

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEPREM BÖLGELERİNDE PREFABRİKE PANOLU
YAPILARIN TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kevork Can NERGİS**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

MAYIS 2003

**DEPREM BÖLGELERİNDE PREFABRİKE PANOLU
YAPILARIN TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Kevork Can NERGİS
(501991300)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Mayıs 2003

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Turgut ÖZTÜRK
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Tülay AKSU (İ.T.Ü.)
Öğr. Gör. Dr. Ali Koçak (Y.T.Ü.)

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, prefabrike panolu yapıların sistem kuruluşuna, pano birleşim çeşitlerine ve bu birleşimler üzerinde yapılmış deneylere, farklı yönetmeliklerdeki deprem yükü hesaplama yöntemlerine ve son olarak sayısal bir uygulamaya yer verilmiştir. ‘‘ABYYHY’’, ‘‘UBC 97’’ ve ‘‘EC 8’’ kullanılarak farklı yükseklikteki prefabrike panolu yapıların, yönetmeliklerde tanımlanan zemin cinsleri de göz önüne alınarak deprem hesapları yapılmıştır.

Bu çalışmayı yaparken büyük bir sabırla beni yönlendiren ve değerli bilimsel katkılarını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK’e çok teşekkür ederim. Ayrıca bütün eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem ve babam Sayın Sara ve Hırant NERGİS’e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mayıs 2003

Kevork Can NERGİS

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	viii
TABLO LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. YAPI ÜRETİMİNDE ENDÜSTRİLEŞME VE PREFABRİKASYON	2
2.1 Genel	2
2.2 Prefabrikasyonun Tanımı, Avantajları ve Dezavantajları	3
2.3 Dünya'da ve Türkiye'de Prefabrikasyonun Gelişimi	6
3. PREFABRİKE ELEMANLAR	10
3.1 Çubuk Elemanlar	10
3.1.1 Kirişler	10
3.1.2 Kolonlar	10
3.2 Düzlemsel Elemanlar	11
3.2.1 Döşeme Panoları	11
3.2.1.1 Prefabrike Döşeme Kirişleri İle Döşeme Teşkili	11
3.2.1.2 Filigran (Preslab) Döşeme Elemanları	12
3.2.1.3 Nervürlü Döşemeler	13
3.2.1.4 Dolu ve Boşluklu Döşemeler	13
3.2.1.5 Diyafram (Yatay Perde) Gibi Çalışan Döşemeler	13
3.2.2 Paneller (Duvarlar)	14
3.2.3 Bağ Elemanları	17
3.2.3.1 Bağ Hatılları	18
3.2.3.2 Bağ Çubukları	18
3.2.3.3 Bağ Sistemlerinde En Az Teçhizat	19
3.3 Temeller	20

4. PREFABRİKE TAŞIYICI SİSTEMLER	21
4.1 Çerçeve Sistemler	21
4.2 Panolu Sistemler	22
4.3 Kutu (Hücre) Sistemler	29
4.4 Döşeme-Kolon Sistemler	29
4.5 Karışık Sistemler	31
5. PREFABRİKE PANOLU SİSTEMLERDE BİRLEŞİMLER	32
5.1 Prefabrike Birleşim Tasarımında Uygulanması Gereken Kriterler	32
5.2 Toleranslar	35
5.3 Birleşimlerde Yük Katsayıları	36
5.4 Birleşim Elemanı Olarak Kesme Sürtünmesi	36
5.5 Saplamlar, Kanca veya Fiyonglar, Korniyerler	37
5.6 Taşıyıcı Duvar Panoları Birleşimleri	38
5.6.1 Düşey Birleşimler	38
5.6.1.1 Mafsallı Birleşimler	39
5.6.1.2 Harçlı Birleşimler	40
5.6.1.3 Mekanik Birleşimler	40
5.6.1.4 Kenetli Birleşimler	41
5.6.2 Yatay Birleşimler	43
5.6.2.1 Lineer Birleşimler	43
5.6.2.2 İzole Edilmiş Birleşimler	44
5.7 Döşeme Panolarının Ara ve Mesnet Birleşimleri	45
5.7.1 Pano Uç ve Kenar Mesnetlerindeki Vdz'ler	45
5.7.2 Panolar Arasındaki Kuvvetler	46
5.7.2.1 Panolar Arasındaki Düşey Vdz'ler	46
5.7.2.2 Panolar Arasındaki Kayma Kuvveti Vdy'ler	46
5.7.3 Döşeme Panoları İle Taşıyıcı Duvar veya Kiriş Arasındaki Vpdy ve Vxd'ler	46
5.7.4 Kat Döşemesi Başlık Kuvvetler Vbx'ler	46
5.8 Taşıyıcı Panolar Arasındaki Kayma Birleşimleri	47
5.8.1 Panolar Arasındaki Kuru Kayma Birleşimleri	47
5.8.2 Panolar Arasındaki Islak Kayma Birleşimleri	47
5.8.2.1 Kenetsiz Kayma Birleşimleri	48
5.8.2.2 Kenetli Kayma Birleşimleri	48

5.8.3 Panolar Arasındaki Düşey Kayma Güvenliğinin Sağlanması	49
5.8.4 Panolar Arasındaki Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması	51
5.8.4.1 Yalnız Basınç Gerilmelerine Göre Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması	53
5.8.4.2 Yalnız Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimler	54
5.8.4.3 Hem Çekme Hem Basınç Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimler	54
5.9 Panolar Arasındaki Basınç Birleşimleri	55
5.9.1 Genel	55
5.9.2 Pano Basınç Birleşim Çeşitleri	55
5.9.3 Pano Basınç Birleşimlerinde Sınırlamalar	56
5.9.4 Panonun Kendisinde ve Birleşimindeki Dışmerkezlik	57
5.9.5 Pano Basınç Birleşiminin Mukavemeti	57
5.10 Taşıyıcı Duvarlar İle Rijitlik Duvarları Arasındaki Düşey Birleşim	57
5.11 PRESSS Programı Kapsamında İncelenen Düşey Birleşimler	58
6. PREFABRİKE PANOLU SİSTEMLERİN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI	61
6.1 Yerde Dökme Betonarme Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı	62
6.2 Betonarme Prefabrike Yapıların Yerde Dökme Yapılara Göre Davranış Farkları	63
6.3 Prefabrike Pano ve Ek Yerleri Üzerinde Yapılmış Deneyler	65
6.3.1 Panolar Arasındaki Ek Yerleri Üzerinde Statik Deneyler	65
6.3.2 Panolar Arasındaki Ek Yerlerinde Dinamik ve Yönü Değişen Yükleme Deneyleri	67
6.4 Döşeme Plaklarının Ek Yerleri Üzerindeki Deneyler	73
6.5 Panolu Yapıların Tasarımı	75
6.5.1 Monolitik Yapı Tasarımı	75
6.5.2 Yapının Depremde Elastik Kalmasını Sağlayan Tasarım	77
6.5.3 Zayıf Yatay Ek Yerleri Olan Yapı Tasarımı	77
6.5.4 Düşey Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı	77
6.6 Prefabrike Panolu Yapılarda Gözlenmiş Olan Deprem Hasarları	79

7. YÖNETMELİKLERDEKİ DEPREM HESAPLARI	83
7.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik	83
7.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	83
7.1.2 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Belirlenmesi	85
7.1.3 Yerdeğıştirmelerin Sınırlandırılması	85
7.1.4 Yapının Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi	86
7.1.5 Prefabrike Betonarme Binalar İçin Özel Kurallar	86
7.2 UBC 97'de Sismik Dizayn Şartları	91
7.2.1 Statik Kuvvet Yöntemi	91
7.2.2 Taban Kesme Kuvvetinin Düşey Dağılımı	91
7.2.3 Yapı Periyodunun Belirlenmesi	92
7.2.4 Yerdeğıştirmelerin Sınırlandırılması	92
7.2.5 Prefabrike Yapılar İçin Özel Şartlar	92
7.3 Eurocode 8'de Sismik Dizayn Şartları	96
7.3.1 Statik Kuvvet Yöntemi	96
7.3.2 Zeminlerin Sınıflandırılması	97
7.3.3 Yatay Sismik Kuvvetlerin Dağılımı	97
7.3.4 Bina Temel Periyodu	97
7.3.5 Yerdeğıştirmelerin Sınırlandırılması	98
7.3.6 Prefabrike Yapılar İçin Özel Kurallar	99
7.3.7 Prefabrike Yapılardaki Birleşimler İçin Özel Kurallar	99
7.4 Yönetmeliklerdeki Deprem Yüğülerinin İrdelenmesi	104

8. SAYISAL UYGULAMA	110
8.1 Yapı Yüklerinin Belirlenmesi	110
8.2 Yatay Yüklere Göre Hesap	112
8.3 Perdelere Gelen Düşey Yükler	113
8.4 Taşıyıcı Duvar Panolarının Hesabı	115
8.4.1 Bağ Elemanlarının Hesabı	115
8.4.2 Panolar Arası Düşey Kayma Güvenliğinin Sağlanması	119
8.4.3 Panolar Arası Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması	123
8.4.4 Duvar Panolarının ve Birleşimlerinin Eksantrisite Hesabı	125
8.4.5 Duvar Panolarının Burkulma Hesabı	129
8.4.6 İkinci Mertebe Etkileri	134
8.4.7 Panoda Diyagonal Çatlak Tahkiki	135
8.4.8 Pano Basınç Birleşimi Mukavemet Hesabı	136
8.4.9 Taşıyıcı Olmayan Dış Cephe Panosu	138
8.4.10 Çekme Bulonu Hesabı	140
8.5 Bağlantı Kirişlerinin Hesabı	142
8.6 Döşeme Panolarının Hesabı	144
8.7 Temel Hesabı	150
9. SONUÇLAR	151
KAYNAKLAR	155
EKLER	159
ÖZGEÇMİŞ	174

KISALTMALAR

PRESSS	: Precast Seismic Structural Systems
NIST	: National Institute of Standards and Technology
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program
PCI	: Precast Prestressed Concrete Institute
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
UBC	: Uniform Building Code
EC 8	: Eurocode No: 8

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 : Sürtünme katsayıları.....	37
Tablo 5.2 : β Değerleri.....	50
Tablo 5.3 : Düşey dayanım için önerilen formüller.....	51
Tablo 5.4 : Düşey dayanım için gerekli donatı miktarı.....	52
Tablo 5.5 : Düşey birleşim örneklerinin davranış biçimleri.....	58
Tablo 7.1 : Hareketli yük katılım katsayısı.....	87
Tablo 7.2 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı.....	88
Tablo 7.3 : Spektrum karakteristik periyotları.....	88
Tablo 7.4 : Etkin yer ivmesi katsayısı.....	88
Tablo 7.5 : Bina önem katsayısı.....	89
Tablo 7.6 : Zemin grupları.....	89
Tablo 7.7 : Yerel zemin sınıfları.....	90
Tablo 7.8 : Sismik bölge faktörü.....	93
Tablo 7.9 : Zemin profili özellikleri.....	93
Tablo 7.10 : Sismik katsayı, C_v	93
Tablo 7.11 : Yakın kuvvet faktörü, N_v	94
Tablo 7.12 : Sismik katsayı, C_a	94
Tablo 7.13 : Yakın kuvvet faktörü, N_a	94
Tablo 7.14 : Sismik kaynak tipleri.....	95
Tablo 7.15 : Önem faktörü.....	95
Tablo 7.16 : Zeminlerin sınıflandırılması.....	100
Tablo 7.17 : Elastik davranış spektrumu parametrelerinin değerleri.....	101
Tablo 7.18 : Azaltma faktörü, v	101
Tablo 7.19 : Düktilite sınıf faktörü, $k(d)$	101
Tablo 7.20 : Davranış faktörü, q_o	101
Tablo 7.21 : Önem faktörü.....	101
Tablo 7.22a : ABYYHY’de zemin cinslerine göre deprem yükleri.....	103
Tablo 7.22b : ABYYHY’de zemin cinslerine göre deprem yükleri.....	104
Tablo 7.23a : UBC(97)’de zemin cinslerine göre deprem yükleri.....	105
Tablo 7.23b : UBC(97)’de zemin cinslerine göre deprem yükleri.....	106
Tablo 7.24 : EC8’de zemin cinslerine göre deprem yükleri.....	107
Tablo 8.1 : Kat toplam ağırlıkları.....	110
Tablo 8.2 : Pano ağırlıkları.....	112
Tablo 8.3 : Yapıya gelen toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması.....	113
Tablo 8.4 : Perde ve kolonlara gelen düşey yükler.....	114

Tablo 8.5	: Pano k ve λ değerleri.....	132
Tablo 8.6	: Pano e_o / t_w değerleri.....	132
Tablo 8.7	: Pano ϕ değerleri.....	132
Tablo 8.8	: Moment ve kesme kuvvetlerinin süperpozisyonu.....	142
Tablo 8.9	: Döşeme panolarının donatıları.....	146

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Prefabrike döşeme kirişleri ile döşeme teşkili.....	12
Şekil 3.2 : Filigran (preslab) döşeme.....	12
Şekil 3.3 : Nervürlü döşeme.....	13
Şekil 3.4 : Boşluklu döşeme.....	13
Şekil 3.5 : Döşeme içerisinde kuvvetlerin aktarımı.....	14
Şekil 3.6 : Büyük açıklıklı tek katlı yapılarda kullanılan profilli pano.....	16
Şekil 3.7 : Katlı binalarda kullanılan düzlem pano.....	17
Şekil 3.8 : Bağ hatılları.....	18
Şekil 3.9 : Prefabrike duvarlarda bağ kuvvetleri.....	20
Şekil 3.10 : Tipik bağ düzeni.....	20
Şekil 4.1 : Çerçeve türü taşıyıcı sistem.....	22
Şekil 4.2 : Panolu sistem.....	23
Şekil 4.3 : Kısa yönde yük taşıyan sistem.....	24
Şekil 4.4 : Uzun yönde yük taşıyan sistem.....	24
Şekil 4.5 : Her iki yönde yük taşıyan sistem.....	25
Şekil 4.6 : Boşluklu prefabrike pano ile İtalya’da bir uygulama.....	26
Şekil 4.7 : Duvar paneli montajı.....	27
Şekil 4.8 : Döşeme panelinin montaj iskeleleri ve duvar panelleri üzerine montajı.....	27
Şekil 4.9 : Forap sistemi uygulama aşamaları	28
Şekil 4.10 : Boşluklu panolu sisteminin uygulandığı yapının bitmiş hali.....	29
Şekil 4.11 : Tek parça döşeme kaldırma sistemi.....	30
Şekil 4.12 : Öngerilmeli plaklı – kolonlu sistem.....	31
Şekil 5.1 : Dış yükler ve birleşim kuvvet sistemi.....	38
Şekil 5.2 : Rijit, yarı rijit ve açık düşey birleşimler.....	39
Şekil 5.3 : Duvardan duvara mafsallı birleşimler.....	39
Şekil 5.4 : Harçlı birleşimler.....	40
Şekil 5.5 : Mekanik birleşimler.....	40
Şekil 5.6 : Kesme kenedi.....	42
Şekil 5.7 : Kesme kenedindeki kuvvetler.....	43
Şekil 5.8 : Lineer yatay birleşimler.....	44
Şekil 5.9 : İzole edilmiş yatay birleşimler.....	44
Şekil 5.10 : Döşeme panosu arasındaki kuvvetler.....	45
Şekil 5.11 : Pano birleşim kesitleri.....	47
Şekil 5.12 : Kenetli birleşim detayı.....	49
Şekil 5.13 : Pano basınç birleşim tipleri.....	56

Şekil 5.14	: Kenetleme boyu için kesit.....	56
Şekil 5.15	: Taşıyıcı duvar – rijitlik duvarı birleşimi.....	58
Şekil 5.16	: Kaynaklı düşey birleşim detayları.....	59
Şekil 5.17	: Bulonlu düşey birleşim detayları	60
Şekil 6.1	: Çeşitli biçimde donatılmış betonarme elemanların yük-deformasyon özellikleri.....	62
Şekil 6.2	: Perde duvarlı yapılarda mafsallaşma biçimleri.....	63
Şekil 6.3	: Kesme kenetlerinin kesme gerilmesi taşıma gücüne etkisi.....	66
Şekil 6.4	: Donatılı ek yerlerinin kesme dayanımı.....	67
Şekil 6.5	: Donatılı ek yerlerinin kesme dayanımı.....	68
Şekil 6.6	: Birleşim yerlerinin kesme kuvveti davranışı.....	69
Şekil 6.7	: Birleşim yerindeki donatının miktarı ve eksenel yükün değişmesi ile kesme dayanımında değişme.....	70
Şekil 6.8	: Maio tarafından denenilen birleşim yeri detayı.....	70
Şekil 6.9	: Maio tarafından elde edilen birleşim yeri davranışı.....	70
Şekil 6.10	: Değişik birleşim yeri mekanizmalarının rölatif kesme dayanımları.....	72
Şekil 6.11	: Eşit yayılı olmayan düşey basınç altında birleşim yerinde gelişen kesme dayanımı.....	72
Şekil 6.12	: Kalan kesme dayanımının başlangıç kesme dayanımına oranı.....	73
Şekil 6.13	: Prefabrike panolu yapıların yerinde dökme betonarme perde duvarlar gibi davranmasını sağlayacak ayrıntılar.....	74
Şekil 6.14	: Değişik tip döşemelerin yatay yükler altında davranışı.....	74
Şekil 6.15	: Deneyde kullanılan döşeme plağının hazır elemanları.....	75
Şekil 6.16	: Döşeme paneli yükleme biçimi.....	76
Şekil 6.17	: Prefabrike panolu yapıların deprem davranışları.....	79
Şekil 6.18	: Romanya depreminde panodaki hasarlar.....	80
Şekil 6.19	: Karadağ depreminde panoların davranışı.....	80
Şekil 6.20	: Marmara depreminde Bulgar Göçmen konutları.....	82
Şekil 7.1	: ABYYHY’de UBC 97’de ve EC 8’de deprem yüklerinin katlara ve zemin cinslerine göre değişimi.....	108
Şekil 7.2	: Yönetmeliklerdeki deprem yüklerinin karşılaştırılması.....	109
Şekil 8.1	: Prefabrike panolu yapı kalıp planı.....	111
Şekil 8.2	: (1-1) Aksı bodrum kat perdeleri.....	116
Şekil 8.3	: P21 Perdesi alt gerilme diyagramı.....	117
Şekil 8.4	: P22 Perdesi alt gerilme diyagramı.....	118
Şekil 8.5	: Konsol kiriş yayılı yük.....	119
Şekil 8.6	: P21 Perdesi kesme kuvvetleri.....	120
Şekil 8.7	: P22 Perdesi kesme kuvvetleri.....	121
Şekil 8.8	: Çekme ve basınç bölgesindeki gerilmeler.....	123

Şekil 8.9	: Panolar ile döşemeler arasındaki eksantrisiteler.....	125
Şekil 8.10	: Burkulmaya maruz duvar panoları.....	131
Şekil 8.11	: k Katsayıları diyagramı.....	131
Şekil 8.12	: Ø Burkulma fonksiyonu diyagramı.....	132
Şekil 8.13	: A Panosunun alt gerilme diyagramı	133
Şekil 8.14	: Birim genişlikli pano kesiti.....	134
Şekil 8.15	: P21 Perdesi için σ_{cd} gerilmesi.....	137
Şekil 8.16	: P22 Perdesi için σ_{cd} gerilmesi.....	138
Şekil 8.17	: Cephe panosu.....	139
Şekil 8.18	: M 30 Bulonu.....	140
Şekil 8.19	: Donatıların bağlandığı kutu.....	140
Şekil 8.20	: Büyük pul.....	141
Şekil 8.21	: Bağlantı kirişi en kesiti.....	142
Şekil 8.22	: Bağlantı kirişi donatı hesabı.....	144
Şekil 8.23	: D 101 Panosu.....	144
Şekil 8.24	: Üst hasır ve kaldırma kancalarının yerleri.....	146
Şekil 8.25	: Merdiven panosu.....	147
Şekil 8.26	: Merdiven panosu donatıları.....	148
Şekil 8.27	: İnceltilmiş uç.....	148
Şekil 8.28	: İnceltilmiş uç donatıları.....	150
Şekil A.1	: Dış duvar panosu düşey kenet tipi.....	160
Şekil A.2	: Duvar panoları yatay kenet tipleri.....	161
Şekil B.1	: Taşıyıcı dış duvar panosu ile iç duvar panosunun düşey birleşim detayı.....	162
Şekil B.2	: Taşıyıcı iki dış duvar panosu ile iç duvar panosunun düşey birleşim detayı.....	163
Şekil B.3	: Taşıyıcı iki dış duvar panosunun düşey birleşim detayı.....	164
Şekil B.4	: Taşıyıcı dış duvar panosu ile cephe pano düşey birleşim detayı.....	165
Şekil B.5	: Taşıyıcı iki dış duvar panosu ile döşeme panosunun yatay birleşim detayı.....	166
Şekil B.6	: Taşıyıcı iki iç duvar panosu ile iki döşeme panosunun yatay birleşim detayı.....	167
Şekil B.7	: İki döşeme panosunun açıklıktaki yatay birleşim detayı.....	168
Şekil B.8	: İki cephe panosu ile döşeme panosunun yatay birleşim detayı.....	168
Şekil B.9	: Bodrum katta taşıyıcı dış duvar panosunun radye temelle birleşim detayı.....	169
Şekil B.10	: Bodrum katta taşıyıcı iç duvar panosunun radye temelle birleşim detayı.....	169
Şekil B.11	: Çekme bulonunun temelle ankraj detayı.....	170
Şekil C.1	: Duvar panoları enkesitleri.....	171
Şekil C.2	: Duvar panoları kenar detayları.....	172

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 teçhizatı alanı
$A_{sç}$	: Çekme bölgesindeki teçhizat alanı
A_{sf}	: Kesme sürtünme teçhizat alanı
$A(T_1)$	: Spektral ivme katsayısı
A_o	: Etkin yer ivmesi katsayısı
a	: En kısa pano veya kiriş aralığı
a_{jm}	: m'inci dikdörtgendeki taban uzunluğu
b	: Mesnet genişliği, teçhizatın konduğu taşıyıcı duvarın plandaki uzunluğu (m)
b_j	: Ek genişliği
b_{ke}	: Kenet genişliği
C_a, C_v	: Sismik katsayı
C_t	: Katsayı
d	: Faydalı yükseklik, yapının en üst noktasının yatay yerdeğiştirmesi
d_e	: Yapısal sistemdeki yerin yerdeğiştirmesi
d_i, d_{i-1}	: i'inci ve i-1'inci katlardaki herhangi bir kolon veya perdenin hesapla elde edilen yatay yerdeğiştirmesi
d_r	: Katlar arası dizayn yerdeğiştirmesi
d_s, d_{s-1}	: Belirtilen noktanın yerdeğiştirmesi
F_b	: Sismik taban kuvveti
F_i	: i'inci kata etkiyen yatay kuvvet
F_p	: Birleşime etkiyen dizayn yatay sismik kuvveti
F_w	: Mimari elemanlara etkiyen deprem yükü
f_{cd}	: Beton hesap mukavemeti
f_{ctd}	: Beton hesap kesme mukavemeti
f_{yk}	: Çelik karakteristik akma mukavemeti
g	: Yerçekimi ivmesi ($9.81m/s^2$)

g_i	: i'inci kattaki toplam sabit yük
H_d	: Temas yüzeyine dik çekme kuvveti
H_N	: Temel üstünden itibaren bina yüksekliği
h	: Kat yüksekliği
h_{ke}	: Kenet yüksekliği
h_s	: Panonun alt ve üst kenarındaki yatay mesnetler arasındaki uzaklık
I	: Bina önem katsayısı
k_d	: Düktilite sınıf faktörü
k_{d1}, k_{d2}	: Katsayı
k_p, k_d	: Katsayı
l_w	: Perde uzunluğu
l_1, l_2	: Duvar panosunu sol ve sağındaki hacimlerin duvara dik boyutu
N	: Toplam kat sayısı
N_d	: Yatay yükten gelen normal kuvvet
N_r	: Rijitleştirilen taşıyıcı duvarın, rijitlik duvarı bölgesindeki toplam düşey kuvvet
N_v, N_a	: Yakın kuvvet faktörü
n	: Kenet sayısı
q, q_0	: Davranış faktörü
q_a	: İç veya dış duvarlar için davranış faktörü
q_i	: i'inci kattaki toplam hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, kesme sürtünmesi kuvveti
$R_a(T_1)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_d	: Sabit yükleme altındaki dizayn dayanımı
R_{pd}	: Birleşimlerin dizayn dayanımı
S	: Zemin parametresi
S_d	: Dizayn dayanımı
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
T	: Bağ elemanlarındaki çekme kuvveti, bina temel periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_B, T_C, T_D	: Periyot sınırları
T_w	: Duvar temel titreşim periyodu
T_1	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu
t_{ke}	: Kenet derinliği
t_w	: Pano kalınlığı

V	: Kenede etkiyen kesme kuvveti
V_{bdx}	: Başlık kuvveti
V_d	: Hesap kesme kuvveti
V_{dx}	: X doğrultusunda kayma kuvveti
V_{dy}	: Y doğrultusunda kesme kuvveti
V_{dz}	: Z doğrultusunda kesme kuvveti
V_{fd}	: Duvar panosu mesnetinde kesme kuvveti hesap değeri
V_{pdy}	: Y doğrultusunda mesnetlerde meydana gelen kesme kuvveti
V_{res}	: Kesme kuvveti altındaki kesitin taşıma gücü
V_t	: Binaya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü
W	: Bina toplam ağırlığı
W_e	: Mekanik veya elektrik donanımının ağırlığı
W_i, W_x	: Ağırlığın h_i, h_x yüksekliğine karşılık gelen kısmı
W_w	: Duvar ağırlığı
w_s	: Kayma teçhizatı oranı
Z	: Sismik bölge faktörü
z_i, z_j	: Belirtilen noktaların temel üstünden yüksekliği
γ_{er}	: Katsayı
γ_{Rd}	: Kesin olmayış faktörü
γ_{cycl}	: Azaltma faktörü
γ_1	: Önem faktörü
β_0	: Spektral ivme amplifikasyon faktörü
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	: Katsayı
μ_e	: Sürtünme katsayısı
μ_s	: Sürtünme kuvveti
σ_m	: m'inci dikdörtgendeki gerilme değeri
Δ_i	: Gerekli kat ötelemesi
Δ_m	: Maksimum inelastik davranış deplasmanı
Δ_s	: Dizayn davranış deplasmanı
ρ	: Donatı oranı
λ	: Beton bağıl yoğunluğuna bağlı katsayı
v	: Azaltma faktörü
χ	: 1,6-d
α	: Dizayn yer ivmesinin gravite yer ivmesine oranı

DEPREM BÖLGELERİNDE PREFABRİKE PANOLU YAPILARIN TASARIMI

ÖZET

Toplumların gereksinimlerinin artması ve bununla paralel olarak oluşan teknolojik gelişmeler, her alanda olduğu gibi yapı endüstrisini de etkilemiştir. Teknolojik ve toplumsal gelişmelerin zorunlu kılması sonucu, yapı alanında yeni inşaat sistemlerine başvurulduğu, bu sistemlerin gerektirdiği biçimde önceden üretme ve seri üretim çözümlerine gidildiği, giderek yapı alanında endüstrileşme ve prefabrikasyonun doğduğu bir gerçektir. Prefabrikasyon teknolojisinin gelişmesi ile bu sistemi uygulayan ülkelerde prefabrike sistemlerin en kritik yerleri olan birleşim yerlerinin davranışını öğrenebilmek için birçok teorik ve deneysel araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar daha çok ülkelerin kendi kullandıkları birleşim detayları üzerinde yoğunlaşmıştır. Fakat bu çalışmalar son yıllarda ABD ve Japonya'nın ortak yürüttükleri PRESSS programı kapsamındaki teorik ve deneysel çalışmalarla daha koordineli ve kapsamlı bir hal almıştır. Bu programın amacı, prefabrikasyon teknolojisinde sık kullanılan birleşim detaylarını inceleyip bunların davranışlarını belirlemektir.

Bu tez çalışmasında prefabrike panolu sistemler ayrıntılı bir biçimde incelenmiş, "TS 9967" 'deki prefabrike panolu yapılar ile ilgili hükümlere yer verilmiştir. Ayrıca günümüze kadar prefabrike panolu sistemlerdeki düşey ve yatay birleşimler üzerinde yapılmış olan deneysel çalışmalar araştırılmıştır ve değişik yönetmeliklerdeki deprem yükünü hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Bunlarla ilgili sayısal uygulamalar yapılmıştır.

Dokuz bölüm halinde sunulan bu çalışmanın amacı ve kapsamı birinci bölümde anlatılmıştır.

İkinci bölümde prefabrikasyon teknolojisi tanıtılmıştır, avantajları ve dezavantajları belirtilmiş ve prefabrikasyonun gelişimi anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde genel olarak prefabrike sistemlerde kullanılan elemanlar tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde prefabrike taşıyıcı sistemler tanıtılmıştır ve özellikle ülkemizde kullanılan panolu sistem anlatılmıştır.

Beşinci bölümde prefabrike panolu sistemlerde kullanılan birleşimler anlatılmıştır. Bu bölümde ülkemizde kullanılan "TS 9967" 'de birleşimler için verilen hükümlere yer verilmiştir.

Altıncı bölümde prefabrike panolu sistemlerin depreme dayanıklı tasarımı incelenmiştir. Prefabrike panolu yapıların birleşimleri üzerinde yapılmış olan deneyler incelenmiştir. Ayrıca depremler sonucu prefabrike panolu yapılarda oluşan deprem hasarları gösterilmiştir.

Yedinci bölümde ‘‘ABYYHY’’, ‘‘UBC 97’’ ve ‘‘EC 8’’ ’de bulunan deprem yükünü hesaplama yöntemleri ve prefabrike binalar için özel şartlar belirtilmiştir. Ayrıca bu yönetmeliklerdeki yöntemler kullanılarak deprem yüklerinin bina yüksekliğine ve zemin cinslerine göre değişimi incelenmiştir.

Sekizinci bölümde prefabrike panolu bir sistem ele alınmıştır ve özellikle panoların hesabı ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir.

Son bölümde bu çalışmada yapılan incelemeler sonucunda elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

DESIGN OF THE PRECAST SHEAR WALL STRUCTURES IN SEISMIC AREAS

SUMMARY

In connection with the increase in the requirements of the public and in parallel with the technological improvements which coincide with them, just as in any other field, the building industry has also been affected. As a compulsory result of the technological and public developments, new construction systems were to be sought in the building industry and advances were to be made in prefabricating and serial productions as these new systems required, it is a reality that industrialization and prefabrication would be born gradually in the construction field. With the development of the prefabrication technology, in the countries which employ this system, many theoretical and experimental studies have been started to find out and learn more on the behavior of the connections, which are very critical in these prefabrication systems. These studies were intensified mostly on the connection detail many countries employed themselves. But these studies, in the recent years, have come to be more coordinated and comprehensive with the theoretical and experimental studies of the PRESSS programme, pursued jointly by United States of America and Japan. The aim of this programme, is to investigate the connection details frequently used in the prefabrication technology and to determine their behaviours.

In this thesis study, prefabricated panel systems are investigated in detail, with reliance onto the relevant provisions of the "TS 9967" on prefabricated panels. Moreover, the experimental studies carried out on the vertical and horizontal connections in the prefabricated panels till this day, are investigated and methods of calculating the earthquake forces given in various regulations are studied. In connection with these, numerical implementations were employed.

