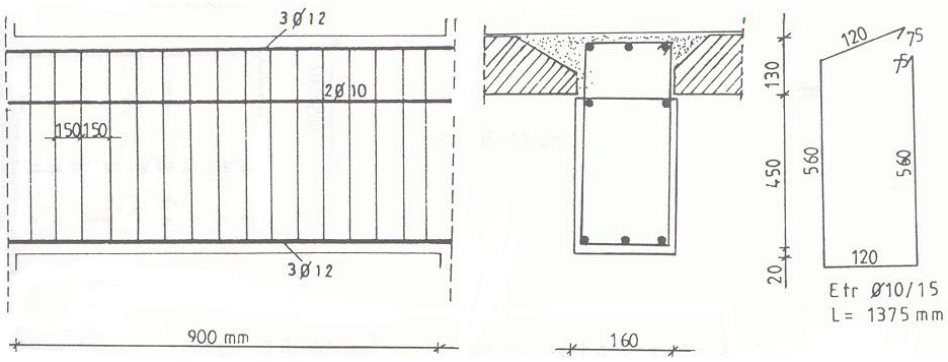
Bağlantı kirişi kayma hesabı

$V_d = 85.73$kN

Minimum kayma donatısı : ∅10/15 ($5.24\ cm^2$)

∅10 $\Rightarrow$ $s \leq 150$ mm $s \leq h_k / 2 = 560/2$ 280 mm

$$V_w = \frac{A_{awls} * d * f_{ywd}}{s} = \frac{2 * 79 * 560 * 365}{150} = 215301\ N > V_d = 85730\ N$$



Şekil 7.20 Bağlantı Kirişi Donatı Planı

7.5 Kat Döşeme Panolarının Hesabı

Döşeme panolarının hesapları aşağıda verilen yüklere göre yapılacaktır. Döşeme panoları 13 cm kalınlığında olup, fabrikada verilen boyutlara uygun olarak üretilmektedir. Panoların statik ve betonarme hesapları bir döşeme panosu için yapılacak diğerleri için ise tablo şeklinde verilecektir.

Çatı Katı Döşemeleri :

G = 5.775 kn/m2, q = 2.0kn/m2

Normal Kat Döşemeleri :

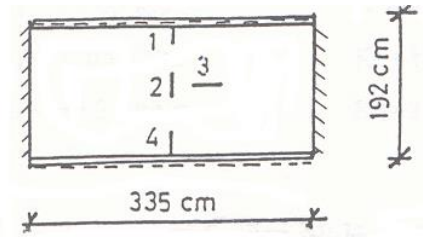
a) Yatak odaları ve salonlarda : g = 4.19 kN/m^2, q = 2.00 kN/m^2

b) Koridor, banyo, mutfak ve giriş antresinde : g = 4.69 kN/m^2, q = 2.00 kN/m^2

c) Kat sahanlığı ve ara sahanlıklarda : g = 4.69 kN/m^2, q = 3.50 kN/m^2

d) Merdivenlerde : g = 7.71 kN/m^2, q = 3.50kN/m^2

e) Balkonlarda : g = 3.80 kN/m^2, q = 5.00kN/m^2



Şekil 7.21 D 101 Panosu

$\varepsilon = l_y / l_x = 192 / 335 = 0.57$, $h_f = 13$ cm, b = 100 cm, d = 11 cm

Döşemeden : $g = 3.80$ kN/m^2, $q = 5.00$ kN/m^2, $p_d = 1.4*g+1.6*q = 13.32$kN/m^2

Parapet yükü : $g_p = 3.0$ kN/m $1.4*g_p = 4.20$ kN/m

Duvar yükü : $g_d = 10.28$ kN/m $1.4*g_d = 14.39$ kN/m

Üniform yayılı döşeme yükünden ;

$M_1 = p*l_x^2 / 8 = 13.32*3.35^2 / 8 = 18.68$ kNm

$M_2 = 18.68$ kNm

$M_3 = 0.20*18.68 = 3.74$ kNm

$M_4 = 18.68$ kNm

Parapet yükünden : $K = p*l_x = 4.20*3.35 = 14.07$ kN

$M_1 = 14.07 / 3.36 = 4.19$ kNm

$M_2 = 14.07 / 4.66 = 3.02$ kNm

$M_3 = -14.07 / 20.19 = -0.70$ kNm

$M_4 = 14.07 / 6.44 = 2.18$ kNm

Duvar yükünden

$K = p*l_x = 14.39*3.35 = 48.21$ kN

$M_1 = 48.21 / 6.44 = 7.49$ kNm

$M_2 = 48.21 / 4.66 = 10.35$ kNm

$M_3 = -48.21 / 20.19 = -2.39$ kNm

$M_4 = 48.21 / 3.36 = 14.35$ kNm

Kesit hesabına esas sonuç momentler :