The aim and context of this study is explained in the first section, which is presented as a whole in nine sections.

In the second section, prefabrication technology is introduced, its advantages and disadvantages being discussed. Also, the development of the prefabrication system till our day is thoroughly explained.

In the third section, in general, the elements employed in the prefabrication systems are introduced.

In the fourth section, the carrier systems being introduced, especially the panel systems used in our country are given.

In the fifth section, the connections used in the prefabricated panel systems are discussed. In this section, notes relevant to the provisions of "TS 9967" implemented in our country are given.

In the sixth section, the plan of the prefabricated panel systems which claims resistance to earthquakes is studied and the experiments carried out on buildings for the connections of these prefabricated panels is investigated. Moreover, in the buildings which have employed the prefabricated panels in their constructions, the damages caused as a result of the earthquakes are presented.

In the seventh section, the calculation methods of the earthquake forces and special conditions set forth for prefabricated buildings included in the "ABYYHY", "UBC 97" and "EC 8" are indicated. Also by using the methods contained in these regulations, the variations in the earthquake forces, depending on the height of the buildings and types of substructures are investigated.

In the eighth section, a prefabricated panel systems being discussed, especially the calculations made relevant to the panels are given in detail.

In the ninth and last section, the results obtained by the end of this study carried out, are explained.

1. GİRİŞ

Yapı alanında endüstrileşme, özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında şehirlerin büyük ölçüde tahrip olması ve bunun sonucunda doğan büyük konut gereksiniminin geleneksel yapım yöntemleri ile karşılanamaması sonucunda, savaşa giren ülkelerin üretim hızı yüksek, güvenli ve ekonomik özelliklerini bir arada sağlayacak sistem arayışlarına girmeleri ile başlanmış denilebilir. Her ne kadar bu dönemden önce de ön üretimli elemanlar üretilmişse de, bugünkü anlamıyla ön üretimli bina yapım yöntemleri, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır.

Geleneksel inşaat sektörünün II. Dünya Savaşı sonrasında durumu çok yetersizdir; bina piyasasının tamamen alt üst olması, işçi temini yönünden büyük zorluk çekilmesi, binaların çoğunun zarar görmüş olması ve üretimin uzun süre hareketsiz kalmış olması bu yetersizliklerin başlıcalarını oluşturmuştur.

Savaş süresince ve Savaş'tan sonra “ ancak binanın şantiyeden fabrikaya aktarılması sayesinde talebin karşılanabileceği “ hipotezleri duyulmaya başlanmıştır. 1950’lerde Van Der Bruck şöyle demiştir;

“İnşaat sektöründe maksimum işlerlik, ancak sonradan şantiyede birleştirilmek üzere fabrikada üretilen büyük boyutlu elemanlar kullanmak yoluyla elde edilebilir”[1].

Getirilen ön üretimli bina yapım yöntemleri, konut ihtiyacını karşılamış ve bu konuda açıkları bulunan az gelişmiş ülkeler için geleneksel yapım yönteminden farklı olarak ayrı bir çözüm alternatifi oluşturmuştur.

Ülkemizde ise ancak 60’lı yıllarda prefabrikasyon uygulamalarına başlanabilmiştir. Ancak buna rağmen günümüzde endüstri yapılarının hemen hemen tümü prefabrikasyon teknolojisi ile inşa edilmektedir.

Bu çalışmada prefabrikasyon genel anlamıyla anlatılmış, prefabrike taşıyıcı sistemler özellikle panolu sistemler ve bunların deprem davranışları üzerinde durulmuştur. Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği’nde (ABYYHY), Uniform Building Code’da ve Eurocode 8’de deprem yükü hesaplama yöntemleri ve prefabrike yapılar için özel şartlar incelenip belirtilmiştir.

2. YAPI ÜRETİMİNDE ENDÜSTRİLEŞME VE PREFABRİKASYON

2.1 Genel

Yapı üretiminde endüstriyel yöntemlerin uygulanması Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra başlamıştır, yaygınlaşması ise İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra olmuştur. Yapı endüstrisindeki bu değişimler tek yapılardan toplu konutlara, küçük girişimlerden büyük girişimlere, el emeğinden mekanizasyona geçişle kesiksiz üretime geçiş olarak tanımlanabilir. Endüstrileşmiş yapım yöntemlerini ilkel ve geleneksel yapım yöntemlerinden ayıran özellik ise, üretime katılanlar arasındaki haberleşme eksikliği yerine, sağlam bir organizasyon ve sürekliliğin sağlanmasıdır [2].

Bazı yazarlar yapımın endüstrileşmesini, yapı bileşenlerinin üretim ve montajda yoğun bir mekanizasyona gidilmesi anlamında yorumlarken, diğerleri ise (ne şekilde imal edilirse edilsinler) yapı bileşenlerinin büyük çapta önceden hazırlanması (prefabrikasyon) kimliğinde anladıkları görülmüştür. Bir takım araştırmacılar ise, sınırlı kaynaklarla kısa sürede çok çözüm yolunun bu kavramı karakterize edeceğini savunmuşlardır [3].

Endüstriyel yapı üretimini genel olarak üç temel kavram karakterize eder. Bunlar;

- a) Rasyonalizasyon: En genel anlamıyla tasarım ve yapımda, kaynaklardan en iyi şekilde yararlanabilmeyi mümkün kılacak ve bilimsel temellere dayanan (akılcı) metodların zanaat kural ve geleneklerine göre şekillenmiş eskilerinin yerini alması olarak tanımlanır.
- b) Mekanizasyon: Tüm üretim süreci kapsamında mümkün olan her alanda el emeğinin yerini makinaların almasıdır.
- c) Prefabrikasyon: Yapı bileşenlerinin yerinde üretiminden vazgeçilerek, önceden fabrikalarda veya atölyelerde hazırlanmasıdır.

Yapı üretiminde endüstrileşme; rasyonalizasyon, mekanizasyon ve prefabrikasyon kurallarının yapı elemanlarına ve yapıya uygulanmasını gerektirir.

2.2 Prefabrikasyonun Tanımı, Avantajları ve Dezavantajları

Prefabrikasyon, vinçler, taşıma, montaj araçları ve diğer kaldırma araçlarının yardımı ile seri üretim elemanlarıyla yapıların oluşturulduğu endüstrileşmiş bir yapım yöntemidir [4].

Daha geniş bir tanımlamayla, kullanma amacı esas alınarak dayanım, görünüm, ikamete uygunluk, konfor, süre açısından ortaya çıkan gereksinimlere en üst seviyede cevap verebilen bir yapım sistemi oluşturmak amacıyla, elemanlarının çoğunluğunun fabrika ortamında modern teknoloji koşulları altında, seri halde olarak üretildiği yapı türü prefabrikasyon olarak tanımlanabilir. Prefabrikasyona kısaca inşaat tarz ve tekniklerinde yapılan ilerleme de denilebilir. Şüphesiz bu ileri adımın bize sağladığı faydalar vardır. Prefabrike yapı elemanlarının önceden üretiminin sağladığı avantajlar üç aşamada ele alınabilir.

- İşletme açısından,
- İş gücü açısından,
- Nitelik açısından.

1) İşletme Açısından

- Üretimin mekanizasyonu: Üretime elle müdahalenin azaltılmasıyla, prefabrike elemanların seriler halinde üretimi, makine kullanımını daha pratik hale getirir [4].
- Üretim veriminin artırılması: Aynı süre içerisinde farklı türlerdeki üretim işlemlerinin aynı anda yapılabilmesini (tek tek üretim, kümesel üretim, kütesel üretim) sağlar.
- Kaynakların verimli bir biçimde kullanılması ve malzeme kayıplarının en aza indirilmesi: Geleneksel yapımda gerek hazırlama ve gerekse uygulama aşamalarında oldukça önemli malzeme kayıpları olur. Kalıpların hazırlanması, duvar örme, kaba ve ince sıva işlerinde, her türlü tesisatın yerleştirilmesinden doğan kırma, yıkma, delme ve yeniden yapma işlerinde bir inşaatta % 15 dolayında fire verildiği, inşaat uygulamacılarının ortak görüşü olarak ortaya çıkmaktadır [5].
- Çalışma yerlerinin sabit olması: İklim koşullarına bağlı kalmadan, yılın her mevsiminde sürekli üretim ve sağlıklı çalışma olanağına kavuşulur.
- Şantiye giderlerinin en aza indirilmesi: Daha az yapı iskelesi gerekir. Çok az kalıp gerekir ve bu kalıplar basit kalıplar olup, birçoğu elimine edilir. Geleneksel yapımda

söz konusu olan 2., 3. el mal teminindeki aracı karları ortadan kalkar, elemanlar fabrika ile direkt bağlantı sağlanarak temin edilir [6].

- Yapı üretimine getirilen hız: Endüstrileşmiş yöntemlerle yapı üretiminde, geleneksel yöntemlerle yapılan bir yapıya göre, yapım çalışmalarının zaman içinde uygulanan teknolojik yöntemle göre bölümlere ayrılarak, bir kısım işlerin diğerlerinin yapım süresi içinde hazırlanması suretiyle yapım süresi büyük ölçüde kısılır. Endüstriyel yöntemlerin yapı üretimine sağladığı hız ile yapı maliyeti, zamanın getireceği enflasyondan etkilenmez ve böylece yapıdan daha kısa sürede faydalanılabilir.

2) İş Gücü Açısından

- Geleneksel yapıma karşın işçilikte % 35 - 40 oranında tasarrufun sağlanması: Endüstrileşmiş yöntemlerle yapı üretiminde, birim yapı başına üretici olmayan iş gücü düşer ayrıca, işçilerin aynı işte tecrübe sahibi olmaları ve uzmanlaşmaları sağlanır [4].

- İş gücünün azalması, işçi denetiminin kolaylaşması: Prefabrik elemanlar fabrikalarda veya inşaat sahasında fabrika koşullarında üretildiğinden daha az iş gücüne ihtiyaç duyulur. Uzman işçi yerine, oradan oraya dolaşmak zorunda olmayan sıradan işçi kullanılabilir.

- Dağınık ve mevsimlik işçiyi devamlı bir fabrika işçisi haline getirmesi ve sosyal güvencelerinde işin sürekliliği açısından önemli ölçüde yarar sağlanması: Endüstrileşmiş yöntemlerle yapı üretiminde, elemanların fabrika ve atölyelerde üretilmesinden dolayı işçiye sürekli olarak mevsimlere ve dış etkilere tabi olmadan iş temini, sosyal bir faydayı da kendiliğinden ortaya çıkarır.

- Ağır bedensel çalışmaların azalması: İşçinin çalışması gereken saatler azalır. Geleneksel metotta, işçinin gerekli teçhizatı şantiyede kendisinin oluşturması, ayrıca her gün bazı aletleri kurup kaldırması gerekir. Oysa endüstrileşmiş yapım yöntemleriyle yapımda, elemanlar montajı yapılmak üzere bitmiş olarak şantiyeye gelirler.

3) Nitelik Açısından

- Özenli işçilik, denetim ve benzeri işlerin tekrarı kaliteyi yükseltir: Elemanlar seri olarak üretildiği için parçalarda belli bir standart vardır. Elle yapıma özgü hatalar azalır. Geleneksel yapı üretiminde çok kere kontrol dışı kalabilen yapım çalışmalarına endüstrileşmiş yöntemlerle yapımda zamanında müdahale edilir.

Böylece yapının bütününde boyutlarının tarıflılığı, malzemenin güvenilirliği, yapı standartlarının yükselmesine neden olur.

- Elemanların sökölüp takılması ya da değiştirilmesi olanaklarıyla esnekliğin sağlanması: Geleneksel metoddan yapı tamamlandığından, planda geriye dönüş yoktur. Değişiklik yapılsa bile (yeni pencere takmak, kapıların yerini değiştirmek vb.) büyük masraf ve zaman kaybı olur. Oysa endüstrileşmiş yöntemlerle yapılan yapılarda elemanların seneler sonra bile sökölüp takılması ya da değiştirilmesi söz konusudur.

- Elemanlar, fabrikada daha iyi koşullarda makinalarla üretildiğinden ve eleman üretiminde kullanılan malzemelere kalite kontrolü uygulanmasından dolayı elemanların ve malzemelerin niteliklerinin yükselmesi: Ülkemizde pilot bölgelerde yapı denetim kuruluşları oluşturulduğundan dolayı, inşaat malzemeleri (beton, demir, vb.) kontrol edilse bile bu, prefabrikasyon sektöründeki kalite kontrol şartlarına tam olarak erişememiştir.

Prefabrikasyonun pek çok olumlu yönlerine karşılık bazı olumsuz yönleri de bulunur. Gereksinme koşullarına göre bu olumlu ya da olumsuz yönler değer kazanır ya da değerini yitirir.

Prefabrikasyon için ileri sürülebilecek olumsuz yönler şu şekilde sıralanabilir:

1) Büyük yatırım gereği: Seri üretim için büyük fabrikaların kurulması büyük yatırım gerektirir. Ekonomik ve ucuz fiyatla üretim sağlamak için belirli bir tipten çok sayıda üretilmesi zorunlu olur.

2) Sınırlı çözüm: Her şey inşaattan önce planlanır. Üretimde paralellik ve standartlaşma nedeniyle çözümlerin dizisi sınırlıdır. İnşaat sırasında değişiklik olanağı hemen hemen yoktur.

3) Kalifiye eleman ihtiyacı: Üretim alanında olduğu kadar montaj ve uygulama alanında da her kademedan kalifiye elemana ihtiyaç vardır [7].

4) Prefabrikasyon, yerel iş gücünü ve yerel malzemenin kullanılışını kısıtlayabilir ve azaltabilir.

5) Taşıma ve yerinde montaj yapma, teknik gelişim sonucu kolay bir iş olmasına karşılık, mamul elemanların ağırlığı bir sorun olma niteliğini korumaktadır.

- 6) Prefabrikasyonda pazarlama sorunu vardır. Prefabrike bir elemandan toplu üretim zorunluluğu vardır ve bu nedenlerle bir tipten üretime toplu istek - talep durumu söz konusu olmaktadır.
- 7) Elemanların fabrikadan şantiyeye taşınması sırasında, eleman üzerinde bir takım hasarların olma olasılığı oldukça yüksektir [8].
- 8) Taşınacak elemanların boyutları, ağırlıkları, fabrikanın şantiyeye olan uzaklığı, taşıma aracının şekil ve cinsleri yapının maliyetini arttıran sebepler olarak taşıma sırasında ortaya çıkar.
- 9) Münferit olarak yapılan küçük inşaatlar, maliyet açısından elverişli değildir.
- 10) Prefabrikasyon toplu üretim yapma zorunluluğu içinde olduğu için, ürettiği elemanları bir modülün tekrarı biçiminde yapar. Bu hem yapıları kullanan kimseler tarafından sevimli bulunmaz, hem de mimarlarca düşünce ve tasarım özgürlükleri için bir kısıtlama sayılabilir [9].

2.3 Prefabrikasyonun Gelişimi ve PRESSS Programı

Her sektörde olduğu gibi inşaat sektörü de teknolojik gelişmelere paralel olarak endüstrileşme yolunda büyük gelişmeler göstermiştir. Yapı sektörü özellikle 2. Dünya Savaşı'ndan sonra, ülkelerdeki konut ihtiyacına paralel olarak, insan gücünden daha az yararlanarak, daha hızlı yapım yöntemlerini araştırmaya başlamıştır. Bu bağlamda prefabrikasyon teknolojisi daha büyük önem kazanmış ve prefabrike yapım yöntemi üzerinde daha fazla çalışmalar başlamıştır. Ancak özellikle 2. Dünya Savaşı sonrasında uygulanan prefabrike sistemler, daha ziyade ihtiyacı çok hızlı bir şekilde karşılamak amacı ile uygulandıklarından ve bu yerlerin riskli deprem bölgelerinde bulunmamasından dolayı, sistemin depreme karşı dayanımı fazla önemsenmemiştir. Dolayısıyla daha çok birleşim detaylarının ve üretim teknolojisinin geliştirilmesine yönelik çalışmalarda bulunulmuş ve bu çalışmalar daha çok özel şirketlerin kendilerine has çalışmalarıyla sınırlanmıştır.

Depreme dayanıklı prefabrike yapılar konusu ancak 60'lı ve 70'li yıllardan sonra, gelişmiş ülkelerde yeterli bir tecrübe birikimi oluştuktan sonra önem kazanmış ve bu konuda birçok analitik ve deneysel çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalar özellikle ABD, Japonya ve Yeni Zelanda gibi, deprem tehlikesine maruz ülkelerde en ön sırayı alır.

Günümüzde depreme dayanıklı prefabrike yapılar konusunda gerçekleştirilen en koordineli ve en geniş kapsamlı çalışma, ABD ve Japonya'nın ortak yürüttükleri PRESSS (Precast Seismic Structural Systems) programıdır. Bu program kendi içerisinde üç aşamadan oluşur ve bu çalışmaların nihai amacı, değişik deprem bölgelerinde yer alan prefabrike ve ön gerilmeli betonarme yapılar için yönetmeliklerde yer alacak yol gösterici bilgileri oluşturmaktır.

ABD ve Japonya'nın ortaklaşa yürüttükleri PRESSS programının amacı, sismik bölgelerde uygulanabilecek ekonomik ve teknik prefabrike sistemler geliştirmek ve bu geliştirilen sistemlerin pratikte kullanılmalarını sağlayacak dizayn tavsiyelerini geliştirmektir. Bu program genel anlamda üç aşamadan oluşur;

I. aşama sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [10];

- Fikir geliştirme,
- Birleşimlerin sınıflandırılması,
- Analitik platform oluşturulması,
- Dizayn tavsiyeleri.

II. aşamada ise aşağıdaki projeler yönetilmiştir;

- Prefabrike Betonarme Çubuk Sistemlerde Düktil Birleşimler: Bu konu ile ilgili araştırma programı ABD'deki Minnesota Üniversitesi ve Texas Üniversitesi tarafından dört kategoride incelenmiştir.
- Prefabrike Betonarme Panel Sistemlerde Düktil Birleşimler: Bu çalışma ise National Institute of Standards and Technology (NIST) ve Nebraska-Lincoln Üniversitesi tarafından yürütülmektedir.
- Precast Frames with Unbonded Tendons: Burada ön gerilmeli kirişler ile kolonların bağlantıları ile ilgili çalışmalar California Üniversitesi tarafından yürütülmektedir.
- Prefabrike Betonarme Kolonlar İçin Yüksek Performanslı Fiber Donatılı Beton ile Enerji Yutan Birleşimler: Bu konu ile ilgili çalışma Michigan Üniversitesi tarafından yürütülmektedir.

- Çeşitli Sismik Bölgelerde ve Zemin Karakteristiklerinde Prefabrike Yapı Sistemlerinin Sismik Davranış Değerlendirmeleri: Bu analitik alışma Lehigh Üniversitesi tarafından yürütülmektedir.

- PRESSS Programı İçin Sismik Dizayn Tavsiyelerinin Geliştirilmesi.

- Dinamik lekli Model Testleri

İlk iki aşama sonunda elde edilen bulgular doğrultusunda, birleşim bölgesinde düktilite gerektirmeyen sistemler olarak tarif edilen “Kuvvetli Birleşimli Sistemler”, monolitik sisteme benzetilişim yoluyla, ABD’de zorlayıcı özelliği olmayan tavsiye niteliğindeki 1994 NEHRP’e (National Earthquake Hazards Reduction Programı) dahil edilmiştir.

Japonya’da ise PRESSS programı kapsamında “ PRESSS Tasarım Kılavuzu ” yayımlanmıştır. Bu kılavuz prefabrike taşıyıcı elemanlı binaların tasarımı için hazırlanmıştır. Burada prefabrike elemanların ve birleşimlerinin, monolitik benzerine eşdeğer veya daha üstün özelliklere sahip olması öngörülür.

Buna göre prefabrike birleşimlerden, verilen tasarım yükleri altında elemanlardan gelecek etkileri yeterince aktarabilecek mukavemette olmaları ve “Prefabrike Birleşim Davranışının Değerlendirme Kriteri” şartlarını sağlamak üzere, mukavemet azalmasını ve kaymadan dolayı oluşan deformasyonları sınırlayacak şekilde tasarlanmaları istenir. Ayrıca prefabrike elemanlarda ve birleşimlerde; kullanılabilirlik, dayanıklılık ve yangın dayanımı özelliklerinin de sağlanması gerektiği belirtilir. Bu şartları sağlayan birleşimlere “Eşdeğer Birleşim” adı verilir [11].

III. aşamada ise I. ve II. aşamalar sonucunda elde edilen sonuçlarla oluşturulan birleşimler ile inşa edilecek bir yapının tam anlamda test edilmesi ve bunun sonucunda analitik bir programın geliştirilmesi hedef alınmıştır.

PRESSS programı çalışmaları sonucunda iki tip birleşim esas alınmıştır ve çalışmanın erevesi ve ana hedefleri belirlenmiştir. Bunlardan birincisi “Kuvvetli Birleşimler”, ikincisi ise “ Düktil Birleşimler ” ‘dir. Ana hedef ise bazı prefabrik yapı sistemler, özellikle “Kuvvetli Birleşimler”e sahip sistemler için tasarım esaslarının belirlenmesi ve aynı zamanda “deplasman” bazlı depreme dayanıklı hesap metodunu “Düktil Birleşim”e sahip sistemlerin tasarımı için geliştirilmesi olarak gösterilmiştir. Deplasman bazlı depreme dayanıklı hesap metodu ABD şartnamelerinde yer almadığından, prefabrik yapıları mevcut şartnamelere (UBC ve NEHRP) en uygun şekilde dahil etmenin yollarını araştırmak üzere çalışmalar başlamıştır [12].

Prefabrikasyonu gereksinim haline getiren nedenler, her iklimde inşaatın sürdürülebilmesini sağlamak, üretimde hızı artırmak ve sanayi yapılarında kalıp ve iskele masraflarından önemli bir tasarruf sağlamak olarak sayılabilir. Ancak Türkiye’de prefabrikasyonun bu özellikleri uzun yıllar göz ardı edildiğinden ve bazı engellerin bulunmasından dolayı, prefabrike yapım teknolojisi ülkemize ancak 60’lı yılların sonlarına doğru sanayileşmenin ve toplu konut üretiminin hızlanması ile uygulama alanları bulmuştur. Yukarıda sözü edilen engeller genel başlıklarıyla dört kategoride incelenebilir. Bunlar;

- a) Ticari ve Ekonomik Engeller,
- b) Teknik Engeller,
- c) Yasal Engeller,
- d) Yönetimsel ve Politik Sorunlar.

Prefabrike yapım teknolojisinin ülkemizde uzun bir geçmişi olmamasına rağmen, günümüzde sanayi yapılarının büyük bir çoğunluğu bu teknoloji ile üretilmiştir. Prefabrike yapı elemanları üreten ve uygulamasını yapan firma sayısı yaklaşık olarak 103’e ulaşmış ve bunlardan 39’u ise Türkiye Prefabrik Birliği’nin üyesi olmuştur. Böylece bu firmalar belli bir standart ve kalite seviyesini yakalamışlardır. 2000 yılı verileri ile Türkiye’de 1.352.291 m³ prefabrike eleman üretilmiş ve 4446 kişilik istihdam yaratılmıştır [13]. Bilimsel yönden her ne kadar prefabrike panolu sistemler veya pano birleşim yerleri için herhangi bir deneysel çalışma yapılmamış olsa da, çerçeve sistemlerde eleman birleşim yerlerinin davranışlarını belirlemek ve geliştirmek için yapılmış olan deneysel çalışmalar mevcuttur. Bunlardan biri İTÜ Yapı Laboratuvarı’nda gerçekleştirilen ve halen devam etmekte olan soket temel-kolon birleşimi için yapılmakta olan çalışma, diğeri ise ODTÜ’de uygulanmış olan kolon - kiriş birleşimi ile ilgili çalışmalardır.

3. PREFABRİKE ELEMANLAR

Prefabrike betonarme elemanlar, fabrika, atölye vb. yerlerde, önceden hazırlanan kalıplarda seri olarak üretilen, inşaat yerine taşınan ve vinç vb. kaldırma araçları ile montajı yapılan, bu işlemler dolayısı ile de özel olarak projelendirilen hazır yapı elemanlarıdır.

Prefabrike elemanları çubuk elemanlar; kiriş, kolon, çerçeve, kemer vb. ile döşeme ve duvar yapmak için kullanılan ve pano denen düzlemsel elemanlar ve kabuk kısımlarından oluşan kabuk elemanlar olarak sınıflandırabiliriz [14].

3.1 Çubuk Elemanlar

3.1.1 Kirişler

Prefabrike çerçevesel sistemlerde kolonları birleştirip sürekliliği sağlayan, sürekli, basit veya çerçeve kirişini oluşturmak amacıyla kullanılan prefabrike çubuk elemanlardır. Bu elemanların kiriş - kiriş ve kolon - kiriş şeklinde birleşimleri mafsallı veya rijit olabilir. Prefabrike kirişlerin en kesitleri herhangi bir biçimde ve yükseklikleri sabit veya değişken olabilir [15].

3.1.2 Kolonlar

Prefabrike çerçevesel sistemlerde, döşeme ve kirişlerden gelen düşey ve yatay yükleri temele aktaran elemanlardır. Prefabrike sistemlerde kolonlar, kirişlerin oturmaları için kısa konsollar veya inceltilmiş uçlu konsollara sahip olabilirler. Kolon - kolon ve kolon - kiriş birleşimleri mafsallı veya rijit olabilir. Prefabrike kolonların en kesitleri, genelde dikdörtgen olmak üzere herhangi bir biçimde olabilir.

TS 9967’de prefabrike kolonlar için en az kolon boyutları aşağıda verilmiştir;

-Dikdörtgen ve benzeri kesitlerde20 cm

-Profilli kesitlerde,

Başlık ve gövde kalınlığı.....7 cm

Başlık genişliği.....20 cm

Ayrıca en az boyuna teçhizat çapı, BÇ I için 14 mm ve BÇII için 12 mm'dir.

3.2 Düzlemsel Elemanlar

3.2.1 Döşeme Panoları

Prefabrike binalarda döşemeler kapadıkları hacimlerin plandaki boyutları ve taşıyıcı sisteme bağlı olarak değişik biçimlerde teşkil edilebilirler. Bunlar;

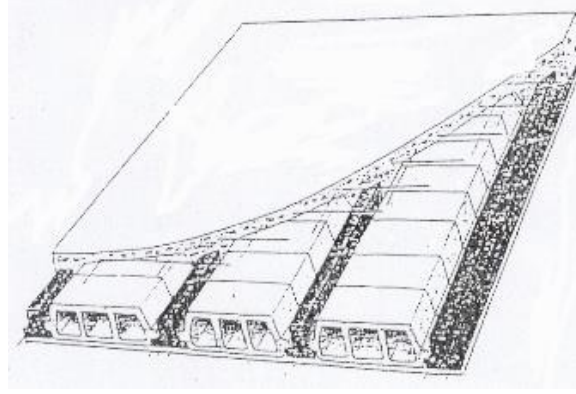
- a) Bir hacmi tümüyle kaplayan döşeme panolarının kenarlarından kiriş veya duvar gibi taşıyıcı elemanlara oturtulmasıyla,
- b) Bir doğrultuda çalışan, TT,II,T ya da kaset veya benzeri bir biçimdeki nervürlü döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesi ile,
- c) Bir doğrultuda çalışan sabit kalınlıklı dolu veya boşluklu döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle,
- d) Genişliği en fazla 150 cm olan prefabrike ince döşeme (filigran) panolarının üzerine yerinde dökme beton dökülmesiyle,
- e) TT,II,T veya boşluklu döşeme elemanları üzerine yerinde beton dökülmesiyle, oluşturulabilir.

3.2.1.1 Prefabrike Döşeme Kirişleri ile Döşeme Teşkili

Bu döşemeler üç ana elemandan oluşurlar. ‘Şekil 3.1’ Bunlar;

- a) Öngerilmeli prefabrike döşeme kirişi,
- b) Dolgu bloğu : Boşluklu tuğla veya hafif beton bloğu olabilir,
- c) Topping betonu (Yerinde döküm beton) : Bu betonun kalınlığı minimum 4 cm ile 10 cm arasında değişebilir, deprem bölgelerinde ise bu değer minimum 5 cm'dir.

Bu döşemenin en önemli avantajları; ekonomi, hız, kalite ve döşeme öz ağırlığındaki azalmadır.



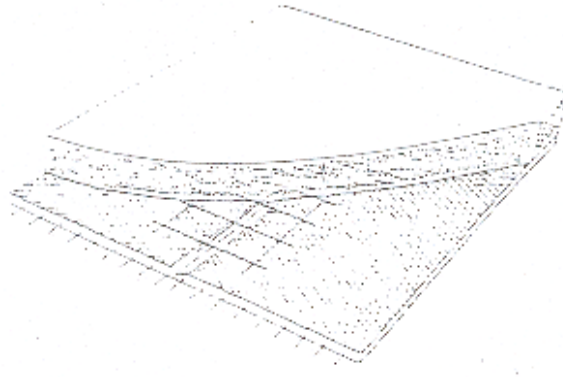
Şekil 3.1 Prefabrike döşeme kirişleri ile döşeme teşkili

3.2.1.2 Filigran (Preslab) Döşeme Elemanları

Bu tip döşemeler özellikle çok katlı konut inşaatlarında kullanılırlar. 240 cm eninde ve 5 - 8 cm kalınlığında tam öngermeli olarak üretilirler. “Şekil 3.2”

Avantajları;

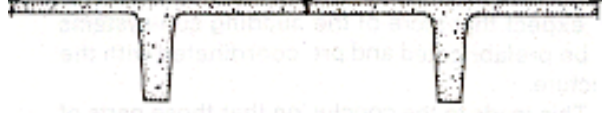
- Ekonomi, hız, kalite, ağırlıkta azalma
- Tek tip eleman ile döşeme teşkili,
- Aderans için yüzeyi pürüzlendirilir,
- Elektrik ve tesisat kablolarının kolaylıkla döşenmesine izin verir,
- Yangın, ısı ve ses izolasyonu.



Şekil 3.2 Filigran (preslab) döşeme

3.2.1.3 Nervürlü Döşemeler

Bu tip döşemeler bir doğrultuda çalışan TT,II,T ya da kaset veya benzeri bir biçimdeki nervürlü döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesi ile yapılan döşemelerdir. Panoların plak kalınlığı en az 4 cm olmalıdır. “Şekil 3.3”

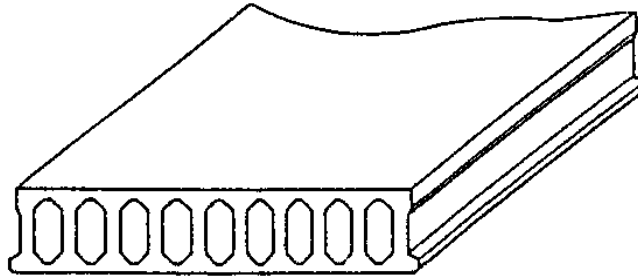


Şekil 3.3 Nervürlü döşeme

3.2.1.4 Dolu ve Boşluklu Döşemeler

Bir doğrultuda çalışan sabit kalınlıklı dolu veya boşluklu döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle yapılan döşemelerdir.

Zorunlu durumlarda, elemanın kesme mukavemetini arttırmak için boşluklardan bir kısmı, o kısımdaki maça çıkartılmak kaydı ile kısmi olarak beton plastik kıvamda iken doldurulur. “Şekil 3.4”



Şekil 3.4 Boşluklu döşeme

3.2.1.5 Diyafram (Yatay Perde) Gibi Çalışan Döşemeler

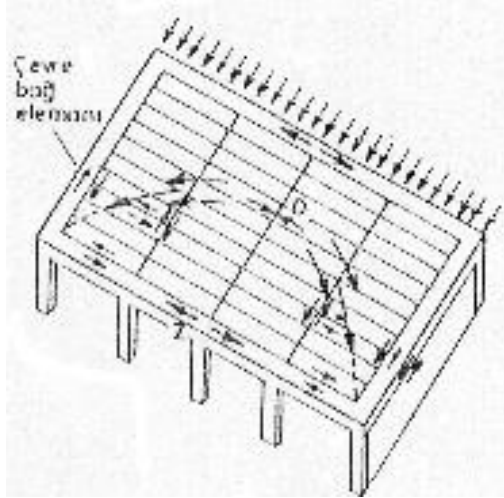
Esas görevi yatay yükleri düşey çerçeve, perde ve duvarlara aktarmak olan yatay düzlemsel taşıyıcı elemanlara perde veya diyafram denir. Başka bir deyişle diyafram etkisi bir döşemeyi teşkil eden bir veya daha fazla elemanın yatayda bir derin kiriş gibi davranarak kendisine etkiyen yatay kuvvetleri düşey elemanlara aktarmasıdır. Panelli döşemelerde rüzgar ve özellikle deprem kuvvetlerine karşı bütünlük açısından diyafram etkisi daha önem kazanır. Bu nedenle paneller, çekme gibi

etkilerden dolayı oluşan çekme kuvvetlerine karşı koyan bir bağ sistemi ile donatılırlar.

Taşıyıcı sistemin yatay yüklere göre hesabında diyafram, düşey doğrultuda sonsuz fleksibl, yatay doğrultuda ise sonsuz rijit olarak kabul edilir. Ancak düşey perdeleri bağlayan kat döşemelerinin yatay yükler nedeni ile etkilenecekleri ek momentlerin de hesabı gereklidir. Şekil 3.5 de döşeme içinde kuvvetlerin aktarımı gösterilmiştir.

Prefabrike döşeme panolarından oluşan bir döşemenin yatay yüklere karşı diyafram gibi kabul edilebilmesi için aşağıdaki şartların yerine getirilmiş olması gerekir [14];

- a) Panolar bir düzlem oluşturmali, panolar arasındaki derzler basınç aktaracak şekilde teşkil edilmiş olmalıdır.
- b) Yatay yüklere karşı kat döşemesi ya gergili bir kemer ya da bir kafes kiriş gibi çalışabilmeli, bunun için de çekmeyi alabilen çevre bağ elemanları ve döşeme derzlerine donatı koyup, bağ elemanları ile ankrajı sağlanmalıdır.
- c) Donatılar genel olarak iki adet üste ve iki adet de alta konmalıdır.



Şekil 3.5 Döşeme İçerisinde Kuvvetlerin Aktarımı

3.2.2 Paneller (Duvarlar)

Düşey düzlemsel yapı elemanları olan prefabrike duvarlar işlevlerine göre 3'e ayrılırlar.

- a) Taşıyıcı duvarlar : Düşey yükleri taşıyan duvarlarla, yatay yükleri karşılayan ve eni kalınlığının 4 katından fazla olan elemanlardır.

b) Rijitlik duvarları : Taşıyıcı duvarların burkulmasını engellemek amacıyla kullanılan duvarlardır.

c) Taşıyıcı olmayan duvarlar : Yalnız kendi ağırlıklarını taşıyan ve yüzeylerine etkiyen yatay yükleri taşıyıcı elemanlara aktaran duvarlardır.

Duvarlardaki taşıyıcı kısımların minimum boyutları;

Dolu kesitli panolarda 120 mm (Tek katlı, yükü hafif binalarda)

150 mm veya $h / 25$ (Diğerlerinde)

Profilli veya boşluklu panolarda,

En dar kesitte 50 mm veya $a / 10$

a : en kısa pano nervür veya kiriş aralığı

Prefabrike cephe panoları mimari açıdan yapının dış görünümünü etkilediğinden birçok firma tarafından değişik biçimlerde imal edilirler.

Prefabrike cephe panellerinde aranan özellikler şu şekilde sıralanabilir [16];

1) Yapım şartları açısından;

- Amaçlanan mimari etkiyi gerçekleştirme,
- Malzeme, üretim, taşıma, montaj giderlerinin az olması,
- Yapım süresinin kısa olması,
- Kalıpların az değişiklik yapılarak çok kullanılması,

2) Fiziksel özellikler açısından;

- Yeterli ısı ve ses yalıtımı,
- Yağmur ve rüzgara karşı geçirimsizlik,
- Duvarda ve fugalarda ısı köprüleri olmaması,
- Duvarda oluşan ısısal deformasyonlarda yapıda problem yaratmaması,
- Duvar içinde buhar yoğunlaşması veya iç yüzeyde terleme olmaması,

- Dıştan veya içten gelecek fiziksel ve kimyasal etkenlere ve donara karşı dayanıklılık,
- Bakım kolaylığı ve azlığı.

Prefabrike cephe panellerinin, yapılarının özelliklerine göre sınıflandırılması ise şu şekilde olabilir;

A) Büyük açıklıklı tek katlı yapılarda kullanılan paneller;

- Profilli paneller “Şekil 3.6”

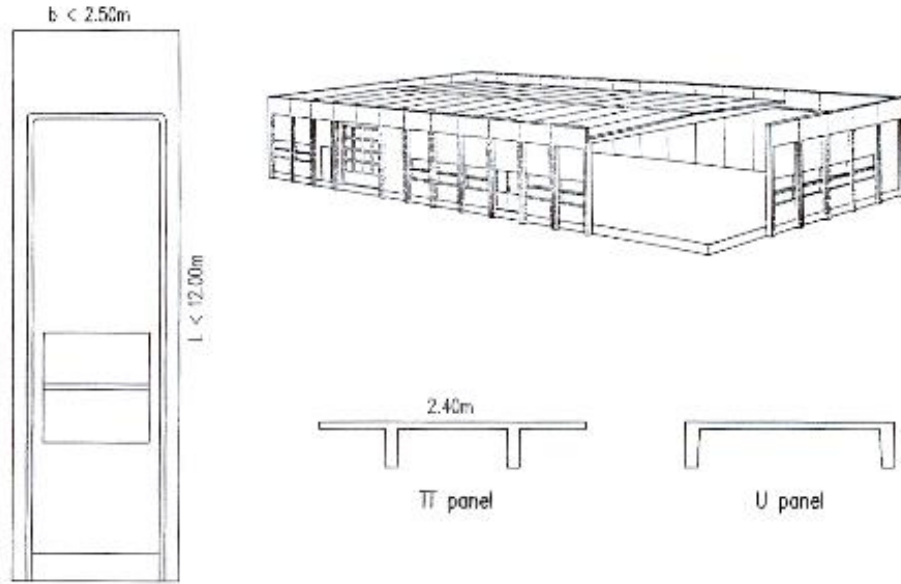
- Düz paneller

B) Katlı binalarda kullanılan paneller;

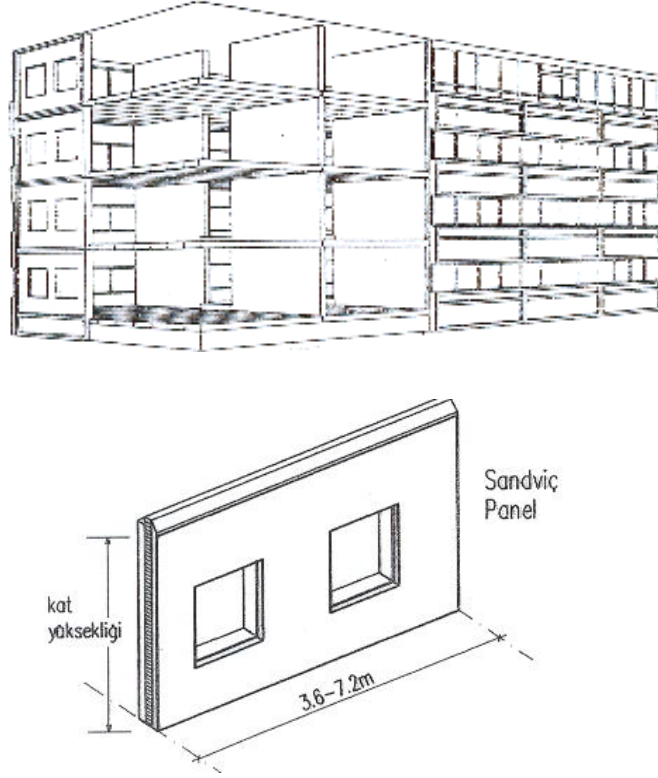
- Düzlem paneller “Şekil 3.7”

- İki boyutlu paneller

Ayrıca yapılarına göre; tek, iki, üç ve dört tabakalı sandviç paneller uygulamada kullanılmaktadır.



Şekil 3.6 Büyük açıklıklı tek katlı yapılarda kullanılan profilli pano



Şekil 3.7 Katlı binalarda kullanılan düzlem pano

3.2.3 Bağ Elemanları

Prefabrike binalarda, genellikle monolitik davranışı sağlamak amacıyla, yatayda ve düşeyde bağ hatılları ve bağ çubuklarından oluşan bağ sistemleri oluşturulur. Bu bağ sistemleri aşağıdaki fonksiyonları yerine getirmelidir.

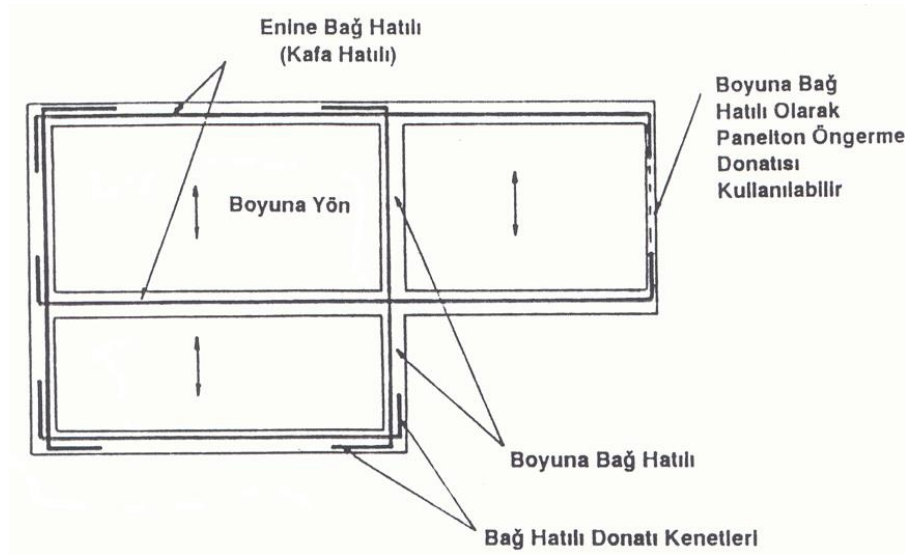
- 1) Bütün taşıyıcı sistemlerde kat döşemeleri, herhangi bir doğrultuda etkiyen yatay yükler için birer diyafram gibi davranabilmelidir. Prefabrike yapılarda, birden fazla panodan oluşan kat döşemelerinin diyafram davranışta bulunabilmesi için her katta, kat çevresinde perde ve çekirdeklerin çevresinde, büyük panolarla yapılan yapılarda bütün taşıyıcı duvarlar ile rijitlik duvarları üzerinde, çerçeve sistemlerde esas kirişlerle rijitlik kirişleri üzerinde bağ eleman - çekme çubukları teşkil edilmelidir.
- 2) Bağ sistemleri, katlar arasındaki ısı farkından, temeldeki çökmelerin üniform olmamasından ve komşu iki duvar panosunun düşey deformasyonlarının düşey yük veya malzeme farkı sebebiyle eşit olmamasından doğan kuvvetlerin taşınmasını ve dolayısıyla bu farkların az olmasını da sağlarlar.
- 3) Düşey ve yatay bağ elemanlarının en önemli görevlerinden birisi de, taşıyıcı elemanlardan birisinin bir kaza sonucu taşıma görevini kaybetmesi halinde, yapının

geride kalan kısmının duruma göre basit veya konsol kiriş gibi çalışmasını sağlamak ve bu suretle yapının ardışık göçmesini önlemektir.

3.2.3.1 Bağ Hatılları

Genellikle kiriş, duvar, perde gibi taşıyıcı sistem ile döşeme panel kenarları boyunca yerinde dökülerek oluşturulan elemanlardır. Bağ hatılları döşemede oluşan çekme kuvvetlerini, stabilizeyi sağlayacak taşıyıcı sisteme aktarmaya yarar. Ankastre bağ çubukları ile beraber kullanılmak kaydıyla, yerinde dökme veya prefabrike kirişler bağ hatıllı olarak kullanılabilir. Bağ hatıllı teçhizatı çekme eki esasına göre bindirmelerde uç taşıyıcılara aderans (kenetlenme) boyu kadar saplanmalıdır ve ayrıca arada kesinti olmamalıdır. Bağ hatıllı genişliği donatı yerleştirilecek hallerde en az 40 mm genişlikte yapılmalıdır. “ Şekil 3.8” [15].

Taşıyıcı ve rijitlik duvarları üzerindeki bağ hatıllarının genişliği 60 mm'den, alanı 100 cm²'den ve donatısı 2Ø10 çaplı çubuktan az olmamalıdır.



Şekil 3.8 Bağ hatılları

3.2.3.2 Bağ Çubukları

Döşeme elemanlarını mesnetlere bağlamak için çekme kuvvetlerini doğrudan, kesme kuvvetlerini ise kesme sürtünmesi ile mesnete aktaran bağ çubukları oluşturulur.

Bağ çubukları, kesme sürtünmesi etkisi ile kesme kuvvetlerini panolara dik veya paralel birleşimlerdeki bağ hatıllarına aktarılmasında kullanılan teçhizatlardır.

Yatay bağ çubuğu teçhizatı, pano arası boşluklara veya boşluklu döşemelerde boşluk içerisine yerleştirilebilir.

3.2.3.3 Bağ Sistemlerinde En Az Teçhizat

Bağ elemanlarının teçhizatları, taşıyıcı duvar veya kirişlere dik bağ elemanları dışında birisi üstte ötekisi altta olmak üzere en az 2 Ø10 mm'lik teçhizattan oluşmalı ve Şekil 3.9 da verilen T kuvvetlerini taşımalıdır.

Teçhizat alanı,

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

1) Ara taşıyıcı duvar ve kirişler üzerindeki bağ elemanlarında,

$$T_1 = 22 * (l_1 + l_2) / 2 \text{ (kN)} \quad (3.2)$$

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

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

$$T_2 = 70 \text{ (kN)} \quad (3.3)$$

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

$$T_3 = 22 \text{ (kN)}$$

$$\text{Veya} \quad (3.4)$$

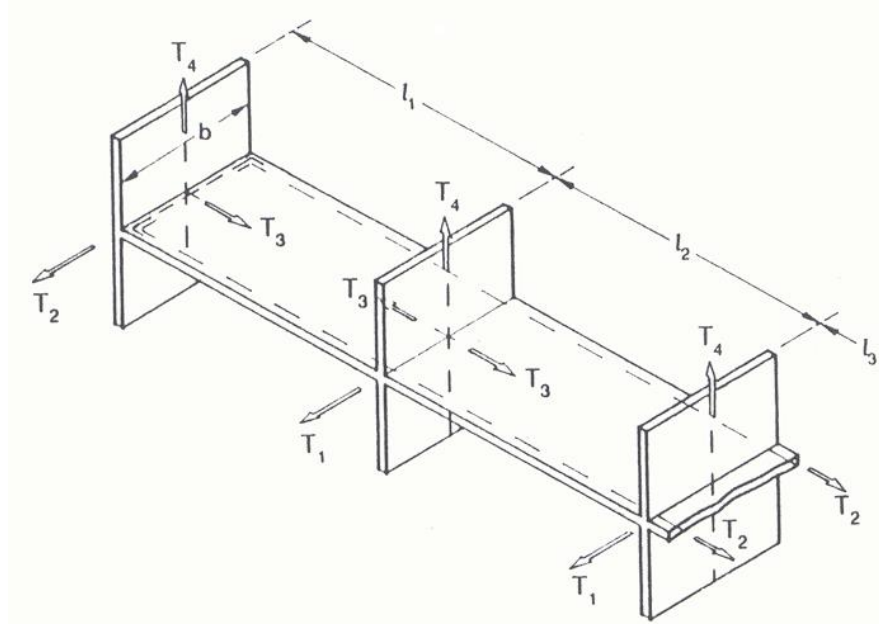
$$T_3 = 0.025 N' \text{ den büyüğü,}$$

Bu kuvvete karşı konacak teçhizatlar, döşeme panoları kenarına konulabileceği gibi belirli aralıkla da toplanabilir.

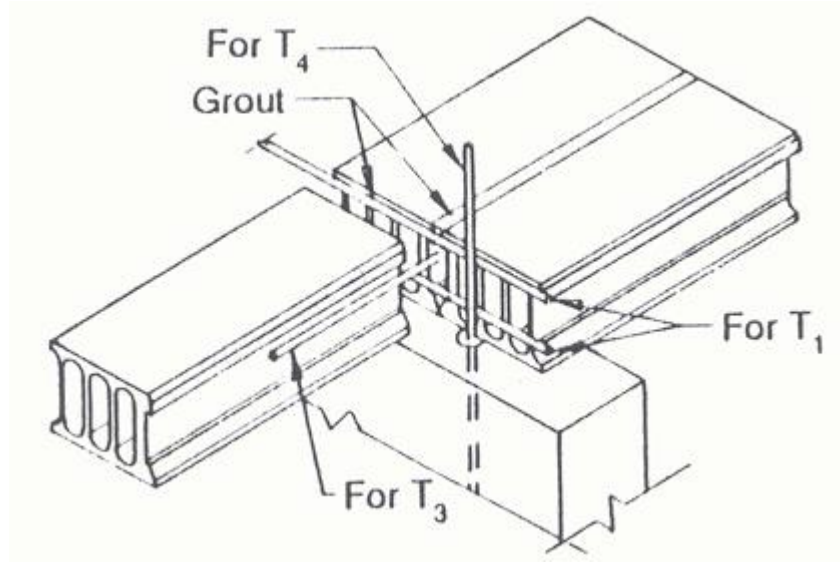
4) Düşey bağ elemanlarında,

$$T_4 = 44 \text{ (kN/m)} * b \quad (3.5)$$

b : Teçhizatın bulunduğu taşıyıcı duvarın metre cinsinden plandaki uzunluğudur.



Şekil 3.9 Prefabrike duvarlarda bağ kuvvetleri



Şekil 3.10 Tipik bağ oluşumu

3.3 Temeller

Taşıyıcı sistemden gelen yükleri zemine aktaran elemandır. Prefabrike sistemlerde genellikle yerinde dökme olarak inşa edilirler. Panolardan oluşan sistemlerde daha çok radyal jeneral denilen plak temeller kullanılır.

4. PREFABRİKE TAŞIYICI SİSTEMLER

Prefabrike yapılar taşıyıcı sistemlerine göre panolu ve çerçeveli sistemler olarak iki ana gruba ayrılır.

Daha ayrıntılı bir sınıflandırma yapılmak istenirse, prefabrike yapı sistemleri aşağıdaki şekillerde teşkil edilirler;

- a) Çerçeveli Sistemler,
- b) Panolu Sistemler,
- c) Kutu Sistemler,
- d) Döşeme - Kolon Sistemler,
- e) Karışık Sistemler.

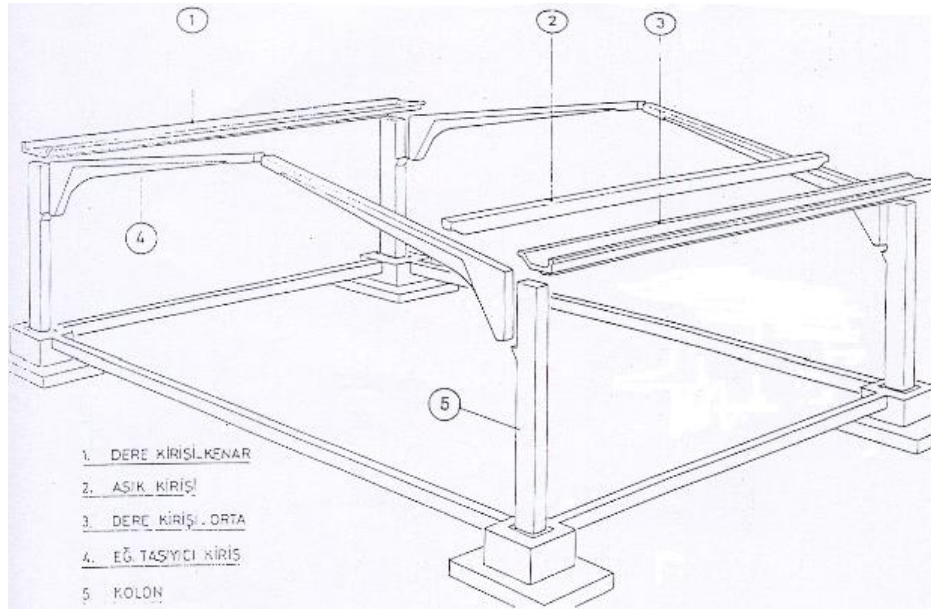
Prefabrik bir yapı sistemi tümü ile prefabrik elemanlardan oluşacağı gibi, prefabrik elemanlar ve yerinde dökme elemanların bir arada bulunduğu karışık sistemlerde olabilir. Bazı karışık sistemlerde ise yerinde dökme taşıyıcı sistemlere, hazır taşıyıcı olmayan elemanların eklenmesi de mümkündür.

4.1 Çerçeveli Sistemler

Hacmi sınırlayan elemanlarla, yapıda taşıyıcılık vazifesi gören eleman gruplarının birbirinden ayrıldığı bu tür yöntemlerde, yükler zemine bir iskelet vasıtasıyla aktarılır. Sistemde taşıma ve bölme işlevleri ayrı ayrı oluşur. Taşıma işlevi, iskeleti oluşturan kolon ve kiriş elemanlarla, bölme işlevi ise panel ve döşeme plakları ile sağlanan endüstriyel bir yapım sistemidir. Bu sistemler daha çok endüstri yapıları (hangar, depo, fabrika, vb.) için tercih edilir. Çerçeve sisteminin bu tür yapılarda tercih edilmesinin en büyük sebebi, bölme duvarlarının çok az olması veya hiç olmamasıdır. Bölme duvarlarının gerekli olduğu durumlarda bölme duvarları çerçeve sistemden ayrı olarak yapılarak, duvarların bir deprem sırasında yatay yük almamaları sağlanır ya da bir bölümü yatay kuvvet alabilecek biçimde düzenlenerek bir deprem sırasında yatay yük taşımaya katkıda bulunmaları sağlanır. Duvarların yatay yük taşımadaki (düzlemleri içinde etkiyen) büyük etkinliği göz önüne alınırsa,

çerçevesi sistemlerde yatay yük taşımada kullanılmaları, yapıya depreme karşı önemli ölçüde güvenlik ve dayanım sağlar.

Çerçevesi yapılar doğrusal kiriş ve kolon elemanlarından oluşabileceği gibi üç boyutlu kolon-kiriş elemanlarından da oluşabilir. Üç boyutlu kolon-kiriş elemanlarının kullanımı ile prefabrike elemanlar birbirleri ile depremden dolayı gelen etkilerin en düşük düzeyde olduğu yerlerde, kolon ve kiriş ortalarında, birbirlerine bağlanabilirler. Böylece deprem etkilerinin en büyük olduğu yerlerde ek yeri oluşturmamın getirdiği sakıncalar giderilir. Ancak üç boyutlu elemanların üretilmesinde, taşınmasında ve yerleştirilmesinde ortaya çıkan güçlüklerden dolayı, genellikle doğrusal kiriş ve kolon elemanları tercih edilir. Kirişlerden kolonlara kesme kuvvetinin problemsiz aktarılması ve inşaat sırasında kolaylık sağlamasından dolayı, genellikle kirişlerin kolonlara bağlandıkları yerlerde kolonlarda guse yapılır. “Şekil 4.1” [17].

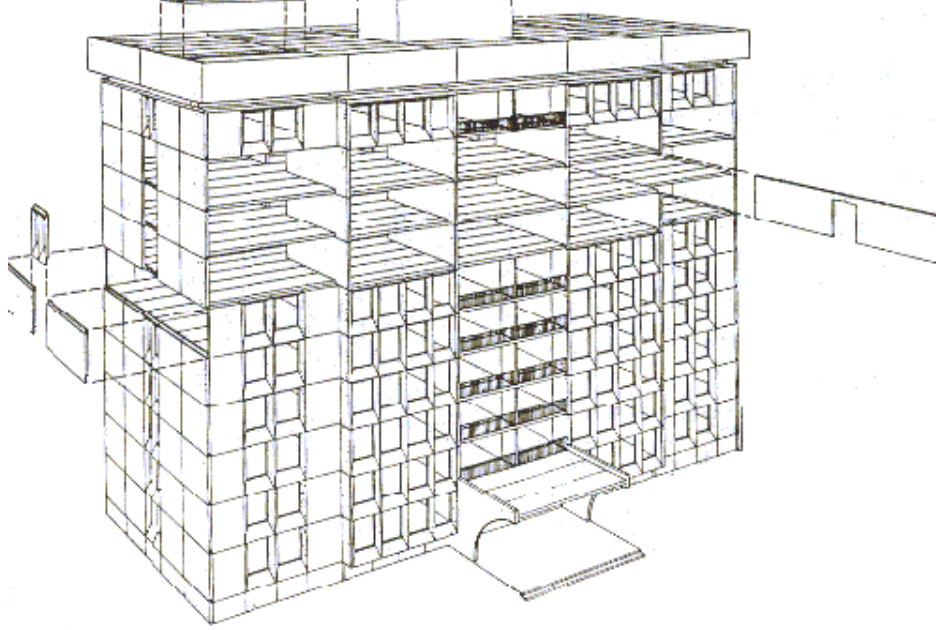


Şekil 4.1 Çerçeve türü taşıyıcı sistem

4.2 Panolu Sistemler

Bu sistem genellikle konut türü yapılarda kullanılır. Panolu sistemler düşey ve yatay ek yerleri ile birbirine bağlanmış büyük boyutlu yatay ve düşey panolardan oluşurlar. Düşey yükleri taşıyan duvar panoları genellikle bir kat yüksekliğindedir. Prefabrike panolu sistem, özellikle çok katlı binaların yapımında yaygın olarak kullanılan bir sistemdir. Bu sistemlerin söz konusu uygulamalarda tercih edilmesini sağlayan en önemli özellikleri, 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 ve ağırlıklarının yaklaşık eşit olması sonucunda taşıma ve kurma donanımı kapasitesinin ekonomik kullanılması olarak sıralanabilir [18]. Şekil 4.2 de panolu sistemlere ait kuruluş şeması gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Panolu sistem

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 temele ulaştırılır. 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 (pano) engellenmiş bulunduğundan, panoların ek yerlerinde momentler ortaya çıkmaz ve yatay yükler panoların birleşim yerlerinde oluşacak kesme kuvvetleriyle karşılanır. Esas olarak düşük periyotlu çok rijit yapılar olduklarından, özellikle deprem etkisi sonucunda panolar arasında oluşacak kesme kuvvetleri, bu birleşimlerin iyi tasarlanmasını ve dikkatli yapılmasını gerektirir.

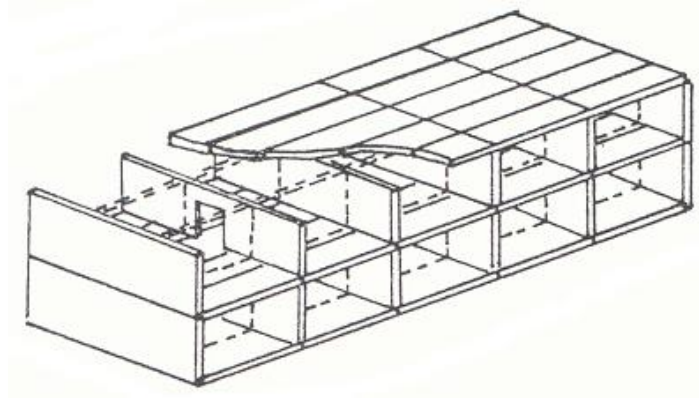
Panolu sistemler, panoların sistem içerisinde yerleştirilmeleri bakımından üç tipte oluşturulur [17];

a) Yapının Kısa Doğrultusunda Panoların Düşey Yük Taşıdığı Sistemler: Bu sistemlerde, döşemelerden gelen düşey yükleri taşıyan duvar panoları, yapının uzun

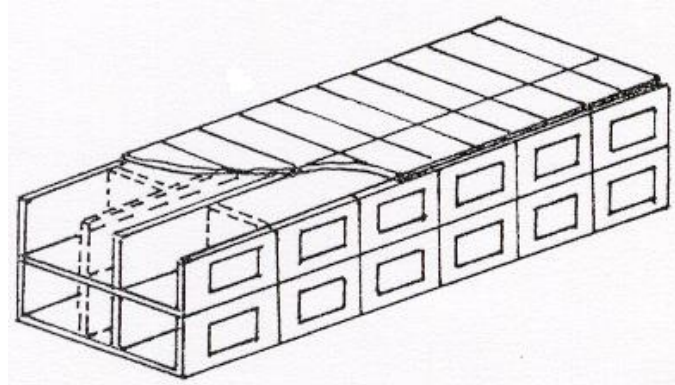
eksenine dik yönde yerleştirilir. Binanın uzun eksenine dik yönde yerleştirilen duvar panoları ile diğer yönde yerleştirilen panolar, depremden dolayı gelen yatay yükleri taşırlar. ‘‘Şekil 4.3’’

b) Yapının Uzun Doğrultusundaki Panoların Düşey Yük Taşıdığı Sistemler: Bu sistemde, döşeme panolarından gelen düşey yükler, yapının uzun doğrultusunda yer alan duvar panoları tarafından taşınırlar. Yatay yükler ise her iki doğrultuda uzanan duvar panoları tarafından taşınır. ‘‘Şekil 4.4’’

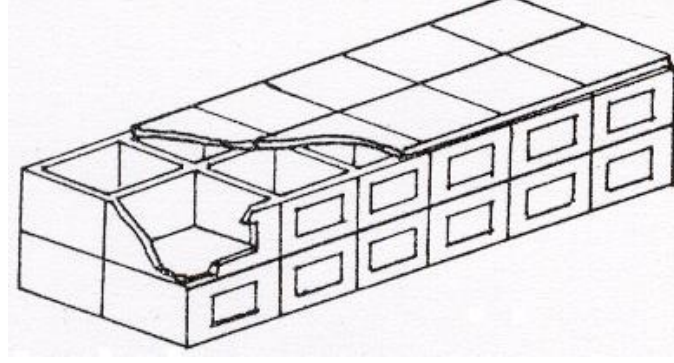
c) İki Yönde Yük Taşıyan Sistemler: Bu tür sistemlerde döşeme panoları dört bir kenarından duvar panolarına düşey yük aktarırlar. Bütün duvar panoları hem düşey yük hem de yatay yük taşırlar. ‘‘Şekil 4.5’’



Şekil 4.3 Kısa yönde yük taşıyan sistem



Şekil 4.4 Uzun yönde yük taşıyan sistem



Şekil 4.5 Her iki yönde yük taşıyan sistem

Burada ülkemizde de kullanılmakta olan, iki yönlü boşluklu modüler panellerle çok katlı prefabrik inşaat sistemi, piyasada kullanılan adıyla “Forap” sistemi tanıtılacaktır [18].