$M_1 = 30.30$ kNm K = 39.85 $k_s = 0.255$ As = 7.04 cm^2 / m

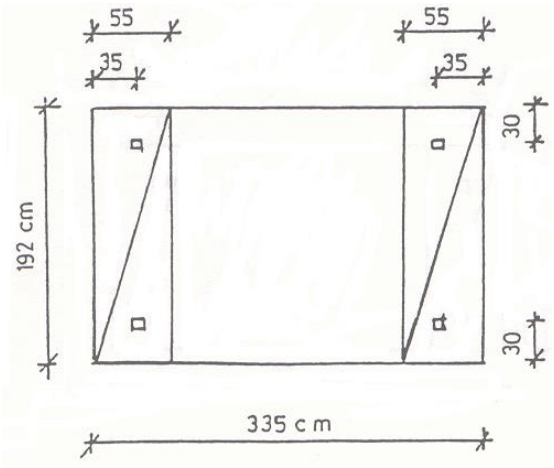
$M_2 = 32.05$ kNm K = 37.75 $k_s = 0.257$ As = 7.49 cm^2 / m

$M_3 = 0.65$ kNm K =1861.5 $k_s = 0.255$ As = 0.14 cm^2 / m

$M_4 = 35.21$ kNm K = 34.37 $k_s = 0.260$ As = 8.32 cm^2 / m

Seçilen alt hasır donatı : 2 * Q 443 / 221

Seçilen üst hasır donatı : Q 131 / 131



Şekil 7.22 Üst Hasır ve Kaldırma Kancalarının Yerleri

Tablo 7.13 Döşeme Panolarının Donatıları

Döşeme No	Alt Hasır Donatısı	Üst Hasır Donatısı
D102 A	R 295	Q 131 / 131
D102 B	Q 158 / 158	Q 131 / 131
D103	Q 158 / 158	Q 131 / 131
D104 A	R 257	Q 131 / 131
D104 B	R 295	Q 131 / 131
D105 A	Q 377 / 188 + R 257	Q 131 / 131
D105 B	Q 377 / 188	Q 131 / 131
D106	Q 221 / 221	Q 131 / 131
D107	Q 158 / 158	Q 131 / 131
D108	R 513	Q 131 / 131
D109	Q 158 / 158	Q 131 / 131
D110	R 221	Q 131 / 131
D111	Q 589 / 378	Q 221 / 221
D112	Q 221 / 221	Q 131 / 131
D113	Q 317 / 188	Q 131 / 131

7.6 Temel Hesabı

Yapının temel sisteminin belirlenmesinde en önemli faktörler, temelin oturacağı zeminin taşıma gücü ve taşıyıcı sistemin özelliğidir. Yapının oturduğu zemin yumuşak killi, zayıf bir zemin olup, üst yapı taşıyıcı sistemi her iki yöndeki perdelerden meydana gelmiştir. Zemin emniyet gerilmesi küçük olduğundan ve taşıyıcı sistem iki doğrultuda yer alan perdelerden oluştuğundan kirişsiz radye temel bu yapı için en uygun temel sistemi olmaktadır.

Üst yapının oturduğu alan 39.10 m * 16.15 m olduğundan, radye temelin boyutu, binanın dış kenarlarından X yönünde 0.45 m, Y yönünde ise 0.425 m'lik çıkmalar olacak şekilde 40.00 m * 17.00 m olarak belirlenmiştir.

8. SONUÇLAR

İkinci Dünya Savaşı sonrasında büyük gelişme gösteren prefabrikasyon sistemi ve teknikleri, ülkemizde de 1960'lardan itibaren kullanılmaya başlanmış ve ilk olarak tek katlı endüstri türü yapılarda denenmiştir. Daha sonra konut türü çok katlı yapılarda da uygulanmaya başlamıştır. Prefabrikasyon sistemleri ile yapılan yapı elemanları laboratuar koşullarında, uzman işgücü denetimi altında ve düzgün kalıpların temini ile son derece kaliteli bir şekilde üretilerek, geleneksel yapı üretiminde çoğu kez kontrol dışı kalabilen yapım çalışmalarına, endüstrileşmiş yöntemlerle yapım esnasında müdahale edilebilmektedir.