1974 yılında ortaya atılan bu sistemin yapısal özelliği, üzerine öngerilimli boşluklu döşeme panellerinin konduğu taşıyıcı duvarların, öngerilimli boşluklu duvar panelleri ile oluşturulmasıdır. Sürekli temellerden çıkan paralel duvarlar yapının iki ortogonal düzlemine paralel olarak düzenlenir ve duvarlar montaj sırasında ayarlanabilen özel tesbit iskeleleri ile bağlanır, döşeme panelleri kuru montajından sonra yerleştirilen ilave donatı ve yerinde dökme beton, düşey panellerle döşeme arasındaki sürekliliği sağlar. Ara ve dış çevre duvarları üzerinde oluşturulan hatıl, özel durumlarda yapının stabilitesini garantilemekle birlikte, yüksek yapılarda veya deprem bölgelerindeki yapılarda bu tip bir bağlantı, kiriş duvar veya konsol duvar oluşumunu sağlar. Bu sistemin hesap esasları, İtalyan Padova Üniversitesi Deney Laboratuvarı’nda ve Bergamo’da yapılan bir dizi resmi deneyden sonra sistemin çeşitli elemanlarının ve yapısal düğümlerin dayanımları değerlendirilerek, 1976 yılında İtalya Bayındırlık Bakanlığı Nizamnamesine konmuştur. Bir yıl sonra Forap sistemi I. Derece deprem bölgeleri dahil olmak üzere Bayındırlık Bakanlığı Yüksek Konseyinden “Uygunluk Sertifikası” almıştır. Kat sayısı I. Derece deprem bölgesinde 5, deprem bölgeleri dışında ise 15-18’e kadar yapılabilir. “Şekil 4.6”

Sistemin temel elemanı, birbirine dik yönde boşlukları bulunan öngerilimli beton duvar panelidir. Yüksek kaliteli betondan (B 450) yapılan panele ST 150-170 kalitesindeki çentikli çeliklerle öngerilim tatbik edilir ve panel 7-8 cm çapında düşey ve 5 cm çapında yatay delikler içerir. Duvar panelinin kalınlığı 16 veya 20 cm, boyu ise kat yüksekliğine eşittir.



Şekil 4.6 Forap sistemi ile İtalya’da bir uygulama

Sistemin ikinci temel elemanı olan döşemelerde aynı tarzda üretilir yalnız boyuna yatay boşluklar içerir. Döşeme paneli kalınlığı, açıklığının ve faydalı yükün fonksiyonu olup, uzun süreli yükler ve viskoz şekil değiştirmeler altında sehmin kabul edilir sınırlar arasında kalması koşulundan, genellikle konutlarda 12 ile 20 cm arasında elde edilir. Döşeme panelleri mesnet uçlarında ilave donatı konmasına olanak tanıyacak yarıklar üretim sırasında bırakılabilir.

Sistemin tamamlayıcı elemanları olarak merdiven ve sahanlıklar, rampalar, balkon ve çatı parapetleri ile taşıyıcı olmayan dış duvarlar sayılabilir. Bütün bu elemanlar prefabrike imal edilmiş olarak şantiyeye gelir ve gerekli ilave donatıları ile yerinde dökülecek betonla oluşan yaş birleşimle taşıyıcı elemanlara tesbit edilirler. Taşıyıcı olmayan dış duvarlarda, sağır veya pencereless büyük paneller olarak prefabrike imal edilebilecekleri gibi, bu gaye için pazarlanan elemanlardan yararlanılarak çeşitli alternatif çözümler uygulanabilir. Dış panellerdeki derzlerle bina içine su girişine karşı önlem olarak uygun bir dolgu maddesi dıştan uygulanır.

Forap sistemi ile yapılan yapının bir katının montajı aşağıdaki sırayla özetlenebilir:

a) Duvar montajı ‘Şekil 4.7’

- 1) İnşa edilmekte olan katta çelik iskelelerin montajı yapılır.
- 2) Bütün duvarlar, önceden yerleştirilmiş profillere göre hizaya getirilerek monte edilir.
- 3) Yatay deliklere duvarların beraber çalışmasını sağlayacak donatı yerleştirilir.



Şekil 4.7 Duvar paneli montajı

b) Döşemenin montajı ve beton dökümü ‘‘Şekil 4.8’’

4) Kendi kendini taşıyabilen döşeme panelleri, doğrudan doğruya duvarlar üstüne, hizalama işinde kullanılan çelik ‘‘U’’ profilleri aracılığı ile oturur. (Yaş birleşimden sonra işletme aşamasında ise yükünü direkt taşıyıcı duvara kendi mesnetinden aktarır ve komşu panellerle sürekli olacak şekilde bağlanmış olur.)

5) Duvar ve döşeme arasındaki derzlere bağlantı için gerekli ilave donatılar konur.

6) Elektrik tesisatı boruları duvar-döşeme arasındaki yatay derzlere ve duvarların düşey deliklerine yerleştirilir. Kalorifer donanımının yatay dağıtımı da döşeme panellerindeki uygun kanallar içinden yapılır.



Şekil 4.8 Döşeme panelinin montaj iskeleleri ve duvar panelleri üzerine montajı

7) Döşeme üstünde çalışılarak, uygun akışkanlıkta beton dökülüp, duvarların bütün boşluklarının komple dolması sağlanır, böylece duvarlar yekpare betonarme diyaframa dönüşür ve kesinlikle taşıyıcı hale gelir.

8) Duvarların üst uçlarına katlar arasında düşey bağlantıyı sağlayan yuvarlak demirden filizler yaşı beton içine yerleştirilir.

9) Derhal bir sonraki katın hizalanması için kirişlerin montajına başlanır. Geçen zaman zarfında yerinde dökülen beton alt kattaki metal donanımın sökülmesine izin verecek dayanımı kazanmıştır.

Prefabrik karkası yapılmış olan yapının izolasyonunu temin için dış taşıyıcı duvar panelleri 5 cm straforla teşkil edilmiş sandviç panolar olarak üretilir. Bu durumda duvarlara 5 ve 4 cm'lik iki katman ilavesi ile 25 ve 29 cm'lik duvar kalınlığına ulaşır. Alternatif olarak ısı izolasyonunu temin için yapının dış yüzeyleri perlit tipi izolan sıvıyla sıvanabilir veya yüksek yoğunluklu poliüretan plaklarla kaplanıp, aynı önlemlerin dış duvar içinde alınması olasılığı da mevcuttur. İç duvar yüzeylerine sıva veya benzeri bir kaplama yapmaksızın direkt olarak elastik bir boya uygulanabilir.



Şekil 4.9 Forap sistemi uygulama aşamaları



Şekil 4.10 Boşluklu panolu sisteminin uygulandığı yapının bitmiş hali

4.3 Kutu (Hücre) Sistemler

Bu tür sistemlerde oda boyutunda üretilmiş hücreler üst üste ve yan yana konulur ve bir bütün olarak çalışmaları için birbirlerine özel detaylarla bağlanır. Bu kutuların yaklaşık olarak ağırlıkları 7 ton ile 50 ton arasında değişir.

Bu prefabrikasyon sisteminde esas yerine getirilmesi gereken işler fabrika ortamında bitirilir, şantiyede ise daha az işlemi kalır. Dolayısıyla bu sistemde, kutular en üst düzeyde bitmiş olarak fabrikada yapılır ve şantiye işlemleri de çok az sayıda bir ekiple ve hızlı olarak yürütülebilir.

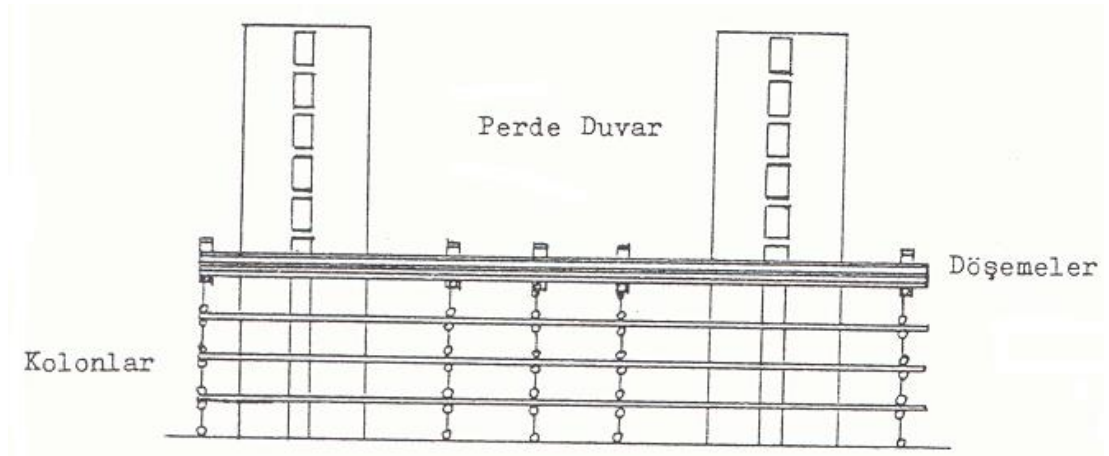
Kutu sistemin yapımını etkileyen en büyük sınırlamalar, hücrelerin ağırlıklarıdır. Çünkü bu hücreleri taşımada ve kaldırmada kullanılacak araçlar ve aletler ile bu sistemin ekonomik olmaktan çıkabileceği düşünülmelidir. Dolayısıyla bu sistemler yeterli şantiye olanaklarının olmadığı, iklim koşullarının yapıma izin vermediği yerlerde ve fabrikanın yapılacak yere yakın olduğu durumlarda tercih edilir.

4.4 Döşeme-Kolon Sistemler

Bu sistemlerde döşemeler doğrudan genişletilmiş kolon başlarına oturtulur. Bu sistemin iki değişik türü vardır [17].

a) Tek Parça Döşeme Kaldırma

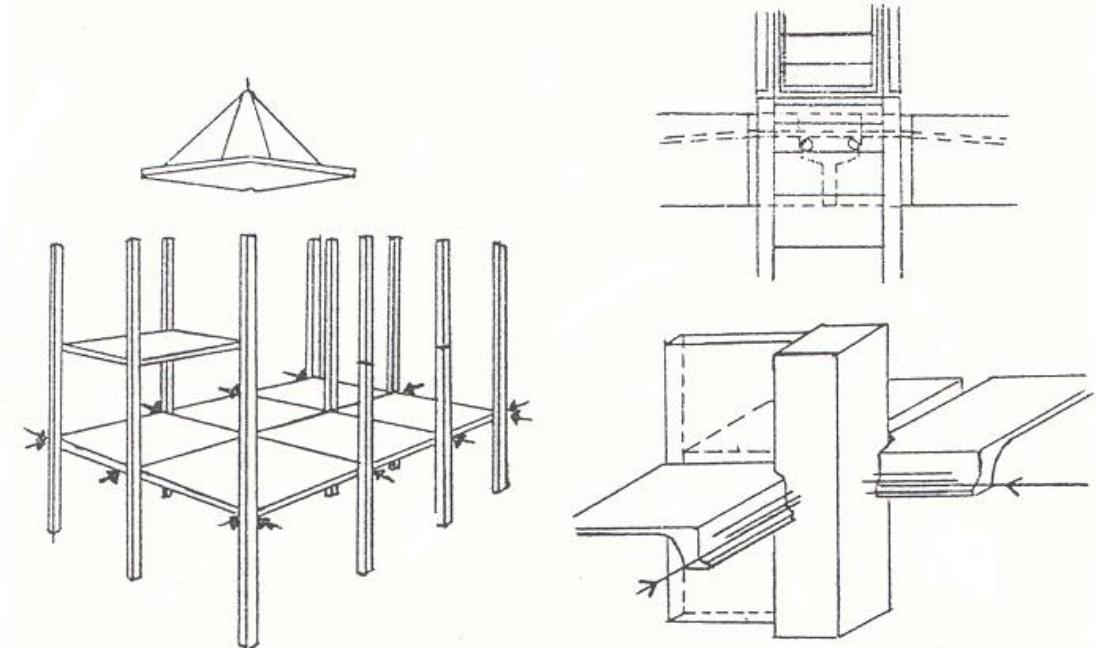
Betonarme kat döşeme plakları yerde üst üste tek parça olarak dökülür daha sonra özel düzeneklerle kaldırılır ve döşemelerin aralarına uygun yerlere yalnızca düşey yük alan prefabrike kolonlar yerleştirilir. “Şekil 4.11” Kat döşemeleri kaldırılmaya başlanmadan önce merdiven ve asansör boşluklarının bulunduğu ve yatay yükleri taşıyacak yerinde dökme betonarme perde duvarlı kutu sistemleri (çekirdek) inşa edilir. Döşemeler her kat düzeyinde bu betonarme perde çekirdeklere bağlanır. Kolonların döşeme plağına bağlantısı mafsallı olurken, plağın betonarme perde sistemine bağlantısı ise rijit olur.



Şekil 4.11 Tek parça döşeme kaldırma sistemi

b) Öngerilmeli Plaklı-Kolonlu Sistem

Böyle bir sistem Şekil 4.12 de gösterilmiştir. Betonarme prefabrik kolonlar 1 - 3 kat yüksekliği boyunda olup, prefabrike döşeme plakları kolon aksları arasına girebilecek boyutlarda hazırlanır, plakların köşelerinde kolonlardaki guselere oturacak girintiler bulunur. Bir katın bütün prefabrike plakları yerleştirildikten sonra döşemelere öngerilme verilir. Bu iş için plakların uçlarında ve kolonlarda son gerilme çubuklarının geçtiği yuvalar ve delikler bulunur. Döşemelere her iki yönden son gerilme verilerek monolitik olmaları sağlanmaya çalışılır. Bu sistemde de kolonların yalnızca düşey yük taşıdıkları kabul edilir, yatay yükler içinse ya bazı kolon akslarına konulmuş ve kolonlarla monolitikleştirilmiş ya da bağlanmış perde duvarlar oluşturulur, ya da yerinde dökme betonarme perde duvarlı çekirdekler (içinde merdiven ve asansör boşlukları olan) yapılır.



Şekil 4.12 Öngerilmeli plaklı-kolonlu sistem

4.5 Karışık Sistemler

Yukarıda tanımlanan taşıyıcı sistemlerin çeşitli şekilde 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 çekirdek oluşturacak mekanları hücrelerden oluşan yapılar veya yerinde dökme perde duvarların üzerine prefabrike döşeme plaklarının yerleştirilmesi ile yapılan sistemler verilebilir.

5. PREFABRİKE PANOLU SİSTEMLERDE BİRLEŞİMLER

Prefabrike panolu sistemler genel olarak depreme dayanıklı yapı sistemleri olarak bilinirler. Bu sistemlerin dayanıklı yapı olarak nitelendirilmelerinin sebebi, sistemi teşkil eden panoların yatay ve düşey yüklere karşı dayanımları ve rijitlikleridir. Bununla birlikte unutulmaması gereken en önemli detay, panolar arası ve panolarla temel arasındaki yatay ve düşey birleşimlerdir. Çünkü özellikle rüzgar ve deprem sonucu oluşan yatay yüklerde yapının stabilitesini belirleyen en önemli yerler birleşim yerleridir, dolayısıyla ülkemizde olduğu gibi deprem tehlikesinin bulunduğu bölgelerde, birleşim yerleri çok iyi detaylandırılmalı ve o şekilde sahada da çok iyi uygulanmalıdırlar.

Prefabrike betonarme yapıların yeterli performansları ve ekonomik olma koşulları önemli ölçüde, elemanlar arasındaki birleşim yerlerinin uygun seçimine ve dizaynına bağlıdır. Prefabrike yapı endüstrisinde her bir eleman için çeşit çeşit birleşim detayları kullanılmaktadır. Bununla beraber, kullanılan bütün birleşim detaylarının ortak olarak sağlaması gereken dizayn ve performans kriterleri bulunur.

5.1 Prefabrike Birleşim Tasarımında Uyulması Gereken Kriterler

1) Dayanım

Tasarlanan ve kullanılması düşünülen birleşimler her şeyden önce, ekonomik ömrü içerisinde kendisine etki edecek yüklere karşı koyabilecek dayanıma sahip olması gerekir. Bu yükler, sabit ve hareketli yüklerden, deprem etkilerinden, rüzgarlardan, toprak ve su basınçlarından dolayı ortaya çıkarlar [19].

Hacim değişiklikleri; sıcaklık değişimleri, betonun sünmesi ve büzülmesi sonucu ortaya çıkar. Stabilite kaybı, eksantrik yüklemeler sonucunda, aynı zamanda rüzgar ve depremden dolayı oluşan yatay yükler sonucunda ortaya çıkabilirler.

Birleşim yerlerinin dayanımları, basınç, çekme, eğilme, kesme ve burulma etkileri sonucu oluşan gerilmelere göre kategorize edilirler.

2) Düktilite

Düktilite, genel anlamda herhangi bir elemanın, göçme olmadan yüksek deformasyon yapabilme özelliği olarak tanımlanır. Yapı malzemelerinde düktilite, ilk akma ile son göçme arasında oluşan deformasyon miktarı ile ölçülür.

Düktilite özellikle deprem tehlikesinin bulunduğu bölgelerde önem kazanır. Bu nedenle deprem tehlikesinin bulunduğu ülkelerde, prefabrike sistemler deprem yüklerine göre hesap edilirken, sistemdeki elemanların ve özellikle birleşim yerlerinin yüksek düktiliteye sahip olması istenir. Böylece deprem sonucu yapıya etkiyen enerji, yapı tarafından emilerek, yapıya büyük derecede hasar vermesi engellenir.

3) Hacim değişikliği

Prefabrike elemanlar arasındaki birleşim yerlerinin hareketi kısıtlanmışsa yani çok rijit olarak oluşturulmuşlarsa, sünme, büzülme ve sıcaklık değişimleri sonucu prefabrike elemanlar birçok iç gerilmelere maruz kalırlar. Bu gerilmeler dizayn aşamasında mutlaka düşünülmelidir. Fakat bu gerilmelerin ortaya çıkması yerine, birleşim yerlerinin yeterli hareket etmelerine izin verilerek, etkilerden dolayı oluşabilecek gerilmelerin emilebilmesi daha uygundur.

Bu ciddi problemler, özellikle uzun elemanlarda, hacim değişikliğinden dolayı oluşan hareketin kısıtlandığı durumlarda ortaya çıkar. Dolayısıyla hacim değişikliğinden dolayı oluşabilecek ve elemana etkiyebilecek gerilmelerin dizayn aşamasında göz önünde tutulması gereklidir ve önlemler alınmalıdır.

4) Durabilite

Saf durabilitenin kanıtı genellikle korozyona maruz kalmış çelik elemanlar veya betonun çatlaması olarak gösterilir. Açık hava etkilerine maruz birleşim yerlerindeki çelik elemanlar, (donatılar) beton ile mutlaka uygun şekilde kaplanmalı veya uygun malzemelerle boyanmalıdır. Etkilere maruz kalan bütün birleşim yerleri periyodik olarak kontrol edilmeli ve incelenmelidir. Birçok prefabrike öngerilmeli beton elemanlarda kaliteli üretimden dolayı, çatlaklar önemli problemlere neden olmazlar ve birleşim yerleri de kod limitleri içerisinde uygun bir biçimde korunurlar.

5) Yangın dayanımı

Birçok prefabrike birleşim yerlerinde, yangına karşı özel önlemlere gerek yoktur. Örneğin elastomerik yastıkların kullanıldığı döşemelerde, yastıkların yangın sonucu zarar görmesi durumunda bile çökme meydana gelmez. Yangından sonra zarar gören yastıklar yenileriyle değiştirilebilirler.

Bazı durumlarda ise prefabrike sistemdeki birleşim yerleri yangına karşı özel olarak korunmalıdırlar, çünkü yangın sonucu birleşim yerindeki dayanım kaybı, yapının bütün stabilitesini tehlikeye sokabilecek durumları ortaya çıkarabilir. Korumanın miktarı yangın esnasındaki çeliğin dayanım oranına, yangının şiddetine ve süresine bağlıdır. Yangına karşı korunması gereken birleşim yerlerindeki çelik elemanlar, genellikle beton ile kaplanırlar. Ayrıca alçı taşı duvarları ile kaplama, mastik elemanla kaplama veya yangına karşı koruyan malzeme ile sprej gibi metotlar da kullanılır.

6) Fabrikasyon kolaylık

Prefabrike betonarme yapılarda maksimum ekonomi, birleşim yerlerinin uygun performans ve dayanım koşullarını sağlamak şartıyla, mümkün olduğunca basit yapılabilmesi ile sağlanır. Dolayısıyla prefabrike yapıların ekonomik olma koşulları birleşimlerinin sadeliği ile doğru orantılıdır. Ayrıca karmaşık birleşim yerlerinin kontrolü daha zor olduğundan, bu birleşimlerin sahada gösterecekleri performans da beklenenden daha düşük olabilir.

7) Yapım (inşaat) kolaylığı

Prefabrike yapımın en büyük avantajlarından biri, yapının hızlı bir şekilde inşasının mümkün olmasıdır. Bu da ülkemizde olduğu gibi enflasyonun dolayısıyla malzeme fiyatlarının devamlı değişiklik gösterdiği yerlerde büyük avantaj sağlar.

Genel olarak prefabrike elemanların birleşim yerleri teşkil edilirken yukarıdaki özellikler ışığında dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır;

a) Birleşim veya mesnetler, özelliklerine göre o yerde oluşabilecek normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti, burulma momenti gibi zorlamaları güvenle birleşen elemanların birinden diğerine aktarabilmelidir.

b) Dönme, yer değiştirme ve deformasyonlar kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır ve birleşim veya mesnetler bu özelliklere cevap verebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Ayrıca birleşimi oluşturan birleşim elemanlarının rölatif deformasyonları da kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.

c) 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 deneylerle gösterilmesi gerekir.

d) Eleman boyutlarının, toleranslar çerçevesinde fark edebilecekleri hususu dikkate alınmalıdır.

e) Montaj süresi mümkün olduğunca kısa olmalı, zaman alıcı birleşim ve mesnet şekillerinden kaçınılmalıdır.

f) Birleşim ve mesnetlerde kontrol kolayca sağlanmalı ve gerektiğinde müdahale yapılabilmelidir.

g) Birleşim ve mesnetler dış etkilere kaynaklanan korozyona karşı korunmalı ve yangına mukavemet göstermelidir.

h) Taşınma ve depolama koşulları projelendirme safhalarında düşünülmeli ve elemanların birleşim yeri şeklinin güçlük çıkarmaması, montajda yerleşimin kolaylıkla yapılabilmesi için gerekli önlemler alınmalıdır.

i) Birleşimlerde estetik bir görünüm elde edilmeye çalışılmalıdır.

j) Birleşim ve mesnetlerin maliyetinin yapının toplam maliyeti yanında mümkün olduğu kadar küçük mertebede kalması sağlanmalıdır.

Birleşimlerin ve mesnetlerin maliyetleri, aktardıkları zorlamaların cinsine, sayısına ve zorlamaların büyüklüğüne bağlıdır. Uygulamada moment aktaran birleşimler daha pahalıdır. Bu sebeple yapının rijitlik, stabilite ve benzeri özelliklerine zarar vermemek şartıyla mümkün olduğunca moment aktaran birleşimlerden kaçınılmalıdır [14].

5.4 Toleranslar

Beton bünyeli prefabrike düzlemsel ve lineer elemanların montajında uyulması gerekli sapmalar belirli değerler içerisinde olmalıdır. Prefabrike beton birleşimlerde malzeme toleransları büyüklük fonksiyonuna ve birleştirilen elemanların tipine bağlıdır. Buradaki en önemli nokta ise prefabrike elemanlardaki toleransların diğer inşaat malzemeleriyle uyumudur. Bu tolerans aralıkları bütün standartlarda hemen

hemen yaklaşık değerlerdedir. PCI (1973)'e göre toleranslar 3 mm ile 25 mm arasında değişen değerler alır. Değerlere bakıldığında yürürlükte olan TS 9967'de bu değerlerin 5 mm ile 20 mm arasında değiştiği görülür. İmalatların toleransları aşması halinde, bu durum tek başına elemanın reddedilme sebebi değildir. Bu tip elemanlar proje ve montaj bakımından kullanılacakları yer de dikkate alınarak tahkik edilir, yapılabiliriyorsa eleman veya yapı üzerinde gerekli düzeltmeler yapılır ve bu işlemlerden sonra da elemanın kullanılabilme olanağı yoksa reddedilir.

5.3 Birleşimlerde Yük Katsayıları

Prefabrike yapılarda birleşimlere gelen hesap yükü, limit yük koşullarında birleşim elemanlarında büyük dönmeler ve deformasyonlar meydana getirebileceğinden, ayrıca en az $4 / 3$ değerindeki ek bir katsayıyla arttırılır. Bununla birlikte yapının inşası sırasında oluşabilecek bazı değişiklikler, birleşime etkiyecek yükü oldukça etkileyebilir. Bu yüzden de yük katsayılarının arttırılması önerilir.

TS 9967'de birleşimlere gelen arttırılmış hesap yükleri, $4 / 3$ değerinde bir katsayıyla arttırılması zorunlu kılınmıştır. Ayrıca, depreme göre yapılan hesaplarda katsayıyla arttırılmış yükler ($G+Q$), $4 / 3$ katsayısıyla çarpılır ve 1,2 veya 1,5 değerindeki katsayılarla arttırılmış deprem yükleri (E) ilave edilir.

Neopren gibi mesnet ara malzemelerinin hesabında katsayıyla arttırılmamış yükler kullanılır.

Korniyer, kaynak gibi malzemelerle gerçekleştirilen bazı özel birleşimlerde malzeme katsayıları da arttırılır.

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.

5.4 Birleşim Elemanı Olarak Kesme Sürtünmesi

Kesme sürtünmesi kavramının uygulamadaki temel varsayımı, birleşim bölgesindeki betonda istenmeyen çatlakların oluşmasıdır. Bu istenmeyen çatlakların oluşmaması için birleşim yerine belirli bir sünekliğin verilmesi gerekir. Bu da çatlak bölgesine yerleştirilecek donatılar ile sağlanır [15].

Betonarme veya öngermeli 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” teçhizatı alanı (A_{sf}) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$A_{sf} = \frac{V_d}{\phi f_{yk} \mu_e}, (mm^2) \quad (5.1)$$

$\phi = 0.70$ (PCI’e göre bu değer 0.85’dir.)

Tablo 5.1 Sürtünme katsayıları

Temas Yüzeyi Durumu	μ	Maks. Hesap Kesme Kuvveti (Vd)
İki beton birlikte dökülmüş	1,4	$0,30\lambda^2 f_{ck} A_{cr} \leq 6,9\lambda^2 A_{cr}$
Ek sonradan dökülmüş, eski betonun yüzü yeterince pürüzlü	1	$0,25\lambda^2 f_{ck} A_{cr} \leq 6,9\lambda^2 A_{cr}$
Ek sonradan dökülmüş, eski betonun yüzü 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	$0,20\lambda^2 f_{ck} A_{cr} \leq 5,5\lambda^2 A_{cr}$

Eğer birim kayma direnci tabloda verilen maksimum değerleri aşıyorsa μ_e yerine;

$$\mu_e = 6.9\lambda^2 A_{cr} \mu / V_d \text{ değeri alınır.} \quad (5.1a)$$

$\lambda = 1.0$ (Normal betonlar için)

$\lambda = 0.75$ (Hafif betonlar için)

Temas yüzeyine dik bir H_d çekme kuvveti varsa , A_{sf} ’nin yanısıra,

$$A_n = \frac{H_d}{\phi f_{yk}} (mm^2) \quad (5.2)$$

$\phi = 0.70$ (PCI’e göre bu değer 0.85’dir.)

teçhizatı eklenir. H_d her durumda düşey mesnet reaksiyon kuvvetinin %10’undan küçük olmamalıdır.

5.5 Saplamlar, Kanca veya Fiyonglar, Korniyeler

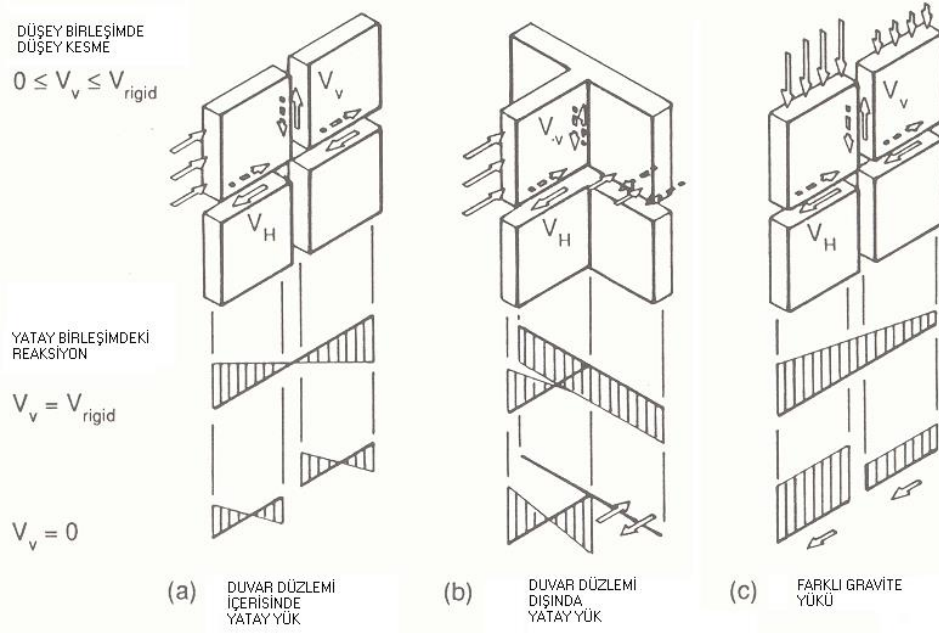
Döküm esnasında betona gömülmüş başlıklı çelik saplamalar, kesme kuvveti ve bunun doğurduğu eğilme momenti veya çekme kuvveti veya bu etkileri beraber

taşıyabilirler. Bu elemanın söz konusu etkileri taşıma gücü, betonun ve çeliğin dayanımına bağlıdır. Her iki malzemenin durumu her zaman ayrı ayrı kontrol edilmelidir.

5.6 Taşıyıcı Duvar Panoları Birleşimleri

Taşıyıcı duvar panoları arasında oluşturulan birleşimler, yapının bütünlüğünü sağlayan önemli bölgelerdir. Birleşimler mutlaka sabit, hareketli, rüzgar ve deprem yüklerine karşı dirençli ve bu yüklerin panolar arasındaki transferini sağlamalıdır, ayrıca hacim değişikliği sonucu oluşan etkilere de karşı koymalıdır.

Taşıyıcı panel duvarları arasında iki yönlü hem düşey hem de yatay birleşimler oluşturulur. Şekil 5.1 de dış yükler sonucunda birleşim yerlerinde oluşan etkiler gösterilmiştir [20].



Şekil 5.1 Dış yükler ve birleşim kuvvet sistemi

5.6.1 Düşey Birleşimler

Düşey birleşimler, duvar panolarının ya tek bir yapı ünitesi olarak veya bağımsız olarak davranmalarını sağlamak amacıyla oluşturulurlar.

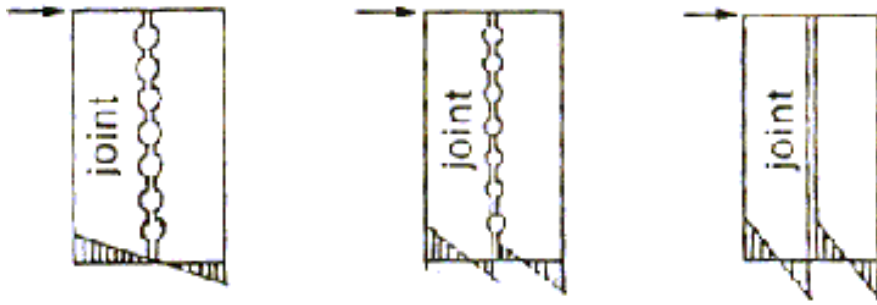
Düşey birleşim yerleri rijit, yarı rijit ve açık olmak üzere üç grupta toplanabilir[21].

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 miktarının, panolar üzerinde oluşandan daha hızlı hale gelmesine kadar, bitişik panolar arasında tam bir etkileşim sağlar.

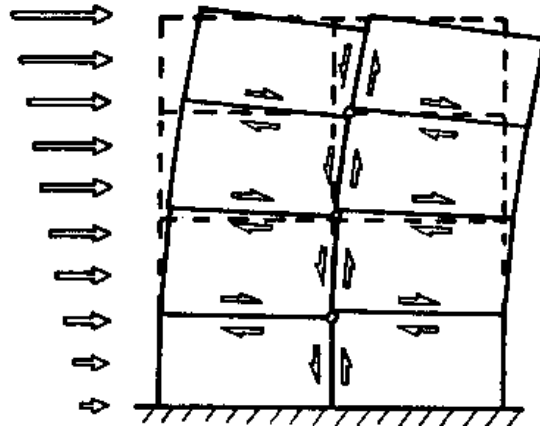
3) Açık birleşimler: Bu tip birleşimlerde, hiçbir kesme kuvveti aktarılmaz ve bu sebeple her bir bitişik pano bağımsız olarak hareket eder. “Şekil 5.2”



Şekil 5.2 Rijit, yarı rijit ve açık düşey birleşimler

5.6.1.1. Mafsallı Birleşimler

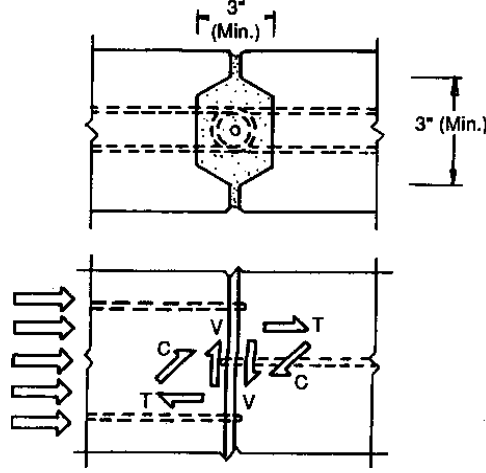
Mafsallı birleşimler, basınç ve çekme kuvveti transferini sağlarken, moment transferini sağlamazlar. Bu tip birleşimler genellikle kat seviyesinde döşeme diyaframı boyunca ve bağ çubuklarında oluşturulurlar. Birleşim kat seviyesi arasında serbesttir böylece panel duvarlar etkili rijitliklerinden dolayı yatay yükleri bağımsız olarak karşılarlar.”Şekil 5.3” Ses ve su yalıtımı detayları ayrı olarak göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 5.3 Duvardan duvara mafsallı birleşimler

5.6.1.2 Harçlı Birleşimler

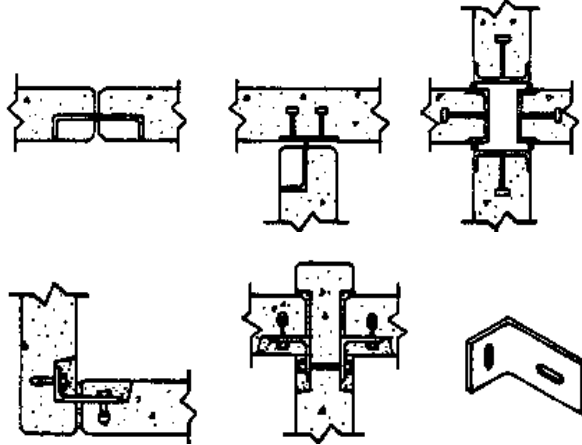
Harçlı birleşimler sürekli dirler ve genellikle harçla doldurulurlar. Minimum harç mesafeleri Şekil 5.4 de gösterilmiştir. Birleşimin dayanımı; sünme, büzölme, sıcaklık değişimleri sonucunda duvar ile harç arasında çatlak oluşsa bile, kesme sürtünmesi ile hesaplanabilir.



Şekil 5.4 Harçlı birleşimler

5.6.1.3 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 sağlanır. Kat seviyesindeki bağ çubuklarının birleşimi mekanik birleşimler ile sağlanır. Son kapasite, bağ çubukları ile mekanik birleşimlerin dayanımına bağlıdır. Şekil 5.5 de değişik mekanik birleşimler gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Mekanik birleşimler

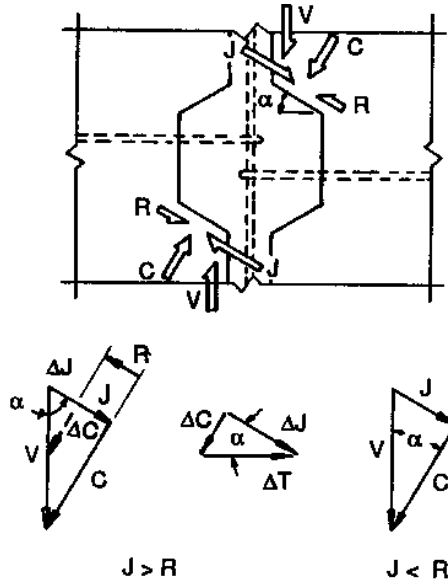
5.6.1.4 Kenetli Birleşimler

Kenetli birleşimler, donatılı veya donatısız olarak oluşturulabilirler. Test sonuçları, donatılı veya donatısız olarak oluşturulan kenetli birleşimlerin yük-deformasyon davranışlarının benzer olduklarını göstermesine rağmen, donatılı olarak oluşturulan kenetli birleşimin yüksek düktilite özelliğine sahip olduğunu göstermektedir. Bundan dolayı deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde, donatılı kenetli birleşimin oluşturulması tavsiye edilir.

Literatürde yapılan deneysel çalışmalara bakıldığında, kenetli birleşimler için değişik parametrelerin kullanıldığı birçok çalışmalar yapıldığı görülür. Bu çalışmalar ışığında genel olarak kenetli bitişik panolar arasındaki hasar, beton dayanımına bağlı olarak, kenetlerde, kenetlerin ara yüzeylerindeki kaymalardan ibarettir. Düşük kesme dayanımına sahip beton (harç veya panel) 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 ile ilişkilidir ve kesme sürtünmesi de birleşimdeki düşey donatı ile ilişkilidir. Kesme kenetleri ile teşkil edilen bitişik prefabrike panolar üzerinde değişik parametreler kullanılarak yapılan testler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [22];

- a) Birleşim yerini harçlarken ortaya çıkan hava kabarcıkları, panel ile harç arasındaki aderansın azalmasına neden olur ve bu bölgede hasar oluşmasına sebebiyet verir.
- b) Kesme kenetlerinin dizilim şekillerinin (konfigürasyon), pik ve artık kapasite üzerinde çok önemli etkileri yoktur.
- c) Kesme kenetlerinin boyutları, pik kapasite üzerinde az bir etkiye sahiptir; daha büyük kenet boyutlarına sahip panellerin kapasitesi, küçük olana göre % 20 oranında daha büyüktür. Fakat buna karşılık kenet boyutlarındaki değişiklikler, artık kapasite üzerinde etkili değildir.
- d) Harç ile panel betonu arasındaki dayanımın, birleşim yerinin davranışı üzerinde etkisi vardır. Düşük dayanımlı malzeme, pik kapasitesini ve yüzeydeki hasarın yerini kontrol eder. Fakat artık kapasite bundan etkilenmez.
- e) Düşey donatı oranındaki artış, numunelerin hem pik hem de artık kapasitelerinin artmasına neden olur.

Şekil 5.6 da gösterildiği gibi düşey kesme kuvveti, zahiri sürtünme katsayısı (ϕ) ve kenedin eğimi ile basınç ve çekme bileşenlerine dönüşür.



Şekil 5.6 Kesme kenedi

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

$$J = V * \sin \alpha \quad (5.3)$$

$$C = V * \cos \alpha \quad (5.4)$$

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

$$R = C * \tan \phi \quad (5.5)$$

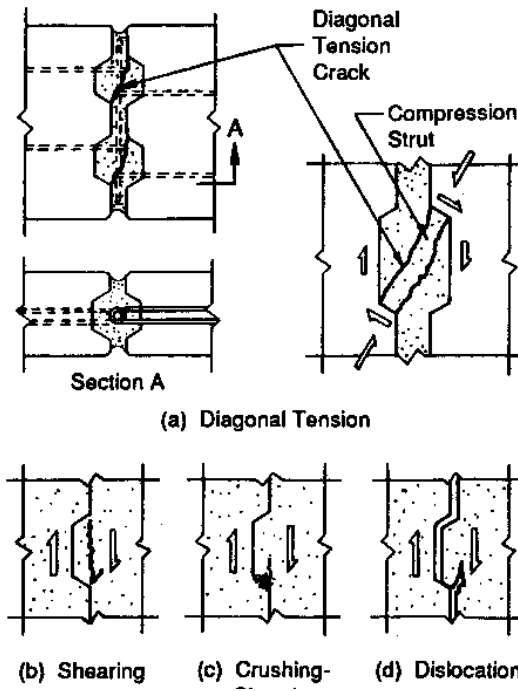
$\tan \phi = 0.60$ olarak varsayıldığında, J kuvvetinden dolayı kayma oluşmaz,

$$R > J \quad \alpha \leq 30^\circ$$

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

$$\Delta T = V * (\tan \alpha - \tan \phi) \quad (5.6)$$

Şekil 5.7 de kesme kenedindeki kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Kesme kenedindeki kuvvetler

5.6.2 Yatay Birleşimler

Yatay birleşimler, taşıyıcı duvarlar ile inşa edilen yapılarda, kat seviyelerinde ve temellerde oluşturulur. Transfer edilmesi gereken başlıca yükler, panel üstlerinden ve kat döşemelerinin diyafram etkisinden oluşan düşey ve yatay yüklerdir. Oluşan kuvvetler şunlardır;

- a) birleşime normal - basınç veya çekme kuvveti,
- b) birleşime yatay - yatay kesme kuvveti,
- c) yüzeyde birleşime düşey - düşey kesme kuvveti,
- d) birleşime dikey - döşeme diyaframından basınç veya çekme kuvveti.

Yatay birleşimler kuvvet transferi mekanizmalarına göre lineer ve izole edilmiş olarak iki şekilde gruplandırılır.

5.6.2.1 Lineer Birleşimler

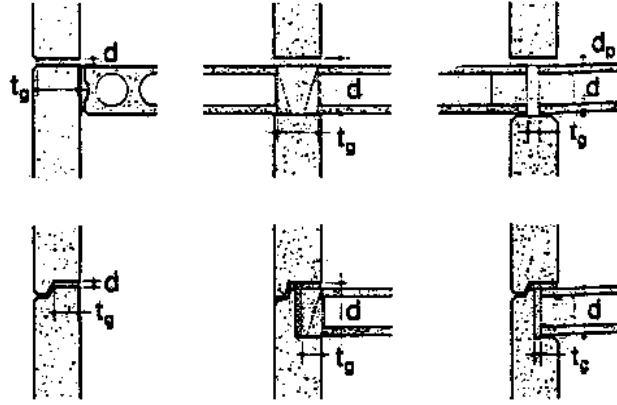
Bu birleşimin tipik konfigürasyonu Şekil 5.8 de gösterilmiştir. Düşey kuvvetlerin transferi kapasitesini kontrol eden etkenler şunlardır;

- a) birleşim yeri betonunun dayanımı,
- b) birleşim yeri betonunun sarılması,
- c) panel kalınlığının yük genişliğine oranı,
- d) panel ucunun kayma dayanımı,
- e) mekanik birleşim detaylarının çekme dayanımı.

Yatay yükün transferi kapasitesi;

- a) kesme sürtünmesi dayanımına,
- b) mekanik birleşimlerin yatay kesme dayanımına,
- c) sürtünmeye bağlıdır.

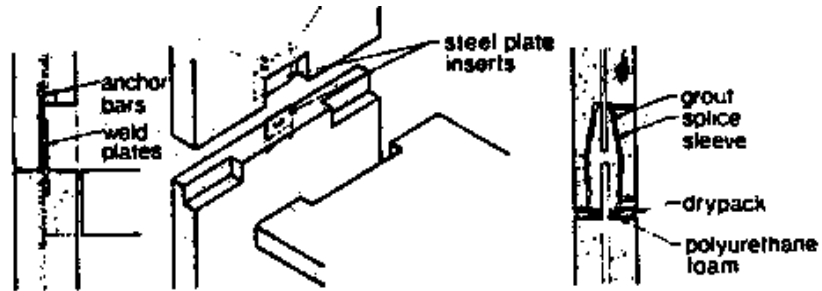
Şekil 5.8 de, iç ve dış birleşim örnekleri ince harçlı, açık ve kapalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.8 Lineer yatay birleşimler

5.6.2.2 İzole Edilmiş Birleşimler

Bu tip birleşimlerde kaynak veya bulon kullanılır. Özellikle kaynaklı birleşimlerde duktiliteyi sağlayabilmek için özel önlem gösterilmelidir. Bazı tipik örnekler Şekil 5.9 da gösterilmiştir.

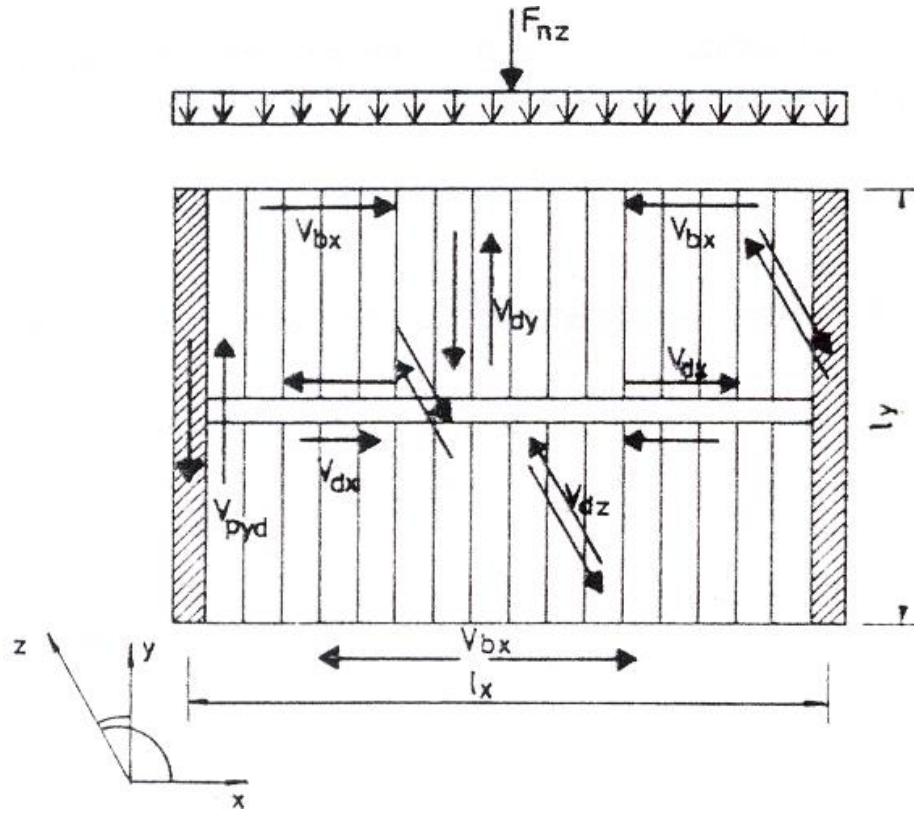


Şekil 5.9 İzole edilmiş yatay birleşimler

5.7 Döşeme Panolarının Ara ve Mesnet Birleşimleri [15]

Döşemeler, diyafram davranışını sağlayabilmek için Şekil 5.10 da gösterilen yükleri güvenli bir şekilde aktarmalı ve taşımalıdır.

Diyafram davranışı özellikle deprem tehlikesine maruz bölgelerde yatay yükün taşıyıcı sistem aracılığı ile zemine aktarılmasında daha bir önem kazanmaktadır. Betonarme yerinde dökme sistemlerde bu davranış gerekli standart kurallarına uyularak sağlanırken aynı davranışın prefabrike sistemlerde de sağlanması istenir. Dolayısıyla bu davranışı sağlayabilmek için panolar arasındaki yüklerin düzenli ve güvenli bir şekilde aktarılması ve bu panolar tarafından taşınması istenir.



Şekil 5.10 Pano aralarındaki kuvvetler

Döşeme panosu tipine bağlı olarak bu kuvvetler, kuru veya ıslak birleşimlerle aktarılır.

5.7.1 Pano Uç ve Kenar Mesnetlerindeki V_{dz} 'ler

Pano uç ve kenarındaki düşey V_{dz} kuvveti mesnetlere, standarttaki esaslara uygun olarak aktarılır.

5.7.2 Panolar Arasındaki Kuvvetler

5.7.2.1 Panoların Arasındaki Düşey V_{dz} 'ler

Üç kenarından veya karşılıklı iki kenarından mesnetli birden fazla pano ile oluşturulan döşemelerde, panoların arasındaki düşey V_{dz} kuvveti, aralıklardaki kesit boşlukları harçla veya döşeme elemanlarından filiz olarak bırakılan teçhizatların kaynak veya fiyongla eklenmesiyle aktarılır.

5.7.2.2 Panoların Arasındaki Kayma Kuvveti V_{dy} 'ler

Panolar arasındaki V_{dy} kayma kuvvetleri, döşeme tipine ve kuvvetin büyüklüğüne bağlı olarak,

-Panolar arası yerinde harçla doldurularak,

-Panolar arası harçtaki kayma mukavemetinin taşıma gücüne göre 0.3 MPa'yı geçtiği durumlarda standarda uygun olarak hesaplanan ve pano aralıklarına dik konan kesme-sürtünmesi teçhizatıyla,

-Ara harcın kayma mukavemetinin yetersiz kalması durumunda boşluklu panoların veya nervürlü plakların üst yüzünde kenetler oluşturarak aktarılır.

5.7.3 Döşeme Panoları İle Taşıyıcı Duvar veya Kiriş Arasındaki V_{pdy} ve V_{xd} 'ler

Döşeme düzlemi içindeki yatay yükler, ıslak veya kuru birleşimlerle taşıyıcı duvar panolarına veya kirişlere aktarılmalıdır.

Paralel olması durumunda taşıyıcı bir duvar veya kiriş ile boşluklu panolar arasında V_{pdy} için en çok 4.80 metrede bir enine bağlantı yapılmalıdır.

5.7.4 Kat Döşemesi Başlık Kuvvetler V_{bx} 'ler

Kat döşemesindeki başlık kuvvetleri, T2 kuvvetleridir.

-Basınç durumunda, panolar arasındaki dolgu harçları veya çelik lama veya profil parçalarının kaynakla birleştirilmeleri,

-Çekme durumunda ise, bağ elemanı (bağ hatılı) teçhizatları ile aktarılır.

5.8 Taşıyıcı Panolar Arasındaki Kayma Birleşimleri

Taşıyıcı duvar panoları ile oluşturulan perdeler, taşıyıcı duvarlar ve rijitlik duvarlarında monolitik davranışın gerçekleşebilmesi için panolar arasındaki düşey ve yatay birleşimlerde kayma olmaması sağlanmalıdır. Pano kayma birleşimleri kuru veya ıslak birleşim şeklinde olabilir.

5.8.1 Panolar Arasındaki Kuru Kayma Birleşimleri

Kuru birleşimler, yerel olarak büyük etkiler doğurdukları için, aktarılan kuvvetin küçük olduğu durumlarda kullanılmalıdır.

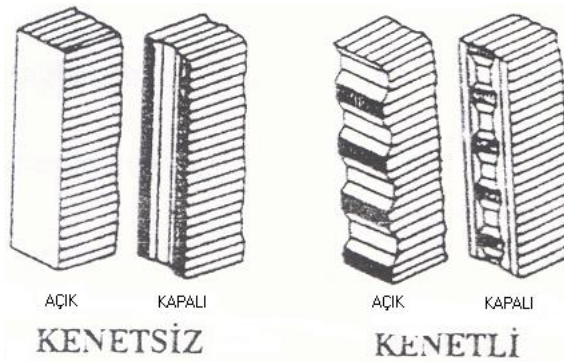
Kuru birleşimlerde, birleşen elemanların birleşim kenarlarının hesapça gereken sayıda yerleştirilen çelik birleşim parçaları, kaynakla birleştirilerek, kesme kuvveti aktarılır.

Bu tip birleşimlerde, çelik birleşim elemanları pano betonuna iyice kenetlenmeli ve kaynak emniyet gerilmesi % 30 azaltılmalıdır. (Taşma gücü yöntemiyle hesap yapılıyorsa, malzeme katsayısı 1.5 alınmalıdır.)

5.8.2 Panolar Arasındaki Islak Kayma Birleşimleri

Panolar arasındaki ıslak kayma birleşimlerinde, birleşen kenar kesitler, Şekil 5.11 de görüldüğü gibi kenetsiz ve kenetli olmak üzere iki şekilde yapılır.

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 5.11 Pano birleşim kesitleri

5.8.2.1 Kenetsiz Kayma Birleşimleri

$$A_{ke} = b_{ke} h_{ke} n \leq 0.2A_j \quad (5.7)$$

ise, birleşim kenetsiz kabul edilir.

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

5.8.2.2 Kenetli Kayma Birleşimleri

Kenetli kayma birleşimlerinde, 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 yapılmalıdır.

Tekil kenetler, ancak, aktarılan kesme kuvvetinin büyük olmadığı ve yatay birleşimlerde kullanılabilir.

Kenetli ekin geometrisi;

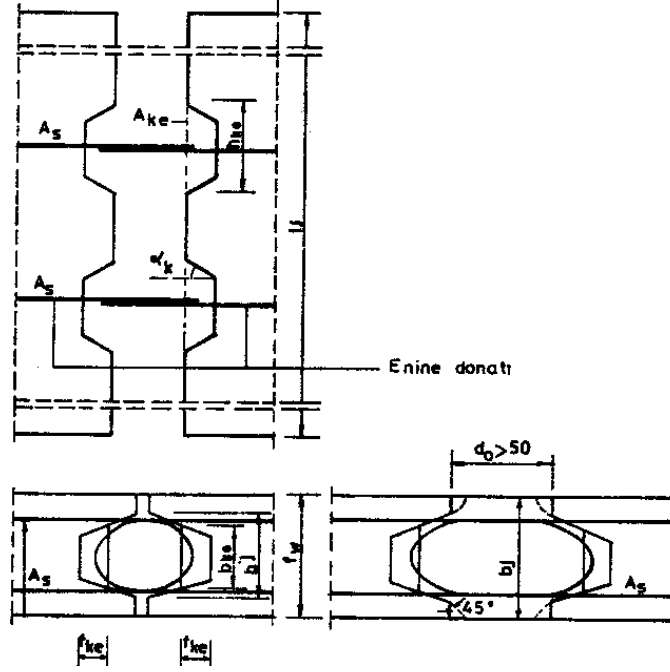
$$h_{ke} \geq 50 \text{ mm.}$$

$$t_{ke} \geq 10 \text{ mm.}$$

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

$$\alpha_k \leq 30^\circ$$

şartlarını sağlamalıdır. ‘‘Şekil 5.12’’



Şekil5.12 Kenetli birleşim detayı

5.8.4 Panolar Arasındaki Düşey Kayma Güvenliğinin Sağlanması

Düşey birleşimde güvenliğin sağlanması için;

$$V_{res} > \alpha_{er} V_d \text{ olmalıdır.} \quad (5.8)$$

$$\omega_s = \frac{A_s f_{yk}}{A_j f_{cd}} \quad (5.9)$$

$\omega_s \leq 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 A_s f_{yk} \quad (5.10)$$

$\omega_s > 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 (A_{ke} + 0.02 A_j) f_{cd} + \beta_2 A_s f_{yk} \quad (5.1)$$

olarak hesaplanır.

Panolar arasındaki düşey kayma taşıma kapasitesi

$$V_{res} < 0.30 A_j f_{cd} \text{ olmalıdır.} \quad (5.12)$$

Tablo 5.2 β değerleri

	Yayılı Enine Teçhizat			Konsantre Enine Teçhizat	
Birleşim Türü	β_1	β_2	β_3	β_2	β_3
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 aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır;

-Yayılı kenetli bir köşe birleşiminde kayma teçhizatları yalnız üst ve alt döşeme aralıklarına konmuş bağ çubukları ile sağlanmış ise V_{res} % 30 azaltılır.

-Tekil kenetler A_{ke} yerine A_j alınarak teçhizatlandırılmalı, teçhizatı olmayan kenetli birleşimler kenetsiz kabul edilmelidir. Yerel basınç tahkiki yapmak şartıyla, tekil kenetlerin kayma kuvveti kesme-sürtünme teçhizatıyla artırılabilir.

Yalnız basınç etkisindeki düşey bir birleşimde kayma teçhizatı oranı,

$$\omega_s \geq 0.01 \quad (5.13)$$

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 ‘‘TS500’’ ‘de verilen esaslara uygun yapılmalı ve kenetlenme bozulmadan teçhizat akma sınırına erişmelidir.

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 değişik formüller önermişlerdir. Tablo 5.3 de bazı araştırmacıların ve yönetmeliklerde kullanılan formüller gösterilmiştir [23].

Tablo 5.4 de 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 5.3 deki formüller kullanılarak gerekli donatı miktarları gösterilmiştir [23].

5.8.5 Panolar Arasındaki Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması

Panolar arasındaki yatay birleşimlere gelen etkiler;

- düşey yüklerden gelen basınç kuvveti,
- yatay yüklerden gelen kesme kuvveti ve normal kuvvet,
- yatay yüklerden gelen eğilme momentidir.

Tablo 5.3 Düşey dayanım için önerilen formüller

Araştırmacı	Formül	Uyarı
Ckolewicki	$V_u = 0,7 \cdot f_{ct} \cdot A_k$	Donatısız Birleşim İçin
	$V_u = 0,9 \cdot f_{ct} \cdot A_k + 98,1 \cdot A_s$	Donatılı Birleşim İçin
Hansen et al.	$V_u = 0,09 \cdot A_k \cdot f_c + A_s \cdot f_y$	$0,01 < \eta' < 0,08$ $f_y = 588 \text{ MPa}$ $0,2 < A_k/A < 0,5$ Yükseklik/Derinlik Kesme Kenedi $\geq 0,8$
Chakrabati, Bhise ve Sharma	$V_u = 0,291 \cdot A_s (\sqrt{f_{cu}} + 392 \cdot A_s/A_k)$	Kesme Sürtünmesi Hipotezi
Nimityongskul ve Lin	$V_u = 0,073 \cdot A_k \cdot f_{cu} + 0,82 \cdot A_s \cdot f_y$	
Abdul-Wahab	$V_u = 0,3 \cdot A_s \cdot \sqrt{f_c} + V_d$ $V_d = n \cdot S \cdot d \cdot f_c$ } düşük veya } değerler $V_d = 1,3 \cdot n \cdot d \cdot \sqrt{f_c \cdot f_y}$ }	Kenetli Birleşimler İçin
Chakrabati, Nayak ve Paul	$V_u = 0,0963 \cdot A_k \cdot f_{cu} + 0,5324 \cdot A_s \cdot f_y$	$\eta_k \geq 0,104$ İçin
	$V_u = A_k \cdot f_{cu} (0,37 - 0,76 \cdot \eta_k)$	$\eta_k \leq 0,104$ İçin
ACI 318-83	$V_u = \mu \cdot A_s \cdot F_y$	Yüzey Birleşim İçin $\mu = 0,6$ Kenetli Birleşim İçin $\mu = 1,0$
BS 8110-85	$V_u = 0,6 \cdot A_s \cdot f_y \cdot \tan \alpha$	Yüzey Birleşim İçin $\tan \alpha = 0,7$ Kenetli Birleşim İçin $\tan \alpha = 1,4$
Hashim, AbdulWahab	$V_u = 0,0442 \cdot A_k \cdot f_{cu} + 0,4901 \cdot A_s \cdot f_y$	$\eta_k \geq 0,051$ İçin
	$V_u = A_k \cdot f_{cu} \sqrt{(0,17 - 0,7 \cdot \eta_k) \cdot 0,7 \eta_k}$	$\eta_k \leq 0,051$ İçin
TS9967	$V_{res} = \beta_1 A_k f_{cd} + \beta_2 A_s f_{yk}$	$\omega_s \leq 0,15$ İçin
	$V_{res} = \beta_1 (A_k + 0,02 A_j) f_{cd} + \beta_3 A_s f_{yk}$	$\omega_s > 0,15$ İçin

Bu nedenle yatay pano birleşimlerinin hesabı,

- yalnız basınç gerilmelerine veya
- 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.

Tablo 5.4 Düşey birleşim için gerekli donatı miktarı

Metod	As (mm ²)	12mm 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

Birleşimlere konulacak kayma teçhizatı, düşey çekme çubukları şeklinde;

- panonun kenarlarına veya,
- pano içine veya,
- 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;

$$A_s > 0.0005 l_w t_w \quad (5.14)$$

5.8.5.1 Yalnız Basınç Gerilmelerine Göre Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması

Yalnız basınç etkisindeki birleşimlerde, yatay yüklerden gelen N_d normal yükünün oluşturduğu sürtünme kuvveti, kayma güvenliğinin sağlanmasında hesaba katılmalıdır.

Birleşimin kayma taşıma kapasitesi

$$V_{res} < 0.30 A_j f_{cd} \quad (5.15)$$

$$\omega_s = \frac{A_s f_{yk} + N_d}{A_j f_{cd}} \quad (5.16)$$

$\omega_s \leq 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 A_{ke} \cdot f_{cd} + \beta_2 (A_s f_{yk} + N_d) \quad (5.17)$$

$\omega_s > 0,15$ iken,

$$V_{res} = (\beta_1 A_{ke} + 0.02 A_j) f_{cd} + \beta_3 (A_s f_{yk} + N_d) \quad (5.18)$$

olarak hesaplanır.

$$V_d < \mu_s N_d \text{ ise} \quad (5.19)$$

$\beta_1 = 0$ alınabilir.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ değerleri Tablo5.2'den alınmalıdır.

Kenetsiz olup, $N_d > 0.6 A_j f_{cd}$ basınç kuvveti etkisindeki yatay birleşimlerin taşıma kapasitesi

$$V_{res} = 0.6 A_j f_{cd} - 0.5 N_d \text{ 'dir} \quad (5.20)$$

Yalnız basınç etkisindeki düşey bir birleşimde kayma teçhizatı oranı,

$$\omega_s > 0.01 \quad (5.21)$$

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 ‘‘TS500’’ ‘de verilen esaslara uygun yapılmalı ve kenetlenme bozulmadan teçhizatı akma sınırına erişmelidir.