Prefabrike yapıların, yapı güvenliği açısından en fazla kuşku uyandıran yönü deprem dayanımı olmuştur. Fakat yapılan yoğun deneysel araştırmalar göstermiştir ki; belirli kural ve ilkelere uymak koşuluyla, prefabrike yapılar da öngörülen deprem dayanımını sağlayabilmektedir. Prefabrike betonarme bir yapının deprem dahil çeşitli yük etkileri altında sağlıklı bir davranış gösterebilmesi için, hesabın yanında iyi bir sistem seçilmesi, boyutların yeterli olması, donatıların bilinçli detaylandırılması ve yapıma gereken özenin gösterilmesi gerekir. Ülkemizde gözlenen hasar ve göçmelerin büyük bir bölümü hesap hatalarından değil; sistem ve detay hataları ile özensiz yapımdan kaynaklanmaktadır.

Prefabrike betonarme panolu yapılarda, yatay ve düşey ek yerlerinin deprem yükleri altındaki davranışları, bu tür yapıların tasarımında en belirleyici unsurlardır. Prefabrike yapıların ek yerleri, yerinde dökme betonarme yapılar kadar rijit ve enerji tüketebilecek güçte olmadığından, tasarımda kullanılacak deprem kuvvetlerinin, yerinde dökme yapılar için öngörülenden daha büyük olması gerekmektedir. Birleşimler mümkün olduğu kadar basit seçilmeli, düktil olarak teşkil edilmeli, korozyona karşı korunmalı ve yangına karşı dayanıklı olmalıdır. Birleşimler üzerinde yapılan deneyler ışığında, prefabrike panolu yapıların en uygun tasarımı düşey ek yerlerinin enerji tüketebilecek güçte tasarlanmaları, eleman ve yatay ek yerlerinin ise yüksek taşıma güçlü ve elastik bölgede kalacak biçimde tasarlanmaları gerekmektedir. Bu da yatay ek yerlerinin, düşey ek yerlerine göre iki kat kadar daha büyük yatay kuvvetlere göre tasarlanmalarını gerektirebilir. Zayıf bağlantılı birleşimler kullanıldığı takdirde perde duvarlarla sağlıklı bir davranış sağlanmalı, hesaplarda ve detaylarda diyafram etkisi ihmal edilmemeli ve prefabrike döşeme

elemanların birbirlerine basıncı aktarabilecek ek yerleri ile bağlanması ya da üzerlerine tabliye betonu dökülerek monolitik özelliğe sahip olmaları sağlanmalıdır.

Ülkemizde meydana gelen son depremlerde, prefabrike yapılarda gözlenen yaygın hasar ve göçmeler, prefabrike yapıların depreme dayanıklı olmadığı ve deprem bölgelerinde kullanılmaması gerektiği gibi yanlış yorumlara yol açmıştır. Oysa ki depremlerde, prefabrike panolardan oluşan çok katlı yapılarda hasar gözlenmemiş, moment aktarabilen bağlantıya sahip önüretimli çerçevelerden oluşan çok katlı yapıların bazılarında hasar meydana gelmemiş ve bazılarında ise bağlantı bölgelerinde hasar oluşmuştur. Deprem dayanımı geliştirilmemiş bağlantılar kullanılması, prefabrike yapıların hasar görmesine neden olur. Birleşimler üzerinde yürütülen çalışmalar neticesinde prefabrike birleşimlerden, verilen tasarım yüklerinin altında, elemanlardan gelecek etkileri yeterince aktarabilecek mukavemette olmaları, mukavemet azalmasını ve kaymadan dolayı oluşan deformasyonları sınırlayacak şekilde tasarlanmaları istenmektedir.

Bu çalışmada irdelenen farklı deprem yönetmeliklerindeki (ABYYHY, UBC97, EC8) binaya etkiyen taban kesme kuvveti hesaplama yöntemleri birbirine benzemekte olup, UBC 97'de yakın kuvvet faktörüyle arttırılarak bulunan deprem yükleri, yapıların güvenliğinin sağlanması ve depremlerde oluşabilecek kayıpların asgari düzeyde tutulması açısından önemlidir.

Son olarak 4, 6 ve 8 katlı prefabrike panolu konut binalarının SAP 2000 programında Mod Birleştirme Yöntemi ile analizleri yapılmış, bağlantı elemanlarındaki rijitlik değişimlerinin, kat deplasmanlarına ve iç kuvvetlere etkisi irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; yapıyı meydana getiren panoların yatay ve düşey birleşim yerlerindeki rijitlikler azaldıkça kat deplasmanları artmakta, buna karşılık iç kuvvetler azalmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] **Günerman, H.,** 1997. Prefabrike Bina Sistemleri, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, İstanbul, 23-26 Haziran.

[2] **Yüzügüllü, Ö.,** 1995. Depreme Dayanıklı Prefabrike Yapı Tasarımında Son Gelişmeler, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, Sayı 34, 5-10.