5.8.5.2 Yalnız Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimler

$$N_d \text{'nin çekme } N_d < A_s f_{yk} \quad (5.22)$$

olduğu yatay birleşimlerde,

$$V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 (A_s f_{yk} - N_d) * [1 - N_d / A_s f_{yk}] \quad (5.23)$$

Çekme gerilmeleri etkisindeki yatay pano birleşimleri mutlaka kenetli yapılmalıdır.

5.8.5.3 Hem Çekme Hem Basınç Gerilmelerinin Etkisindeki Birleşimler

Yatay birleşimler genellikle deprem gibi yatay kuvvetler altında hem basınç hem de çekme gerilmelerinin etkisine girer. Bu durumda homojen, lineer elastik teori ile hesaplanan normal gerilme diyagramı, yeterli sayıda dikdörtgen bölüme ayrılarak, her bölüme düşen normal kuvvet hesaplanır.

$$N_m = T_w \sigma_m a_{jm} \quad (m = 0.1.2....) \quad (5.24)$$

N_m değerleriyle, duruma uygun V_{res} ’ler Den. (5.13), (5.14) ve (5.19) nolu formüller kullanılarak hesaplanır.

Buna göre, birleşimin kayma mukavemeti,

$$V_{res} = \sum_{m=0}^m V_{res, m} \text{ dir.} \quad (5.25)$$

Kayma güvenliğinin sağlanması için

$$V_{res} > \phi_{er} V_d \quad (5.26)$$

Koşulu gerçekleşmelidir. $\phi_{er} = 4 / 3$ alınmalıdır.

Hem basınç hem de çekme etkisindeki yatay bir birleşimde çekme bölgesindeki teçhizat alanı $A_{sç}$,

$$1. \quad A_{sç} = \frac{N_d}{f_{yk}} \quad (5.27)$$

$$2. \quad A_{sç} = 0.0005 l_w t_w \quad (5.28)$$

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

5.9 Panolar Arasındaki Basınç Birleşimleri

5.9.1 Genel

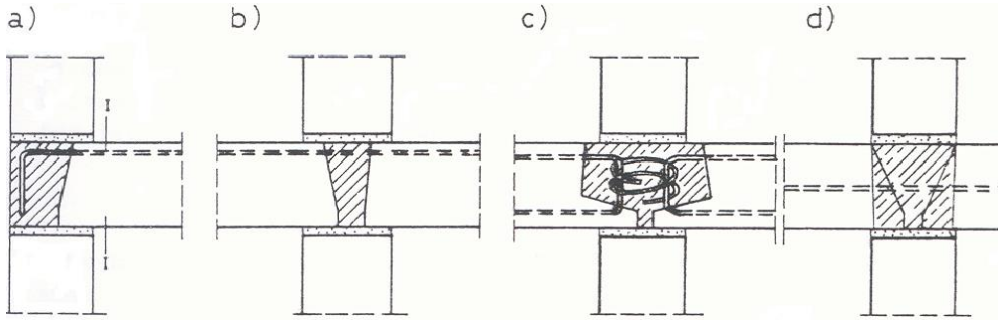
Panolarla yapılan taşıyıcı duvarlarda, bir üst kattaki N düşey kuvvetleri altındaki katta, alt duvar panosuna oturan döşeme panoları ile aralarındaki yerinde dökme beton ve üst duvar panosunun altındaki, alt duvar panosunun üstündeki harç tarafından aktarılırlar.

Böyle bir birleşim, panolar arası basınç birleşimi veya kısaca “Pano Basınç Birleşimi”dir.

5.9.2 Pano Basınç Birleşim Çeşitleri

Pano basınç birleşimleri, birleşimdeki döşeme panosu mesnedinin dönmeye karşı gösterdiği rijitliğe bağlı olarak; sürekli, kısmen sürekli ve serbest birleşimler olarak sınıflandırılır.

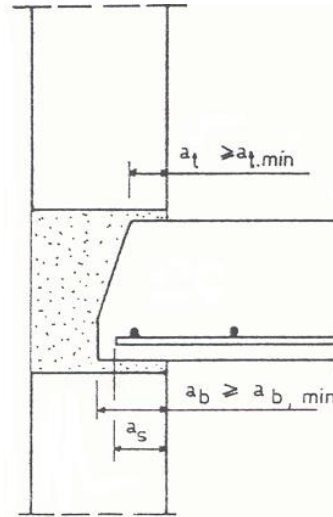
Mesnet momenti için gerekli teçhizatı olan Şekil 5.13 de a ve b birleşimleri sürekli birleşimlerdir. Özel helisel teçhizat ile belirli bir oranda dönmeye karşı kısmen rijitliği temin edilmiş, dolayısıyla sınırlı mesnet momenti taşıyabilen ve Şekil 5.13c de gösterilmiş birleşim, kısmen sürekli ve mesnet momenti teçhizatı olmayan, Şekil 5.13d deki birleşim ise serbest birleşimi göstermektedir.



Şekil 5.13 Birleşim Kontrol Kesitleri

5.9.3 Pano Basınç Birleşimlerinde Sınırlamalar

Döşeme alt teçhizatının a_s aderans boyu, hasır teçhizat halinde kayma teçhizatı yoksa 4ϕ 'den az olmamalıdır. “Şekil 5.14” Döşeme panosunun duvar panosu üstüne oturması durumunda ($a_{b,min}$) için standarttaki esaslar geçerlidir.



Şekil 5.14 Kenetleme boyu için kesit

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

$$V_{fd} \leq 0.25 f_{ctd} \chi (1+50\rho) b.d \quad (5.29)$$

İse, 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,

$$a_{t,min} = 40 \text{ mm}$$

duvar panolarının enine teçhizatı varsa, $a_t, \min = 30 \text{ mm}$ olmalıdır.

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

5.9.4 Panonun Kendisinde ve Birleşimindeki Dışmerkezlilik

Panonun kendi bünyesinde ve birleşimde bulunabilecek dışmerkezliliklerle ilgili hesaplar için, doğruluğu kabul edilmiş başka bir metot kullanılmadıkça, “TS 9967” ‘de verilen metot kullanılır.

5.9.5 Pano Basınç Birleşiminin Mukavemeti

Pano basınç birleşimlerinde, basınç kuvveti, birleşime e_{l-1} dışmerkezliliği ile etkir.

Birleşimin basınç mukavemetinin gerçek hesabı çok uzun ve güç olduğundan “TS 9967” ‘de verilmiş olan basitleştirilmiş metot, hesaplarda kullanılabilir.

5.10 Taşıyıcı Duvarlar ile Rijitlik Duvarları Arasındaki Düşey Birleşim

Duvarlar, kenarlarının duvar düzlemine dik yer değiştirmelerine engel olmak için döşemeler, ara taşıyıcı duvarlar, rijitik duvarları veya yeterli rijitiğe sahip benzer yapı elemanlarıyla iki, üç veya dört kenarlarından tutturulmalıdır. “Şekil 5.15”

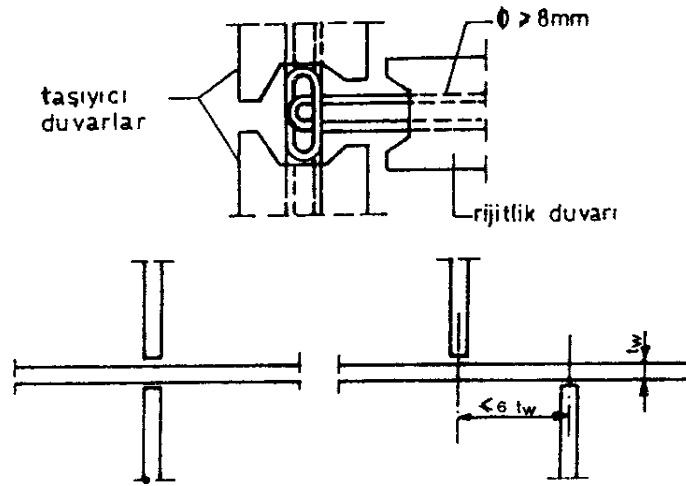
Taşıyıcı duvarlar, kendilerini rijitleştiren duvarlara, kuru veya ıslak bağlantıyla, $h / 3$ ve $2h / 3$ ’de olmak üzere en az iki noktada bağlanmalıdır. Her bir bağlantı;

$$T = N_r * h / 30 \quad (5.30)$$

Değerinde bir çekme kuvvetine göre hesaplanmalıdır.

Islak birleşimlerde teçhizat çapı en az 8 mm olmalıdır. Teçhizat eki fiyong veya kaynakla yapılabilir.

Taşıyıcı duvarların iki taraftan aynı yerde kendisine dik iki rijitik duvarı veya aralıkları taşıyıcı duvar kalınlığının en fazla 6 katı olan şaşırtılmış rijitik duvarları ile tutulduğu yerlerde, derzlere teçhizat konmayabilir. “Şekil 5.15”



Şekil 5.15 Taşıyıcı duvar – rijitlik duvar birleşimi

5.11 PRESS Programı Kapsamında İncelenen Düşey Birleşimler

ABD-Japonya ortak girişimiyle yürütülen PRESS programı kapsamında, prefabrike betonarme duvar birleşimlerinin sismik performanslarını araştırmak amacıyla değişik birçok prefabrike duvarlar arasındaki düşey birleşimler deneylerle incelenmiştir [24].

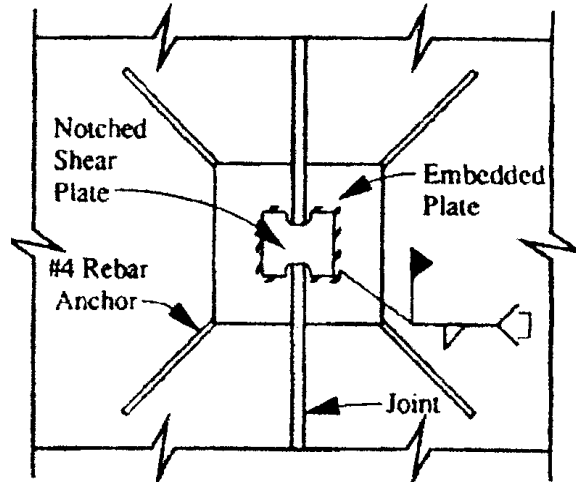
Bu çalışmaların amacı, prefabrike duvarlar arasındaki birleşimlerin davranış modellerini tam olarak belirlemek ve bunlara uygun dizayn kuralları saptamaktır.

Bu çalışma kapsamında altı adet düşey birleşim detayı belirlenmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Seçilen birleşim detayları, genelde ABD’de daha önceki uygulamalarda kullanılan veya bu çalışma esnasında geliştirilen birleşimlerdir. Bu birleşimler başlangıçta iki kategoriye ayrılmıştır. Birinci grupta bulunan birleşim detaylarında, birleştirme işlemi yerinde kaynak yapılarak uygulanan birleşimleri kapsamaktadır. “Şekil 5.16” İkinci grupta ise birleştirme işlemi bulon ve kaynak kombinasyonu uygulanarak oluşturulmuş birleşim detaylarını kapsamaktadır. “Şekil 5.17”

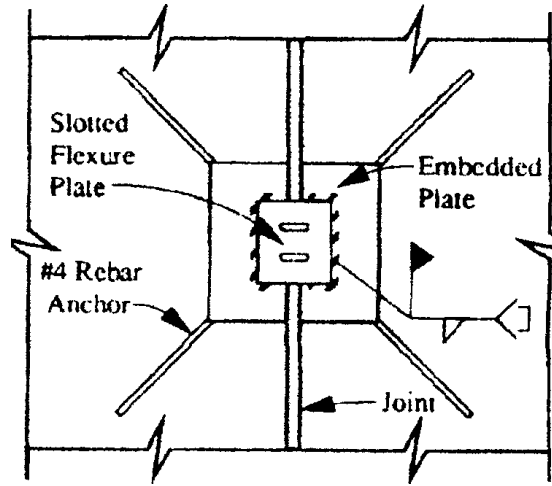
Tablo 5.5 de altı düşey birleşim detayının karşılaştırması verilmiştir [25].

Tablo 5.5 Düşey birleşim örneklerinin davranış biçimleri

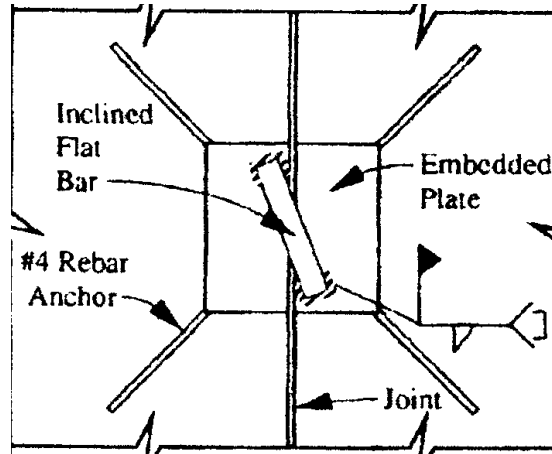
Birleşim Tipi	NSP	SFP	IFB	PTS	BFD	UFP
mode	Kesme	Eğilme	Eksenel	Eksenel	Sürtünme	Eğilme
Başlangıç Rijitliği	1,3	1,29	455	588	2,58	43
Akma Kuvveti	99,1	98	98,7	98,4	102	39,1
Son Dayanım	160	237	159	158	120	63



a) Notched Shear Plate (NSP)

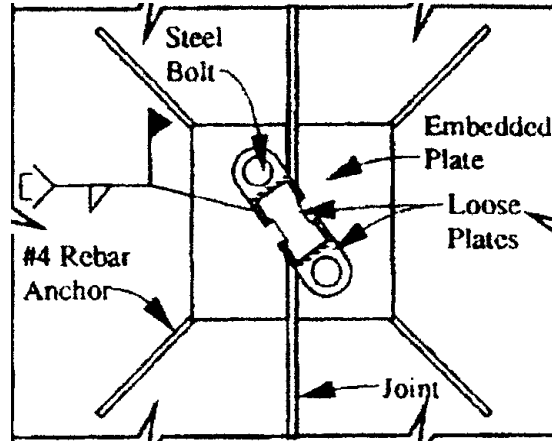


b) Slotted Flexure Plate (SFP)

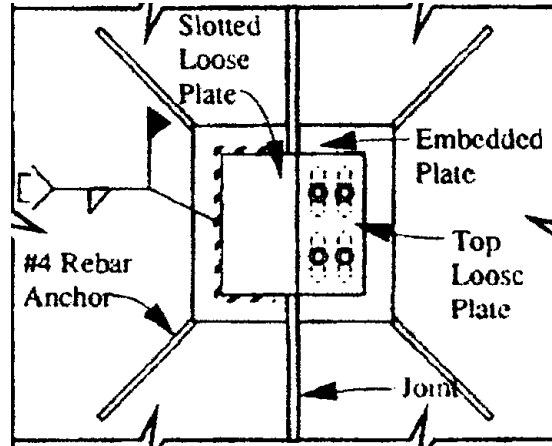


c) Inclined Flat Bar (IFB)

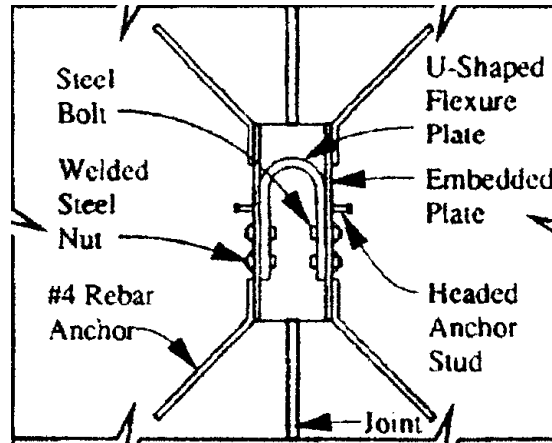
Şekil 5.17 Kaynaklı düşey birleşim detayları



a) Pinned Tension Strut (PTS)



b) Brass Friction Device (BFD)



c) U Shapped Flexure Plate (UFP)

Şekil 5.18 Bulonlu düşey birleşim detayları

6. PREFABRİKE PANOLU SİSTEMLERİN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI

Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç, yapıların ekonomik ömürleri içinde olacak hafif ve orta şiddetli depremlerden hiç hasar görmemelerini sağlamak ve aynı süre içinde olacak en şiddetli depremde de can kaybına yol açmayacak ve ekonomik biçimde onarılabilecek düzeyde hasar görmelerini sağlamaktır. Bu, yapıların orta şiddetli depremlerde elastik, çok şiddetli depremlerde ise plastik davranması demektir. Prefabrike pano ve diğer tip yapıların deprem davranışları yerinde dökme betonarme yapılardan farklıdır. Bu bakımdan yerinde dökme betonarme yapılar için geliştirilmiş yöntemlerin aynen prefabrike yapılara da uygulanması genellikle uygun değildir [26].

Özellikle ek yerlerinden dolayı prefabrike yapılar yerinde dökme betonarme yapılar kadar rijit değildirler. Kolon - kiriş ve pano - pano arasındaki birleşim yerlerinin moment ve kesme kuvvetlerini aktarma biçimleri değişiktir, ancak bununla birlikte, betonarme prefabrike yapılarda da yerinde dökme betonarme yapılardan istenen düzeyde deprem güvenliğinin bulunması gerekir. Sistemlerin davranışlarının farklı oluşu karşısında prefabrike yapıların depreme dayanıklı tasarımında değişik yaklaşımların kullanılması gerekir.

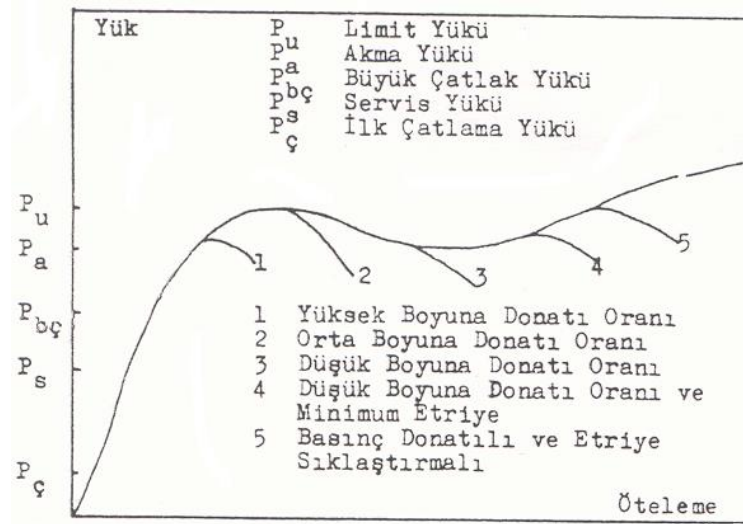
Günümüzde kullanılan afet yönetmeliğinde, deprem için kullanılan taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) prefabrike betonarme sistemler için ayrı, yerinde dökme betonarme sistemler için ayrı değerler alır. Bu katsayı prefabrike betonarme sistemlerde, yerinde dökme sistemlere göre daha küçük tutulmuştur. Böylece prefabrik sisteme etkiyen deprem kuvveti arttırılmıştır. Bu da prefabrik yapıların yerinde dökme betonarme yapılara göre depreme karşı daha güçsüz olduklarını önceden kabul etmektir.

Bu bölümde prefabrike panolu yapıların depreme dayanıklı tasarım yaklaşımları üzerinde durulmuştur. Önce yerinde dökme betonarme yapılardan istenen deprem güvenlik düzeyi üzerinde durulmuş, daha sonra prefabrike sistemlerde farklılıkları da göz önüne alınarak aynı düzeyde güvenlik sağlamanın koşulları ve sistem tasarım yaklaşımları değişik araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalar da incelenerek ele alınmıştır.

6.1 Yerinde Dökme Betonarme Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı

Genel olarak yapıların depreme karşı tasarımı, depremler sonucunda oluşan ve yapıya etkiyen yüklerin, yapı sistemi tarafından karşılanabildiğinin gösterilmesidir.

Betonarme yapı elemanlarının Şekil 6.1 de gösterildiği gibi yük - deformasyon ilişkisi incelendiğinde, betonarme elemanlarda kalıcı ötelemelere izin verildiği ve bunu sağlayacak ayrıntılar sağlandığında, elemanın önemli ölçüde enerji tüketebileceği anlaşılr. Şekil 6.1 deki eğrinin altındaki alan, kuvvet çarpı öteleme, enerji tüketimini gösterir. Malzemenin bu özelliği şiddetli depremlerde kullanılabilir. Betonarme yapılar yüksek deformasyon gücü olan elemanlardan oluşuyorsa kalıcı deformasyonlar yaparak depremin enerjisini tüketebilirler. Kalıcı deformasyon yapıda çatlama ve hasar demektir. Ancak bu durumda yapının tasarımında kullanılan elastik deprem yükleri önemli ölçüde azalır.

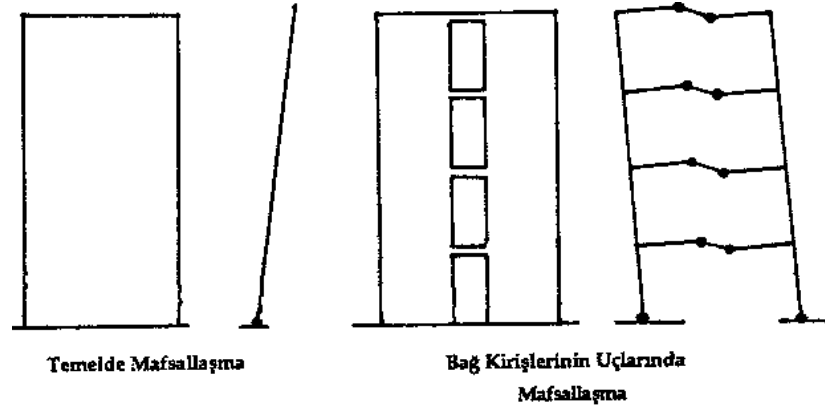


Şekil 6.1 Çeşitli biçimde donatılmış betonarme elemanların yük-deformasyon özellikleri

İlk çatlak deformasyonu ile taşıma gücünde önemli bir kayıp olmadan oluşan maksimum kalıcı deformasyon arasındaki oran düktilite olarak tanımlanır. Düktilite elemanın kopmadan büyük deformasyon yapabilme özelliğidir. Düktilitesi yüksek ve elastik limit yükü az olan yapılar küçük depremlerde bile çok hasar gördüklerinden tercih edilmezler.

Perde duvarlı yapılarda ise mafsallaşma Şekil 6.2 de gösterildiği gibi ya perde duvarın temelinde ya da perde duvarlar arasındaki bağ kirişlerinde olur. Bağ

kirişlerinin uçlarında olan mafsallaşma hem enerji tüketimi hem de yapının stabilitesi bakımından tercih edilir.



Şekil 6.2 Perde duvarlı yapılarda mafsallaşma biçimleri

Yerinde dökme betonarme yapıda, deprem tehlikesinin büyüklüğü ve yapının önemine göre hesaplanan yatay kuvvetin elastik olarak taşınabildiği; buna ek olarak etriye sıklaştırması, boyuna donatı yüzdesinin kısıtlanması, çeşitli betonarme eleman en kesit kısıtlamalarına uyulması ile hafif ve orta şiddetli depremlerde can ve mal kaybı, çok şiddetli depremlerde ise can kaybı önlenmekte mal kaybı ise çok şiddetli depremlerde dayanılabilir bir düzeyde tutulabilir.

Yerinde dökme betonarme yapılar için geliştirilmiş bu depreme dayanıklı yapı kavramı prefabrike yapılarda da uygulanabilir. Ancak prefabrik yapıların davranış ve özelliklerinin yerinde dökme betonarme yapılara göre değişik olması, prefabrike bir yapının aynı deprem davranışını göstermesi için gerekli yaklaşımlar ve ayrıntıların da farklı olmasına yol açar.

6.2 Betonarme Prefabrike Yapıların Yerinde Dökme Yapılara Göre Davranış Farkları

a) Yerinde dökme betonarme yapılarda deprem enerjisi, yapının monolitik ve rijit olan ek yerlerinin hasar görerek mafsallaşması ile tüketilir. Buna karşılık prefabrike yapılarda ise elemanların birleşim yerleri yerinde dökme elemanlardaki ek yerleri gibi tam monolitik ve rijit değildir. Bundan dolayı prefabrike yapıların ek yerlerinde şiddetli depremlerde deprem enerjisi tüketme gücü yerinde dökme betonarme yapıların ek yerlerine göre daha azdır. Bu nedenle de prefabrike yapıların aynı yerinde dökme, rijit ek yerli betonarme yapılar gibi kabul edilerek hesaplanıp tasarlanması gerçekçi olmayıp prefabrike yapının daha düşük deprem güvenliğinde olmasına yol açar.

b) Yerinde dökme betonarme yapılarda sünek davranış betona tam bir aderans ile bağlı donatının kalıcı birim deformasyon bölgesine girmesi ile sağlanır. Prefabrik yapılarda ise ek yerlerinde donatıların sürekliliğinin kaynak ya da bulonlu birleşim ile sağlanması güç olur. Şantiye koşullarında kaynak gevrek kırılmaya uğrar; bulonların kısa boylu oluşu kopmadan kalıcı uzamalar yapmalarına olanak vermez. Uzun bulonların ise tersinir yükleme dolayısı ile basınç altında burkulmaları söz konusudur. Böylece enerji tüketimi gerçekleşmeyebilir.

c) 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.

d) Panolu yapılarda, alt ve üst duvar panoları ile döşeme panolarının birleştiği yerde kesme ve basınç gerilmeleri taşıma gücü, birleşen elemanlara göre zayıf olur.

e) Yerinde dökme perde duvarlı yapılarda perdelerin uçlarının daha geniş (dişli) olarak yapılması düktilite açısından çok olumlu olur. Ancak bu tür I kesitli pano imali kolay değildir. Yapılan deneyler ve analitik değerlendirmeler prefabrike yapıların yatay ek yerlerinin M - $\emptyset$ ilişkisinin yerinde dökme betonarme yapıların benzer ek yerlerine göre daha düşük düzeyde enerji tüketme gücünde olduğunu gösterir.

f) Deneyler ve analitik değerlendirmeler prefabrike panolu yapıların yatay ek yerlerinde yatay deprem yükleri altında kalıcı kaymaların olabileceğini ve bu tür kaymaların giderek yapının stabilitesini tehlikeye sokabileceğini gösterir.

g) Prefabrike yapıların ek yerleri bir bakıma, yerinde dökme yapıların rijit ek yerlerine göre önceden çatlamış ek yeri olarak nitelenir. Monolitik betonarme yapıda ek yerindeki çatlama ile birlikte yapının sönümünün arttığı bilinmektedir. Sönüm artışı ise yapının deprem enerjisi tüketimini arttırdığı için olumludur. Ancak yerinde dökme betonarme yapıya göre önceden çatlamış prefabrike yapılar daha esnek olmaları nedeni ile daha uzun periyotludurlar ve de uzun periyotlu yapıların yatay ötelemeleri daha fazladır. Sönümdeki artış ile birlikte oluşan büyük miktarda yatay ötelemeler, hem ikinci mertebeden momentler oluştururlar, hem de yapının stabilitesini bozarlar.

h) Özellikle prefabrike panolu yapılarda yatay ve düşey ek yerlerinin deprem yükleri altındaki davranışları bu tür yapıların tasarımında en belirleyici unsurlardır.

g) Prefabrik yapıların düktilitesinin yerinde dökme betonarme yapılardan az oluşu ya da aynı miktar düktilitenin sağlanmasındaki güçlük karşısında pratik olarak ne miktarda düktilitenin gerçekleştirilebileceği sorusu ortaya çıkar. Çünkü bu miktar, prefabrike yapı tasarımında gerek deprem yükünün, gerekse de çeşitli bağlantı detaylarının üzerinde belirleyici olmaktadır.

Betonarme prefabrike yapıların depreme dayanıklı tasarımında yerinde dökme betonarmeden farklı oldukları yukarıda verilen noktaların dikkate alınması ve buna göre tasarım seçeneklerinin geliştirilmesi gerekir.

6.3 Prefabrike Pano ve Ek Yeri Üzerine Yapılmış Deneyler [17]

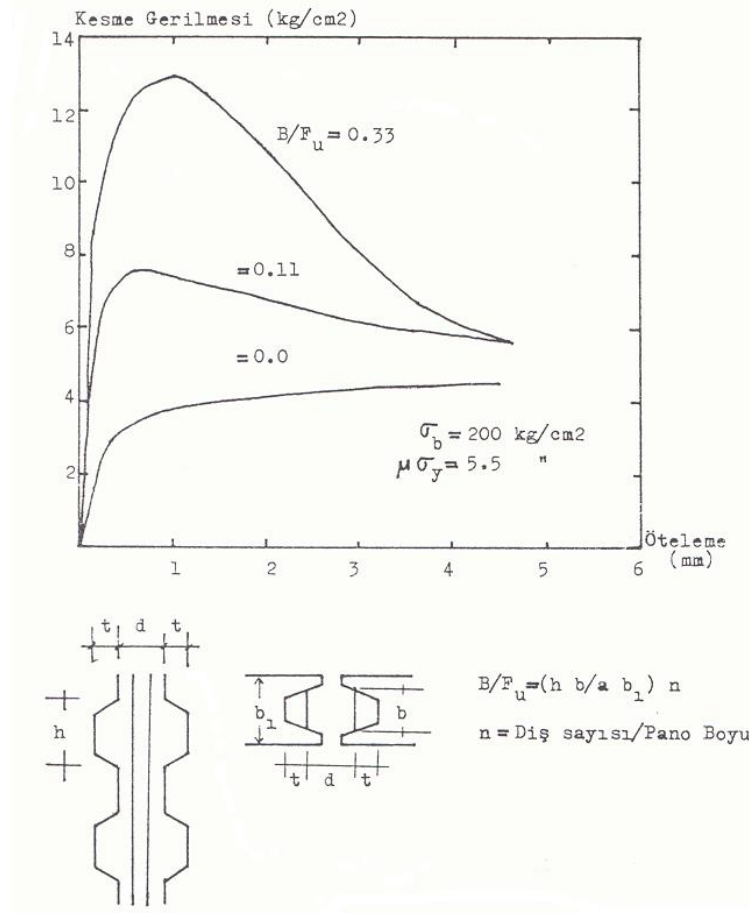
Prefabrike yapıların depremlerde nasıl davranacaklarının bir deprem olmadan önce bilinmesi ve gerekirse iyileştirici önlemler alınması konusu deprem tehlikesi altında olan ve prefabrike yapı sistemlerini yaygın bir biçimde uygulayan ülkelerde deneysel çalışmalara ağırlık verilmesine yol açmıştır. Yapıların kayıplara yol açabilecek gerçek bir deprem deneyiminden geçmesini beklemek yerine, özellikle ek yerlerinin deprem yüklerine benzer yükler altında denenmesi güvenli prefabrike yapı yapmak için gerekli görülmüştür.

Burada yabancı ülkelerde değişik prefabrike yapı sistemlerinin ek yerleri üzerinde yapılmış yükleme deneyleri derlenmiştir. Deneylerin çoğu panolu prefabrike yapılardaki yatay ve düşey ek yerleri üzerinde yapılmıştır. Kimi deneylerde dinamik yükleme, kimisinde ise statik yükleme ile ek yerinin taşıyabileceği kesme gerilmesi ya da kesme kuvvetinin ek yerinin kenetli, düz, donatılı ve donatısız olmasına ve donatının bağlanma biçimine ve ek yerine dik gelen kuvvetler gibi parametreler altında değişimleri incelenmiştir.

6.3.1 Panolar Arasındaki Ek Yerleri Üzerinde Statik Deneyler

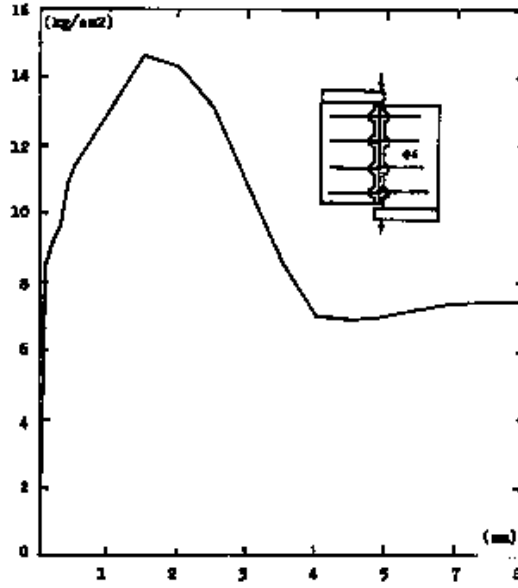
Mehlhorn ve Scwhing tarafından bildirilen bir dizi deneylerde ek yerinin kenetli ve kenetsiz olması ve ek yerinde boyuna donatı olması halinde ek yerinde oluşan kesme gerilmeleri ve ek yerinin deformasyonları arasında Şekil 6.3 de verilen ilişki bulunmuştur. Burada B / F_u ek yerindeki kenetlerin boyunun toplam ek yeri boyuna oranıdır. Şekil 6.3 den görüldüğü gibi panoların birbirlerine kenetli olarak birleştirilmesi, kesme gerilmesi kapasitesini, yüklemenin başlangıcında önemli ölçüde artırır. Ancak panolar arasındaki ötelemenin artması ile kenetlerdeki beton kırılır ve böylece 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 ve eğer varsa ek yerinden geçen donatıların pim etkisine (Dowel action) bağlanır. Şekil 6.3 de gösterilen σ_b , ek yerindeki betonun basınç dayanımını, $\mu\sigma_y$ ise ek yerindeki donatı yüzdesi ile donatı akma dayanımının çarpımını gösterir.



Şekil 6.3 Kesme kenetlerinin kesme gerilmesi taşıma gücüne etkisi

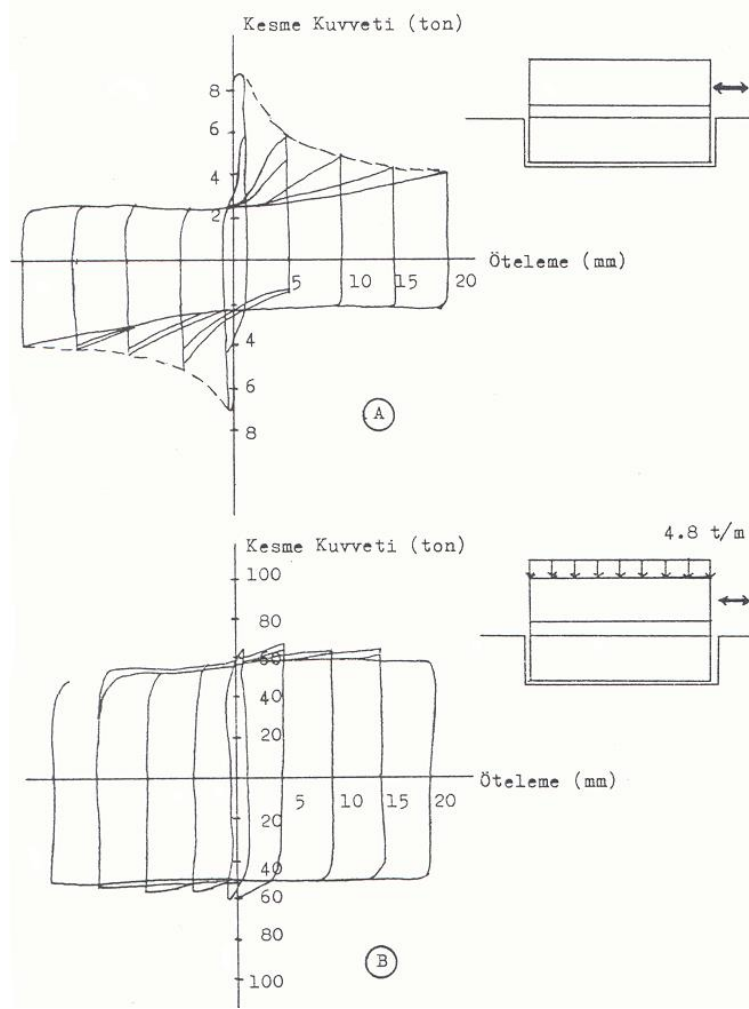
Tassios ve Tsoukantas yaptıkları çalışmada ek yerlerinin statik yükleme altında kesme dayanımı - öteleme konusunda Şekil 6.4 de verilen ilişkiyi çıkarmışlardır. Bu ilişki de Mehlhorn ve Scwhing tarafından çıkarılan ilişkiye “Şekil 6.3” benzer.



Şekil 6.4 Donatılı ek yerlerinin kesme dayanımı

6.3.2 Panolar Arasındaki Ek Yerlerinde Dinamik ve Yönü Değişen Yükleme Deneyleri

Değişik türdeki pano ek yerleri üzerinde Verbic ve Terzic tarafından dinamik ve tersinir yükleme deneyleri, dört değişik birleşim yeri kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.5 de iki düşey pano arasında yatay birleşim yerinde yalnızca harç vardır. Şekil 6.5 (B) deki panolar aynı Şekil 6.5 (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 yerinde kesme dayanımını ne ölçüde arttırdığı görülür. Düşey basıncın olmadığı örnekte başlangıç kesme dayanımı birkaç tekrarlı yüklemekten sonra hızla % 50'ye yakın bir miktara inmektedir. Ayrıca her bir yükleme kademesinde yükün yönünün değişmesi ile de ters yönde yüklemelerde kesme dayanımı azalmaktadır. Düşey basınç altındaki aynı tür birleşim yerinde ise devresel yüklemelerin artması ile kesme dayanımında olan azalma daha küçük olmaktadır. Düşey basınç birleşim davranışını dengeli bir konumda tutmaktadır. Bu iki deney birleşim yeri üzerindeki düşey basıncın olumlu katkısı olduğunu göstermektedir.

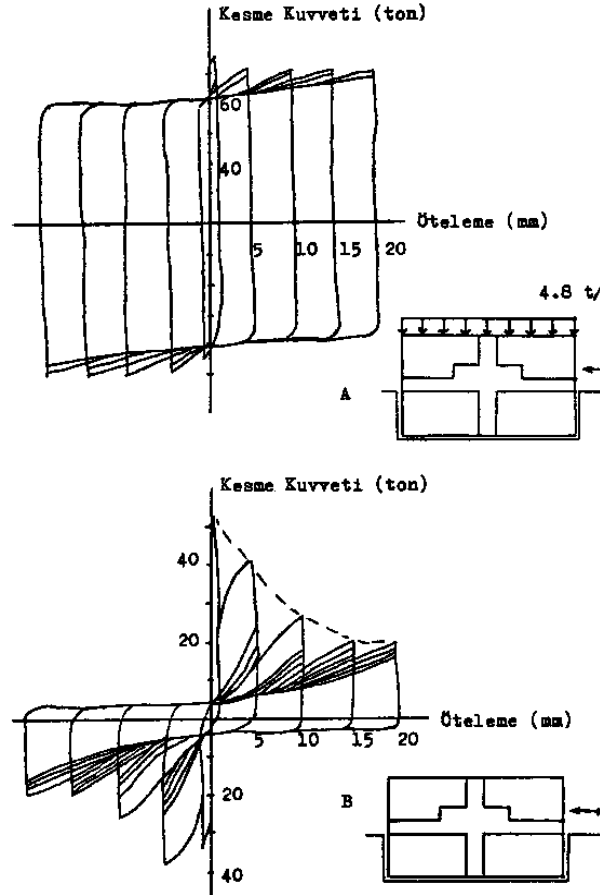


Şekil 6.5 Birleşim yerlerinin kesme kuvveti davranışı

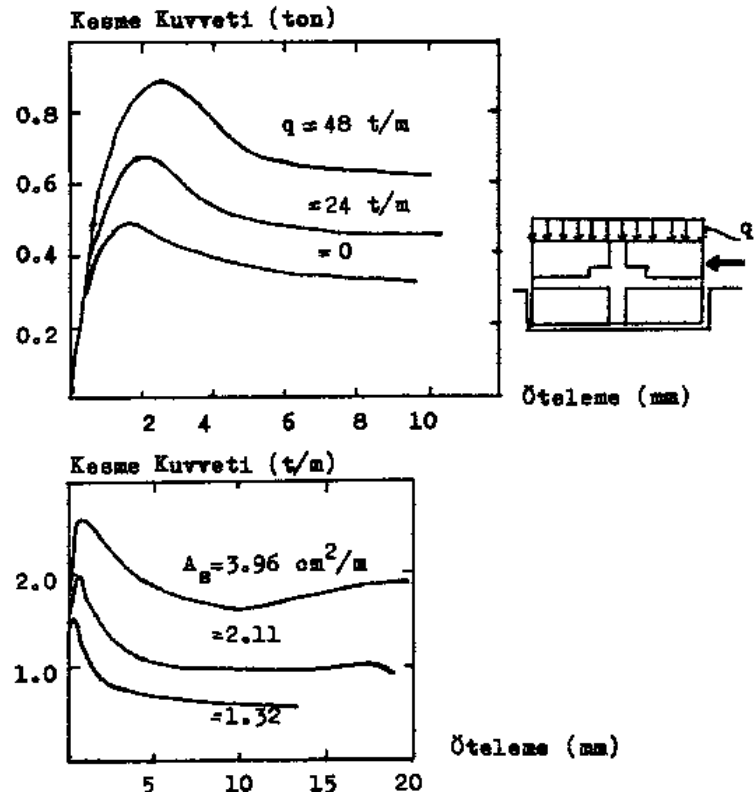
Şekil 6.6 da ise donatıların kaynaklı olarak bağlandığı bir birleşim yerinin düşey yüklü ve yüksüz durumda tekrarlı yüklemeler altındaki davranışları verilmiştir. Birleşim yerinde donatının bulunması kesme dayanımını önemli ölçüde arttırmaktadır. Ancak yine de belli bir düzeyde ek yeri kayması halinde 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 6.7 de gösterilmiştir.

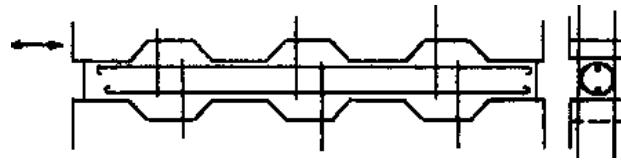
Bir başka dinamik birleşim yeri deneyi Maio tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu deneyde kullanılan birleşim yeri düzeni Şekil 6.8 de gösterilmiştir. Bu deneylerden elde edilmiş kesme kuvvetleri ve birleşim yerinde oluşan kaymalar Şekil 6.9 da verilmiştir. Ayrıca birleşim yeri statik olarak da denenmiştir. Bu deneylerden statik yükleme halindeki maksimum kesme kuvveti kapasitesinin dinamik yükleme halinde % 70 kadar azaldığı gözlenmektedir. Statik yüklemede karşılıklı duran beton kenetlerinin 3 - 4 mm kadar bir ötelemede kırılmalarına karşılık, 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.



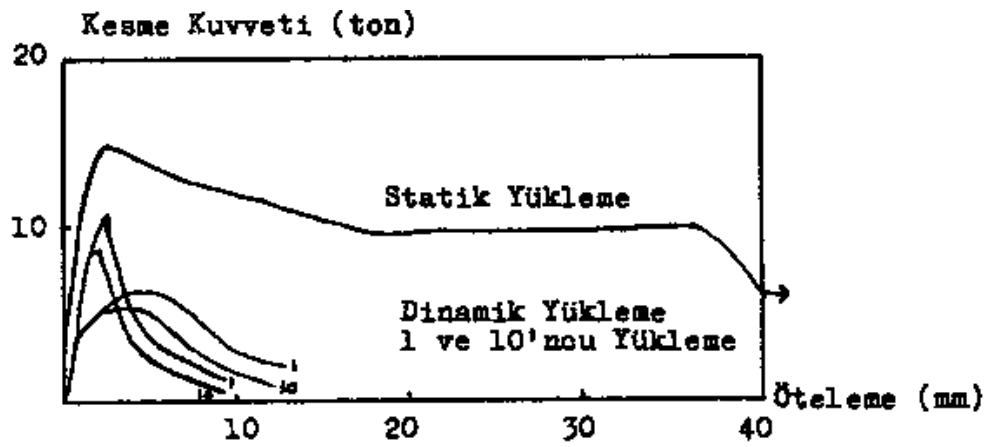
Şekil 6.6 Birleşim yerlerinin kesme davranışı



Şekil 6.7 Birleşim yerindeki donatının miktarı ve eksenel yükün değişmesi ile kesme dayanımında değişme



Şekil 6.8 Maio tarafından denenen birleşim yeri detayı



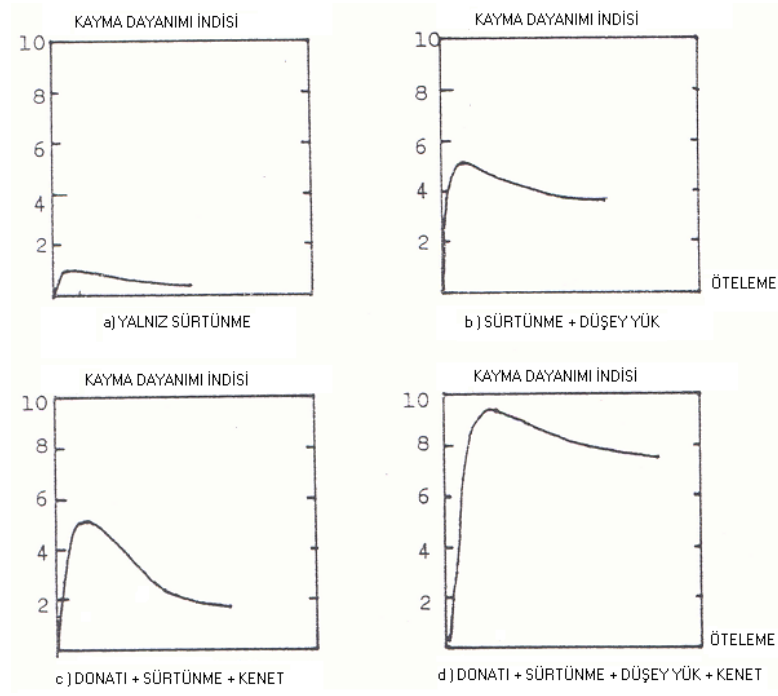
Şekil 6.9 Maio tarafından elde edilen birleşim yeri davranışı

Bu deneylerin ışığı altında bu cins ek yerlerinin kesme dayanımı için şöyle bir model geliştirilebilir. Yüklemenin başında birleşim yerindeki beton ile pano arasındaki aderans arasındaki kesme kenetinin 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.

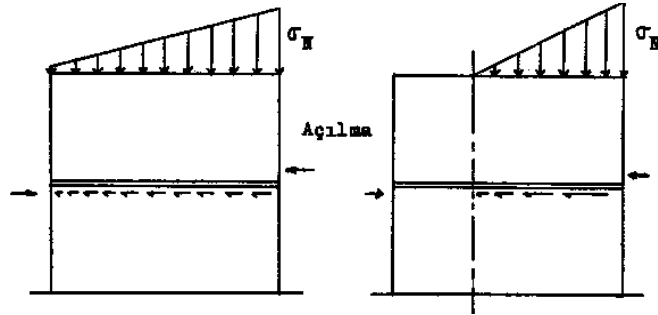
Donatının katkısı panoların çok büyük öteleme, 5 cm'den fazla, yapması durumunda sürtünmeye göre çok daha önemli olmaya başlar. Çünkü donatı o kadar büyümüştür ki eğilme rijitliği ya da kama etkisinden çok çekme dayanımı ile harekete karşı koymaya başlar. Bu deneylerden, panolu yapılarda donatıya bağlı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

Şekil 6.10 da 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.



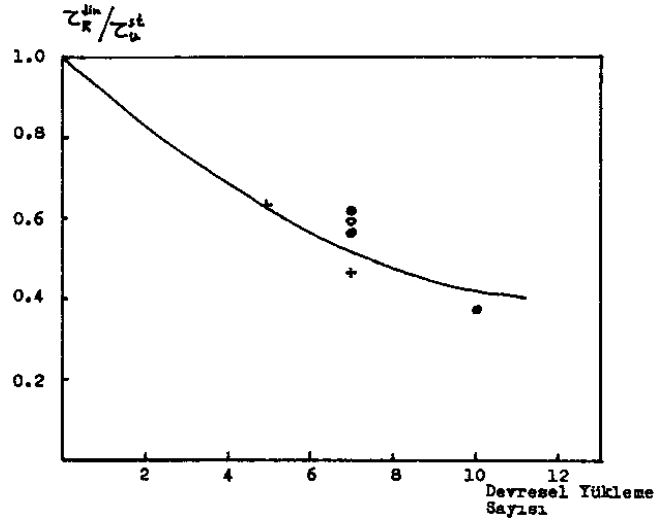
Şekil 6.10 Değişik birleşim yeri mekanizmalarının rölatif kesme dayanımları

Panoların birleşim yerlerinin kesme dayanım deneyleri eşit yayılı düşey yükler altında yapılmaktadır. Bu, 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 ayrılabilirler. Bu durumda sürtünme yüzeyi azaldığından, kesme kuvveti taşıma gücü de azalır. “Şekil 6.11” 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 6.11 Eşit yayılı olmayan düşey basınç altında yatay birleşim yerinde gelişen kesme dayanımı

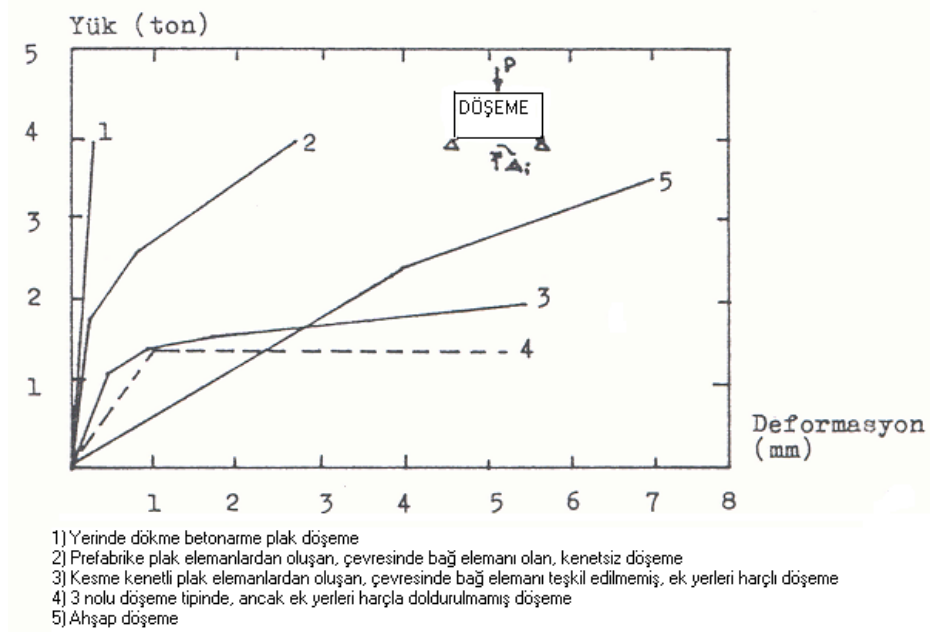
Şekil 6.12 de Tassios ve Tsoukantas tarafından halkalı donatı ile teşkil edilmiş bir birleşim yerinin devresel yüklemelerden sonra ek yerinde kalan kesme dayanımı verilmiştir (τ_R^{din}). Görüleceği gibi 8 - 10 devresel yüklemeden sonra ek yerinin kesme dayanımı, başlangıç dayanımının % 40'ı civarında 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 depremten sonra birleşim yerinin kesme dayanımında % 50 kadar azalmanın mümkün olabileceği görülmektedir.



Şekil 6.12 Kalan kesme dayanımının başlangıç dayanımına oranı

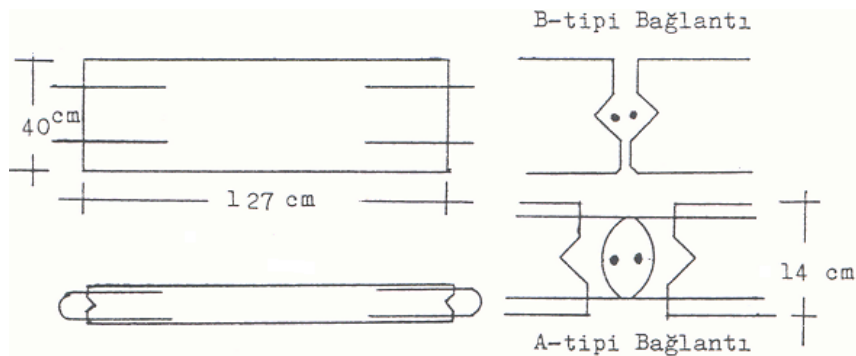
6.4 Döşeme Plaklarının Ek Yerleri Üzerindeki Deneyler

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, döşemelerin diyafram davranışı önem kazanmaktadır. Diyafram özelliği, döşemelerin depremlerden gelen yatay yükleri rijitlikleriyle orantılı olarak taşıyıcı düşey eleman olan kolon veya perdelerle aktarması olarak tanımlanır. Bu özelliğin yerine getirilebilmesi için döşemelerin belli bir rijitliğe sahip olmaları gerekir. Yerinde dökme betonarme binalarda döşemeler bu rijitliğe sahip olduklarından, depremlerden gelen yatay yükleri rijitlikleriyle orantılı olarak esas taşıyıcı sisteme aktardıkları kabul edilir. Ancak prefabrike plaklardan oluşan döşemelerin diyafram özelliğini gösterebilmesi için plakların birleşim yerlerinin basınç kuvvetini aktarabilecek özellikte teşkil edilmeleri gerekmektedir. Şekil 6.13 de değişik döşeme tiplerinin düzlemleri içinde etkiyen kuvvetler altındaki yük ve deformasyon özellikleri verilmiştir.

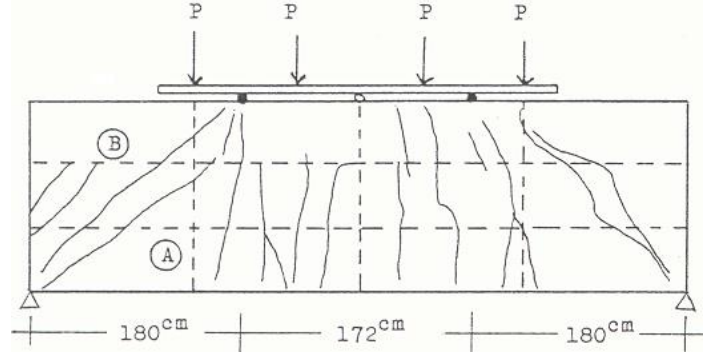


Şekil 6.13 Değişik tip döşemelerin yatay yükler altında davranışı

Ayrıca Şekil 6.14 ve Şekil 6.15 de görüldüğü gibi yükleme yönüne dik kenarları geçmeli ve yükleme yönüne paralel kenarlarında halkalı donatılı ve betonlu olarak bağlanmış ve çevresinde gergi elemanları bulunan bir döşeme, düzlemi içinde yüklenerken davranışları incelenmiş ve sonuç olarak bu tür plakların monolitik betonarme plaklar gibi çalıştıkları anlaşılmıştır. Ancak prefabrike panolardan oluşan döşemelerde panolar arasında, düşey yüklerden dolayı oluşan momentlerin açılmalara ve çatlaklara yol açmasını beklemek gerekir. Yapıdaki farklı oturmalar ve ek yeri ile hazır dökme döşeme panolarının betonları arasındaki farklı rötreten dolayı da döşemede çatlaklar oluşacaktır. Dolayısıyla hazır plaklardan oluşan döşemelerin yerinde dökme plak döşemeler kadar rijit olmayacakları ve bunun prefabrike yapıların tasarımında dikkate alınmaları gerekmektedir.”



Şekil 6.14 Deneyde kullanılan döşeme plağının hazır elemanları



Şekil 6.15 Döşeme paneli yükleme biçimi

6.5 Panolu Yapıların Tasarımı

Prefabrike panolu yapılar yatay ve düşey ek yerlerinin taşıma gücü ve enerji tüketme kapasitesine göre değişik davranışlar gösterirler. Buna göre panolu prefabrike yapıların değişik davranışlara göre tasarım yaklaşımları oluşturulmuştur. Prefabrike panolu yapıların yerinde dökme betonarme yapılar kadar deprem güvenliğine sahip biçimde tasarımında da birkaç seçenek bulunur. Bunlar panolu yapıların yerinde dökme perde duvarlı yapılar kadar monolitik, sünek ve rijit yapılması; bu durumda yapıda yerinde dökme betonarme yapı kadar düktilite sağlanır. Prefabrike panolu yapının hiç hasar görmeden elastik bölgede kalacak biçimde yatay yük taşıma gücünde olması, bu prefabrike yapının depremde oluşabilecek en büyük yatay yüke elastik olarak karşı koyacak biçimde tasarlanması demektir. Diğer seçenekler ise yapıyı oluşturan panolar arasındaki yatay ve düşey birleşim yerlerinin tasarımına ve davranışına bağlı tasarım seçenekleridir.

6.5.1 Monolitik Yapı Tasarımı

Monolitik prefabrike yapı tasarımında hedef, prefabrike yapının aynen düktil yerinde dökme betonarme perde duvarlı yapıların davranışına benzer davranışa sahip olmasıdır. Düktil yerinde dökme betonarme perde duvarlar, yüksek taşıma gücüne ve deformasyon özelliklerine sahiptirler. 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 ise yapının zemin katında ve zeminden yukarı birkaç katında panoların uçlarında sınırlayıcı elemanlar bulunmalıdır, panoların uçları daha kalın olmalı ya da yandan destek sağlanması ve dengesizlikten dolayı erken yıkılması önlenmelidir.

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

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

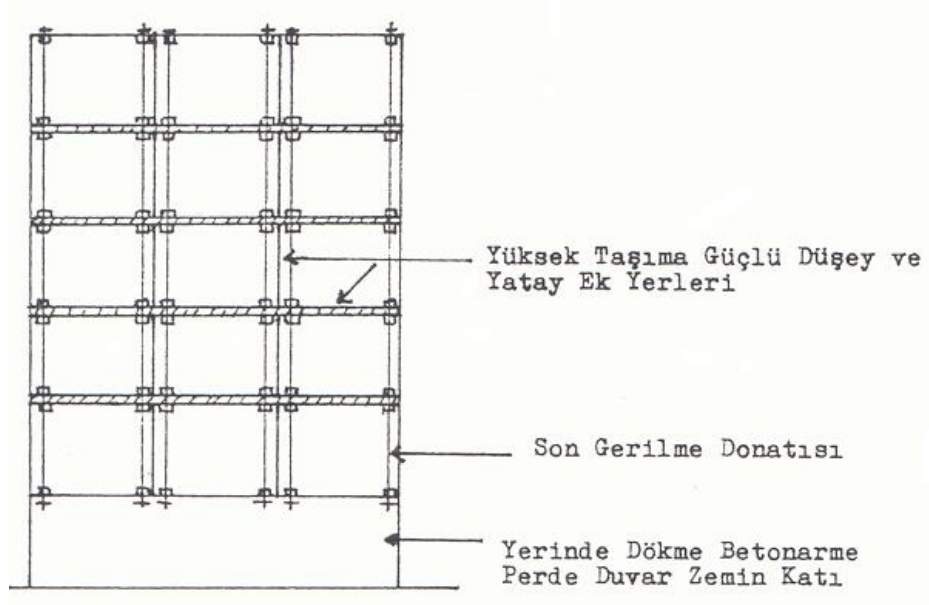
d) Duvar panolarının temelden kaymasını önleyecek biçimde özellikle alt katlarda yatay birleşim yerlerine yayılı kesme donatıları konmalı ve donatıların temelden ankrajı uygun biçimde sağlanmalıdır.

Yukarıda açıklanan bilgiler ışığında, 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 6.16”



Şekil 6.16 Prefabrike panolu yapıların yerinde dökme betonarme perde duvarlar gibi davranmasını sağlayacak ayrıntılar

6.5.2 Yapının Depremde Elastik Kalmasını Sağlayan Tasarım

Elastik davranan yapılardaki amaç, yapının ekonomik ömrü içerisinde maruz kalacağı en şiddetli depremde herhangi bir çatlağın ve kalıcı deformasyonun oluşmamasıdır. Yapının herhangi bir yerinde sünek davranış beklentisi yoktur. Yapıda oluşabilecek en büyük kuvvetlere, hiçbir hasar görmeden karşı koyması beklenir. Bu tür davranışın sağlanabilmesi için birleşim yerlerinin ve panoların olabildiğince yüksek taşıma güçlü olarak yapılması gerekir. Bu tür davranışın sağlanması için gerekli yatay hesap kuvvetleri oldukça büyük seçilmelidir.

Prefabrike panolu yapının en şiddetli depremde bile hiçbir hasar görmemesi isteniyorsa, deprem yatay kuvveti gerçek bir depremde oluşan düzeyde olmalıdır. Yatay yük, normal yerinde dökme sünek betonarme yapılara göre en az 2 - 3 kat daha büyük alınmalıdır. Bu tür rijit yapıların temelinde oluşacak devrilme momentine karşı koyabilecek önlemlerin de alınması gerekir. Yapıda ek yerlerinin kritik oluşları nedeni ile 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 gerekir. Aynı biçimde düşey birleşim yerlerinin de çatlamayacak biçimde tasarlanmaları gerekir.

6.5.3 Zayıf Yatay Ek Yerleri Olan Yapı Tasarımı

Alt ve üst uçları pürüzsüz olan ve ek yerinde bağlanan donatısı olmayan panolarda yatay ek yeri birleşimleri zayıf olur. Zayıf yatay ek yeri olan yapılarda yatay yükler altında kaymalar oluşur. Bu tür kaymalar yapıyı depremin yer hareketinden yalıtabildiği analitik olarak gösterilmiştir. Ancak bu tür kaymalar yapıda kalıcı olurlar ve giderek tek yönde önemli boyutlara ulaşabilirler. Bu durum yapının güvenliğini tehlikeye sokar. Ayrıca kaymaların duvar düzlemi dışına doğru olabilme tehlikesi de vardır. Sonuç olarak duvar, düzlemi dışına devrilebilir. Ayrıca büyük kalıcı kaymalar yapıda ikinci mertebeden momentler oluşturacağından temelde ve katlarda önemli ek devrilme momentleri oluşacaktır. Yatay ek yerlerinin aynı zamanda düşey yük taşıyan yerler olması onları kritikleştirmekte ve kritik bir yerde de kalıcı kaymalar yaparak deprem enerjisinin tüketimi güvenilir görünmemektedir.