[3] **TS 9967,** 1992. Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan-Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, İstanbul.

[4] **Özden, K.,** 1998. Betonarme ve Öngerilmeli Beton Prefabrike Taşıyıcı Eleman, Sistem ve Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi*, İstanbul.

[5] **Öztürk, T.,** 2003. Prefabrike Panolu Yapıların Tasarım İlkeleri, *İMO İstanbul Şubesi İlkbahar-Yaz Dönemi Kursları*, İstanbul.

[6] **Gök İnşaat,** 2001. Betonarme Perde Sistem ile Forap Kalıcı Konutlar, *Gök İnşaat Teknik Föyü*, İstanbul.

[7] **Bayülke, N.,** 1986. Depreme Dayanıklı Prefabrike Yapılar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Müdürlüğü, *Deprem Araştırma Bülteni*, Ankara, Sayı 54, 26-41.

[8] **Sırma, S.,** 2001. Prefabrike Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birleşimler ve Tasarım İlkeleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[9] **Martin, L.D.**, **Karkosz, W.J.,** 1982. Connection for Precast Prestressed Concrete Building Including Earthquake Resistance, *Prestressed Concrete Institute Technical Report*, No:2.

[10] **PCI**, 1988. Prestressed Concrete Institute, Design and Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete, Chicago.

[11] **CPCI**, Metric Design Manual Precast and Prestressed Concrete, Volume II.

[12] **Frosch, R.J.,** 1999. Panel Connections for Precast Concrete Infill Walls, ACI Structural Journal, Technical Paper, Volume 96, No:4.

[13] **Hashim, M.S.A.W. and Sinan, Y.H.S.,** 1991. Prediction of Ultimate Shear Strength of Vertical Joints in Large Panel Structures, *ACI Structural Journal*, Technical Paper, Volume 88, Title No:88-S25.

[14] **Nergis, K.C.,** 2003. Deprem Bölgelerinde Prefabrike Panolu Yapıların Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] **Celep, Z. ve Kumbasar, N.,** 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

[16] **Bayülke, N.,** 1987. Prefabrike Yapı Sistemlerinin Depreme Dayanıklı Tasarım Yaklaşımları, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Müdürlüğü, *Deprem Araştırma Bülteni*, Ankara, Sayı 56, 5-15.

[17] **Polat, U., Göktepe, S., Gürses, E.,** 2000. Prefabrike Çerçeve ve Panel Duvar Yapısal Sistemlerin Davranışı ve Sismik Rehabilitasyonu, Deprem ve Prefabrikasyon**,** *10. Prefabrikasyon Sempozyumu Bildirileri*, Mayıs 4.

[18] **Sachanski, S.,** 1978. Earthquake Resistance of Precast Structures, *Proc. of the 6th European Conference on Earthquake Engineering, Dubrovnik*, 3-28.

[19] **Sandi H.,** 1979. Panel Discussion, Behaviour of Precast Structures, *Regional Seminar on Earthquake Engineering*, İstanbul.

[20] **Velkov**, **M.,** 1979. Precast Large Panel Structures, *Regional Seminar on Earthquake Engineering*, İstanbul.

[21] **Booth, E.,** 1994. "Concrete Structures in Earthquake Regions", Design and Analysis, Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, England.

[22] **Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T.,** 2000. 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, Deprem ve Prefabrikasyon, *10. Prefabrikasyon Sempozyumu Bildirileri*, Mayıs 4.

[23] **T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Deprem Şurası**, 2004. *Mevcut Yapıların İncelenmesi ve Yapı Denetimi Komisyonu Raporu*, Ankara, 29 Eylül-1 Ekim.

[24] **Vienna**, 1983. Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick-Masonry Buildings.

[25] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik,** 1998. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Yayını, İstanbul.

[26] **Uniform Building Code,** Volume 2, International Conference of Building Officials, 1997, California.

[27] **Çolakoğlu, H.K.,** 2001. Seismic Resistance of Precast Industrial Buildings, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi.

[28] **Eurocode 8**, 1998. Designs Provisions for Earthquake Resistance of Structures.

ÖZGEÇMİŞ

Şener ELGÜL, 15 Temmuz 1979'da Malatya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini sırasıyla Derme İlkokulu'nda ve Malatya Anadolu Ticaret Lisesi'nde tamamladı. Lise öğrenimine Malatya Fen Lisesi'nde başlayarak, Malatya Lisesi'nden mezun oldu. 1997 yılında İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2001 yılında mezun olarak aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı (Deprem) Mühendisliği Programı'na kaydolarak yüksek lisans öğrenimine devam etti. Halen özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.