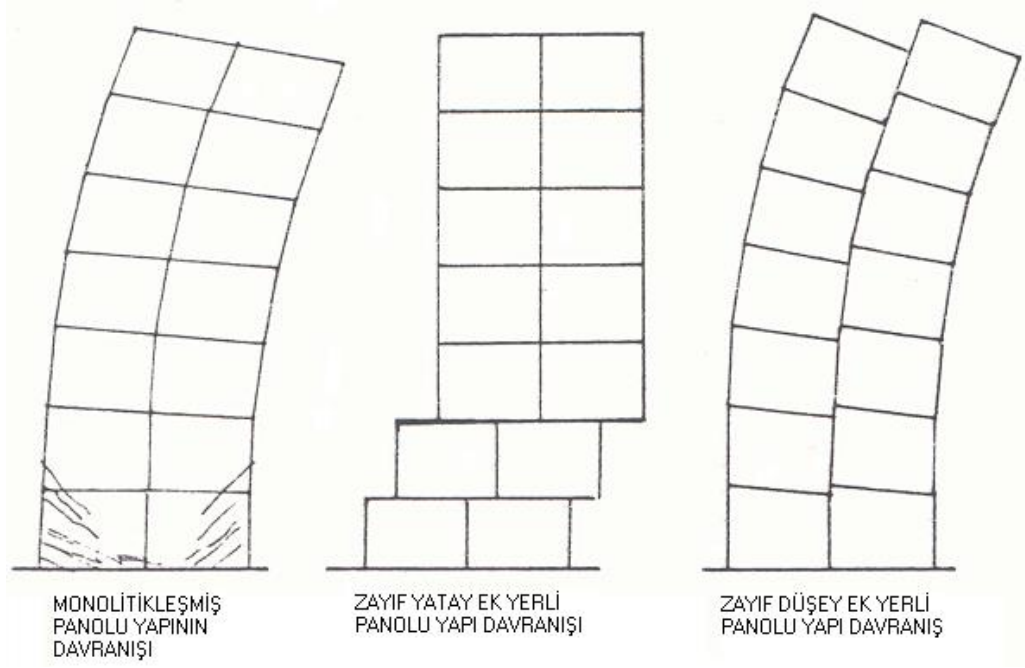
6.5.4 Düşey Ek Yerleri Zayıf Olan Yapı Tasarımı

Günümüzde uygulanan prefabrike panolu yapı sistemlerinde genel olarak yatay ek yerleri düşey ek yerlerinden daha güçlü olmaktadır. Yatay ek yerlerine etkiyen düşey yükler buralarda bir tür son gerilme etkisi sağlayarak, ek yerinin kesme kuvveti ve

moment taşıma gücünü artırır. Deneysel çalışmalarda 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, bu bakımdan düşey ek yerleri daha zayıf olur. Depremlerden elde edilen gözlemler, düşey ek yerlerinde çatlamanın daha önce olduğu şeklindedir. Özellikle panoların kenarlarına yakın yerlerde açılmış olan kapı ve pencere boşlukları bu tür çatlakların olduğu yerlere örnek olarak verilebilir. Bu gibi panoların düşey bağlantılarının zayıf olması sonucu, düşey ek yerlerinde depremin hemen başında olan çatlamlar üst üste dizilmiş paralel pano sıraları arasında büyük sürtünme kuvvetleri oluştururken, önemli miktarlarda da enerji tüketilebilmektedir. Şekil 6.17 de prefabrike panolu sistemlerin tasarım seçeneklerine göre deprem davranışları gösterilmiştir.

Genel olarak bu sistemler incelendiğinde şu sonuçlara varılır;

- a) Prefabrike yapıların tasarımında kullanılacak yatay kuvvetlerin yerinde dökme yapılar için öngörülenden daha büyük olması gerekir. Çünkü her türlü prefabrike yapıların ek yerleri yerinde dökme yapılar kadar rijit ve enerji tüketebilecek güçte değildir. Bu durum deneysel olarak saptanmıştır.
- b) 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 tasarlanmalarını gerekir. Bu ise pano ve yatay ek yerlerinin, düşey ek yerlerine göre iki kat kadar daha büyük yatay kuvvetlere göre tasarlanmalarını 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 birbirlerine son gerilme ile bağlanması ya da üzerlerine 3 - 5 cm kalınlığında bir tabliye dökülerek monolitik özelliğe sahip olmaları sağlanmalıdır.



Şekil 6.17 Prefabrike panolu yapıların deprem davranışları

6.6 Prefabrike Panolu Yapılarda Gözlenmiş 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 artık iyice bilinmektedir. Son depremler sonrasında da bu sistemler yakından incelenmiş ve son derece başarılı bir sınav verdikleri gözlenmiştir [27].

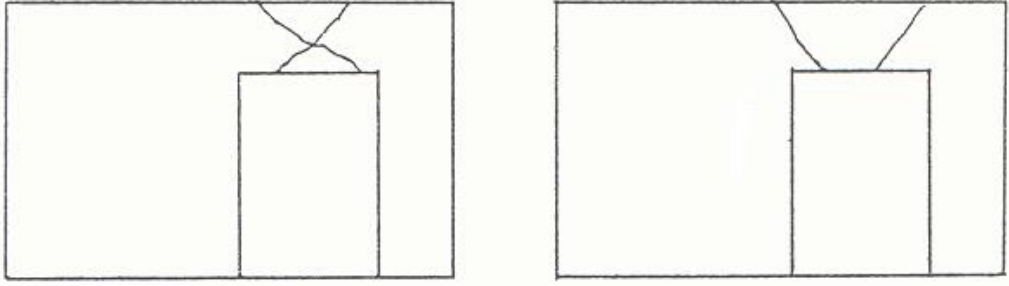
Günümüze kadar prefabrike panolu sistemlerin etkilendiği şiddetli deprem sayısı fazla değildir. Bu depremleri meydana geldikleri tarih sırasına göre aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz;

- a) 1977 Romanya Vrancea depremi,
- b) 1979 Adriyatik kıyısındaki Karadağ depremi,
- c) 1988 Ermenistan depremi,
- d) 1999 Marmara depremi.

1977 yılında meydana gelen Romanya depreminde, prefabrike panolu yapıların genellikle yeterli davrandıkları gözlenmiştir [28]. 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

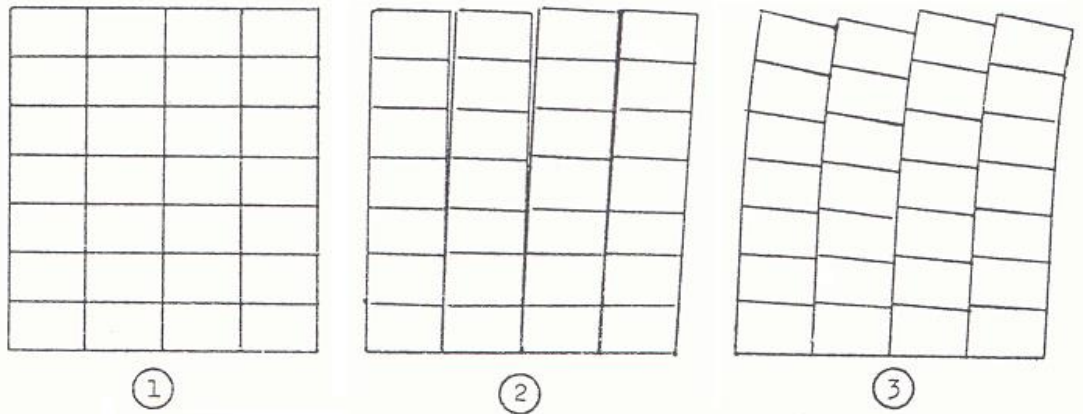
geniş ($>1\text{mm}$) çatlaklar oluşmuştur. Öte yandan Şekil 6.18 de görüldüğü gibi kapı boşluklarının üzerinde lento biçimindeki yerlerde kesme çatlakları gözlenmiştir [29].

Bu depremden sonra panolu yapıların titreşim periyotlarında % 20 - 30 oranında bir artış olmuştur [28]. Bu artışın sebebi olarak ek yerlerindeki yumuşama, çatlama ve milimetre boyutunda kaymalar gösterilebilir. Periyotların artışı sonucunda yapıların rijitliğinde ve elastisite modülünde % 45 - 55 oranında bir azalma oluşmuştur. Bu arada yumuşak zemin üzerinde yer alan yapılarda bu artışın daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu bir bakıma temel malzemesinin sıkışmasının ya da temelde dönmenin oluşturduğu bir periyot artışı olarak nitelenebilir [17].



Şekil 6.18 Romanya depreminde hasarlar

Prefabrike panolu yapıların geçirdiği ikinci önemli deprem deneyimi 1979 yılında meydana gelen Karadağ depremidir. Velkov'a göre bu depremde panolu yapılarda çatlakların oluşması şöyle bir sıra izlemiştir. "Şekil 6.19" [30];



Şekil 6.19 Karadağ depreminde panoların davranışı

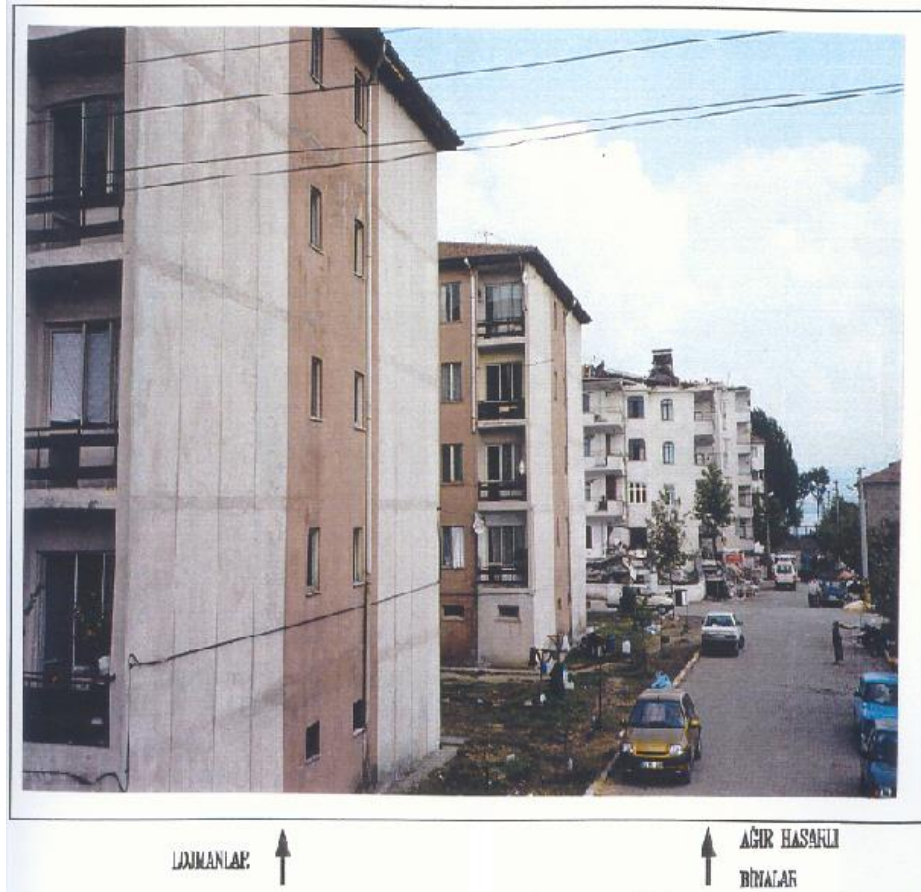
Önce panolar arasındaki düşey ek yerlerinde çatlama başlamış, üst üste dizilmiş pano dizileri birbirlerinden ayrıldıktan sonra her bir düşey pano kulesi eğilme ile

zorlanmaya başlamış ve panolar arasındaki yatay ek yerlerinde çatlaklar ve açılmalar oluşmuş ve sonuç olarak ek yerindeki yerinde dökme beton ezilmiştir.

Panolu yapıların geçirmiş olduğu üçüncü deprem ise bu sistemlerin çok yaygın olarak kullanıldığı ve 1988 yılında meydana gelen Ermenistan depremidir. Bu depremde prefabrike çerçeve sistemler ne yazık ki kötü bir sınav vermiş bunun sonucunda da önemli sayıda can ve mal kaybı oluşmuştur. Bunun yanında prefabrike panolu sistemler yüksek dayanımlarından ve rijitliklerinden dolayı iyi sınav vermişlerdir ve bu tür sistemle inşa edilen yapılarda önemli deprem hasarı oluşmamıştır [31].

Son olarak prefabrike panolu yapıların 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. Şekil 6.20 de Gölcük-Bahçecik'te yer alan göçmen konutları gösterilmiştir. Bu konutlar her iki doğrultuda boşluklu öngerilimil paneller kullanılarak, beş katlı olarak yapılmışlardır. Prefabrik konutlarda herhangi bir yapısal hasar görülmezken, çevrede göçmüş veya ağır hasarlı yapılara rastlanılmıştır.

Önüretimli panellerden oluşan çok katlı yapılarda, panellerin iki doğrultuda yeterli perde alanını sağlaması nedeniyle hasar oluşmamıştır. Sonuç olarak bu yapıların sağlıklı bir davranış sergilediği söylenebilir [32].



Şekil 6.20 Marmara depreminde Bulgar Göçmen lojmanları

7. YÖNETMELİKLERDEKİ DEPREM HESAPLARI

Bu bölümde, ülkemizde kullanılan ABYYHY (98) [33], A.B.D.'de kullanılan Uniform Building Code (97) [34] ve Avrupa Birliği Ülkelerinde kullanılan Eurocode 8 [35] deprem yönetmeliklerinin ve ayrıca prefabrike yapılar için uygulanacak özel şartların genel bir özeti sunulmuştur.

7.1 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

Ülkemizde kullanılan ABYYHY 98'in amacı, deprem yer hareketlerine maruz kalacak bina ve bina türü yapıların tamamının veya bölümlerinin depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli minimum koşulları tanımlamaktır.

7.1.1 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında ABYYHY 98'de üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar; Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemidir. Burada sadece Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi özetlenecektir.

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yüğü (taban kesme kuvveti) V_t , aşağıda gösterilen formülle hesaplanır;

$$V_t = W \cdot A(T_1) / R_a(T_1) \quad (7.1)$$

Bu değer $0.10A_0IW$ değerinden küçük olmamalıdır.

$A(T_1)$: Spektral İvme Katsayısı

$R_a(T_1)$: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, Denk. (7.3) ve (7.4)'de verilen formüllerle hesaplanır.

A_0 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı, değeri Tablo 7.4 de verilmiştir.

I : Bina Önem Katsayısı, değeri Tablo 7.5 de verilmiştir.

W : Bina Toplam Ağırlığı, değeri aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$W = \sum g_i + nq_i \quad (7.2)$$

Burada, n, Hareketli Yük Katılım Katsayısı ve değerleri Tablo 7.1 de verilmiştir. N, toplam kat sayısı, g_i ve q_i , binanın i'inci katındaki toplam sabit ve hareketli yüklerdir. Ayrıca toplam ağırlık hesaplanırken, kar yüklerinin % 30'u sabit yük olarak göz önüne alınmalıdır.

$$R_a(T) = 1.5 + (R-1.5)T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (7.3)$$

$$R_a = R \quad (T > T_A) \quad (7.4)$$

Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, ' $R_a(T)$ ', çeşitli taşıyıcı sistemler için farklı, Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R'ye ve zemin sınıfına göre değişen Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A , T_B 'ye göre hesaplanır. Bu değerler Tablo 7.2 ve Tablo 7.3'de verilmiştir.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, ' $A(T)$ ', aşağıda verilen formülle hesaplanır.

$$A(T) = A_0IS(T) \quad (7.5)$$

T, Bina Doğal Periyodu olarak tanımlanır. Spektrum Katsayısı, ' $S(T)$ ', aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

$$S(T) = 1 + 1.5T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (7.6)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (7.7)$$

$$S(T) = 2.5(T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (7.8)$$

$$S > 0.10R \quad (7.9)$$

7.1.2 Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

Toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir ve Denk. (7.10)’da gösterilen formülle hesaplanır.

$$V_t = \Delta F_N + \Sigma F_i \quad (7.10)$$

$H_N > 25$ m için binanın N’inci katına (en üst kat) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N ’in değeri, birinci doğal titreşim periyodu T_1 ’e bağlı olarak Denk. (3.11)’deki formüle göre belirlenmelidir. Ancak bu değer $0.2V_t$ ’i aşmamalıdır. Burada $H_N \leq 25$ m için $\Delta F_N = 0$ alınmalıdır. H_N , binanın temel üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliğidir. Ancak bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren ölçülen toplam yüksekliktir.

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \quad (7.11)$$

Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N’inci (en üst kat) kat dahil olmak üzere, bina katlarına aşağıdaki formülle dağıtılır:

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) w_i H_i / \Sigma (w_j H_j) \quad (7.12)$$

7.1.3 Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması

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

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (7.13)$$

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 gösterir.

Her bir deprem doğrultusu için, hesaplanan gerekli kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri (Δ_i)max , Denk. (7.14) ve (7.15)’e göre hesaplanan değerlerden elverişsiz olanını sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035 \quad (7.14)$$

$$(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 / R \quad (7.15)$$

Denk. (7.14) ve (7.15)’de verilen koşullardan birinin binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği arttırılarak deprem hesabı tekrarlanmalıdır.

7.1.4 Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi

Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde $H_N \leq 25$ m koşulunu sağlayan binaların, üçüncü ve dördüncü derece deprem bölgelerinde, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu, aşağıdaki formülle hesaplanabilir;

$$T_1 = C_t * H_N^{3/4} \quad (7.16)$$

Buradaki C_t değeri, bina taşıyıcı sistemine bağlı olarak aşağıdaki şekillerde belirlenir.

a) Deprem yüklerinin tamamının betonarme perdelerle taşındığı binalarda C_t değeri Denk. (7.17)’deki gibi hesaplanır;

$$C_t = 0.075 / A_t^{1/2} \leq 0.05 \quad (7.17)$$

Burada A_t eşdeğer alanı, aşağıdaki şekilde hesaplanır. (l_{wj} / H_N) oranının en büyük değeri 0.9 olarak göz önüne alınır.

$$A_t = \sum A_{wj} [0.2 + (l_{wj} + H_N)^2] \quad (7.18)$$

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.

7.1.5 Prefabrike Betonarme Binalar İçin Özel Kurallar [36]

a) Pim bağlantısı bulunan binalar, planda her iki doğrultuda yerleştirilmiş yerinde dökme perde duvarlarla inşa edilmelidirler. Bu perde duvarlar bütün deprem yükünü yalnız başlarına taşıma kapasitesine sahip olmalıdırlar. Bu kural tek katlı kolon kiriş birleşim yerleri mafsallı çerçeve sistemler için geçerli değildir. Fakat bu tür yapılar oldukça düktil olarak dizayn edilmelidirler.

b) Moment aktarabilen prefabrike kolon birleşimlerinin dayanımının ve düktilitesinin hesaplandığı analitik sonuçları, depremden dolayı oluşabilecek tekrarlı ve tersinir

yükleri monolitik kolon birleşimi gibi karşılayabildiğini, literatürdeki test sonuçları veya deney sonuçları ile ispat edilmelidir.

c) Prefabrike taşıyıcı elemanların birleşim yerleri yeterli derecede, plastik mafsallaşmanın oluşabileceği bölgeden uzakta teşkil edilmeleri gerekmektedir.

d) Birleşim yerleri, dayanımlarında ve düktil özelliklerinde herhangi bir azalma olmadan, en büyük moment, kesme kuvveti ve eksenel yüklerin transferini sağlayabilecek dayanımda olmalıdırlar. Hesap aşamasında birleşimlere etkiyen sismik kuvvetler, kaynaklı birleşimlerde 1.5 kat, diğer tüm birleşimlerde ise 1.2 kat daha fazla olarak göz önüne alınmalıdır.

e) Mimari elemanlara örneğin dış ve bölme panel duvarlarına etkiyecek deprem yükü, (F_w), aşağıdaki formülle hesaplanacaktır;

$$F_w = A_0 I W_w \quad (7.19)$$

W_w : Duvar ağırlığı.

f) Binalardaki mekanik ve elektrik donanımlarının ve bunların bina taşıyıcı sistem elemanlarına bağlantılarının hesabında kullanılacak yatay deprem yükü ' F_w ', aşağıdaki formülle hesaplanacaktır;

$$F_w = W_e A_0 I (1 + H_i / H_N) \quad (7.20)$$

W_e : Mekanik veya elektrik donanımının ağırlığı.

H_i : Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren yüksekliği.

H_N : Binanın temel üstünden itibaren yüksekliği.

Tablo 7.1 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

Tablo 7.2 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Seviyesi	
	Normal	Yüksek
Yerinde Dökme Betonarme Sistemler		
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

Tablo 7.3 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

Tablo 7.4 Etkin yer ivmesi katsayısı

Deprem Bölgesi	A ₀
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 7.5 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 binaları ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları, terminaller, 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

Tablo 7.6 Zemin grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penet. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Basınç Daya.(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 7.7 Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 5.5'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

7.2. UBC 97’de Deprem Hesapları

7.2.1 Statik Kuvvet Yöntemi

Göz önüne alınan doğrultuda, etkiyen toplam taban kesme kuvveti, V , aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$V = W C_v I / R T \quad (7.21)$$

$$V < 2.5 W C_a I / R \quad (7.22)$$

$$V > 0.11 C_a I W \quad (7.23)$$

Bu değerler, dördüncü sismik bölge için $0.8 W Z N_v I / R$ değerinden küçük olmamalıdır. Burada W , binanın toplam ağırlığını ifade etmektedir. Ayrıca bu değer içerisinde kar yükünün $1.44 \text{ kN} / \text{m}^2$ ’den fazla olduğu bölgelerde, kar yükünün % 25’i ölü yük olarak bu değer içinde yer alır. Yukarıdaki formüller içerisindeki T , yapı periyodunu, R ise yapı davranış faktörünü simgelerler. Sismik bölge faktörü Z , sismik katsayı C_v ve C_a , yakın kuvvet faktörü N_v , N_a , ve I bina önem katsayılarıdır. Bunların değerleri, Tablo 7.8, 7.10, 7.12, 7.11, 7.13, 7.15 de verilmiştir.

7.2.2 Taban Kesme Kuvvetinin Düşey Dağılımı

Toplam kuvvet bina yüksekliği boyunca aşağıdaki formüllerle dağıtılmaktadır.

$$V = F_t + \sum F_i \quad (7.24)$$

En üstte toplanmış kuvvet F_t , aşağıdaki formülle tanımlanır;

$$F_t = 0.07 T V \quad (7.25)$$

F_t değeri, $0.25V$ ’i aşmamalıdır ve T ’nin 0.7 saniye veya daha az olduğunda sıfır olarak düşünülmelidir. Taban kesme kuvvetinin arta kalan kısmı, n ’inci katı da kapsayarak yapının bütün yüksekliği boyunca dağıtılmalıdır ve aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$F_x = (V - F_t) * W_x h_x / \sum W_i h_i \quad (7.26)$$

W_i , W_x : W ’nin h_i , h_x yüksekliğine karşılık gelen kısmı.

7.2.3 Yapı Periyodunun Belirlenmesi

Bütün binalar için, T'nin değeri yaklaşık olarak aşağıda gösterilen formülle bulunur.

$$T = C_t * h_N^{3/4} \quad (7.27)$$

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 alınabilir. Yukarıda belirtilen formüldeki h_N , binanın toplam yüksekliğini ifade eder.

Ancak, doğal titreşim periyodu, bilgisayar analiziyle, serbest titreşim çözümü veya Rayleigh Metodu kullanılarak belirlenmelidir.

7.2.4 Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması

Temel periyodu 0.7 saniyeden küçük olan binalarda, Δ_m kullanılarak hesaplanan kat yerdeğiştirmesi, kat yüksekliğinin 0.025 katını aşmamalıdır. Temel periyodu 0.7 saniye veya daha büyük olan binalarda, hesaplanan kat yerdeğiştirmesi kat yüksekliğinin 0.020 katını aşmamalıdır. Maximum inelastik davranış deplasmanı Δ_m hesaplanırken, ikinci mertebe etkileri göz önünde bulundurulmalıdır.

$$\Delta_m = 0.7 R \Delta_s \quad (7.28)$$

Δ_m : Maximum inelastik davranış deplasmanı. Bu, yapıya dizayn yer hareketi etkidiğinde ortaya çıkan değerdir.

Δ_s : Dizayn davranış deplasmanı. Bu değer yapıya dizayn sismik kuvveti etkidiğinde bütün katlarda oluşan deplasmandır.

7.2.5 Prefabrike Yapılar İçin Özel Şartlar [36]

a) Birleşimlere etkiyecek dizayn yatay sismik kuvveti, F_p , aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$F_p = 4 C_a I_p W_p \quad (7.29)$$

Alternatif olarak, “ F_p ” aşağıdaki şekilde de hesaplanabilir;

$$F_p = (a_p C_a I_p / R_p) * (1 + 3h_x / h_r) W_p \quad (7.30)$$

F_p değeri, $0.7C_aI_pW_p$ değerinden düşük olamaz ve ayrıca $4C_aI_pW_p$ değerinden de büyük olamaz. Bu formülde h_r , yapının çatı yüksekliğini, h_x ise elemanların yüksekliğini göstermektedir.

b) Prefabrik panel birleşimlerine ve mekanik malzemelere gelen dizayn yatay sismik kuvveti, Denk. (7.29) ve (7.30) formülleriyle hesaplanır.

c) Yapı davranış faktörü, R , konsol prefabrike kolonların yatay dayanımları için 2.2 alınır.

Tablo 7.8 Sismik bölge faktörü

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

Tablo 7.9 Zemin profili özellikleri

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

Tablo 7.10 Sismik katsayı C_v

Zemin	Sismik Bölge Faktörü, Z				
Profili 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	0.32Nv
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	0.96Nv

Tablo 7.11 Yakın kuvvet faktörü Nv

Sismik	Sismik Kaynağa Yaklaşık Mesafe			
Kaynak				
Tipi	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	2.0	1.6	1.2	1.0
B	1.6	1.2	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

Tablo 7.12 Sismik katsayı Ca

Zemin	Sismik Bölge Faktörü, Z				
Profili					
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 7.13 Yakın kuvvet faktörü Na

Sismik	Sismik Kaynağa Yaklaşık Mesafe		
Kaynak			
Tipi	≤ 2 km	5 km	≥ 10 km
A	1.5	1.2	1.0
B	1.3	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

Tablo 7.14 Sismik kaynak tipleri

Sismik Kaynak Tipi	Sismik Kaynak Tanımı	Max.Moment t 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 7.15 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

7.3. Eurocode 8’de Sismik Dizayn Şartları

Eurocode 8, binaların dizayn ve inşasında ve sismik bölgelerdeki inşaat mühendisliği işlerinde uygulanır. Bu şartnamenin amacı, deprem olaylarında; insan hayatını korumak, hasar miktarını sınırlandırmak ve önemli yapıların korunmasını sağlamaktır.

7.3.1 Statik Kuvvet Yöntemi

Sismik taban kesme kuvveti, ‘ F_b ’, uygulanacak deprem doğrultusu için Denk. (7.31)’deki formülle belirlenir;

$$F_b = S_d * W \quad (7.31)$$

T : Binanın temel titreşim periyodu.

W : Yapının toplam ağırlığı. Ancak hesaplarda kar yükünün %20’si ölü yük olarak düşünülmelidir.

S_d : Dizayn spektrumu ve aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$S_d = \alpha S [1 + T / T_B \{ (\beta_0 / q) - 1 \}] \quad 0 \leq T \leq T_B \quad (7.32)$$

$$S_d = \alpha S \beta_0 / q \quad T_B \leq T \leq T_C \quad (7.33)$$

$$S_d = \alpha S \beta_0 / q [T_C / T]^{k_{d1}} \quad T_C \leq T \leq T_D \quad (7.34)$$

$$S_d = \alpha S \beta_0 / q [T_C / T]^{k_{d1}} [T_D / T]^{k_{d2}} \quad T_D \leq T \quad (7.35)$$

Dizayn spektrum, ‘ S_d ’, Denk. (7.34) ve (7.35) formüllerinde 0.20α ’dan küçük olmamalıdır.

α : Dizayn yer ivmesi a_g ’nin, gravite ivmesi g ’e oranıdır.

S : Zemin parametresi.

β_0 : Spektral ivme amplifikasyon faktörü.

k_{d1}, k_{d2} : Katsayılar.

T_B, T_C, T_D : Periyot sınırları. Değerleri Tablo 7.17 de verilmiştir.

q : Davranış faktörü. Değerleri Tablo 7.20 de verilmiştir.

7.3.2 Zeminlerin Sınıflandırılması

a) Zemin Sınıfı A

Kaya veya diğer jeolojik formasyonlar, kayma dalga hızları en az 800 m / s ile karakterize edilirler. Bunlar yüzeylerinde en fazla 5 m'lik zayıf malzeme tabakası içerirler. Sıkı yığılımlı kum, çakıl veya iyi konsolide olmuş kil, bunlar da onlarca metre kalınlığında olup mekanik özellikleri gelişmiş ve on metre derinlikte kayma dalga hızları en az 400 m / s olarak karakterize edilirler.

b) Zemin Sınıfı B

Orta daneli kum, çakıl veya orta sıkılıkta kil, on metre derinlikte kayma dalga hızları en az 200 m / s ile karakterize edilirler. Elli metre derinlikte dalga hızları 350 m / s'e çıkar.

c) Zemin Sınıfı C

Düşük kohezyonsuz zemin yığılımları ve/veya bazı yumuşak kohezyonlu tabakalar, en fazla 20 metre derinlikte kesme dalgası hızları 200 m / s ile karakterize edilirler.

7.3.3 Yatay Sismik Kuvvetlerin Dağılımı

Temel mod biçimi, yükseklik boyunca lineer olarak artan yatay yer değiştirme ile benzeştirilir, yatay kuvvet ' F_i ', Denk. (7.36) ile hesaplanır;

$$F_i = F_b [(z_i W_i) / (\sum z_j W_j)] \quad (7.36)$$

F_i : i'inci kata etkiyen yatay kuvvet.

z_i, z_j : temel üstünden m_i, m_j kısmının yüksekliği.

7.3.4 Bina Temel Periyodu

Eurocode 8'de binanın temel titreşim periyodunu bulmak için, yapı dinamiği (Rayleigh Metod) metodu önerilir. Ancak başlangıç dizayn aşamasında aşağıdaki yaklaşık formül kullanılır. Yüksekliği 80 m'e kadar olan yapılarda T 'nin değeri yaklaşık olarak Denk. (7.37)' ile belirlenir;

$$T = C_t * h_N^{3/4} \quad (7.37)$$

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 $C_t = 0.05$ olarak alınır. Bu formülde h_N , metre cinsinden binanın toplam yüksekliğini gösterir.

Alternatif olarak, yapı yüksekliği 80 m üstünde olan yapılarda T'nin tahmini değeri aşağıdaki formülle belirlenebilir;

$$T = 2d^{1/2} \quad (7.38)$$

d : metre cinsinden yapının en üst noktasının yatay yerdeğiştirilmesi.

7.3.5 Yerdeğiştirmelerin Sınırlandırılması

Eurocode 8'de yerdeğiştirmelerin sınırlandırılması kullanılabilir limit durum içindir. Burada iki ifade tanımlanmaktadır. Denk. (7.39)'daki formül, taşıyıcı olmayan elemanların gevrek olduğu yapılarda kullanılır. Denk. (7.40)'daki formül ise, taşıyıcı elemanların yapının deformasyonu ile ilişkisi olmayan binalarda kullanılır.

$$d_r / v = 0.004 * h \quad (7.39)$$

$$d_r / v = 0.006 * h \quad (7.40)$$

v ; azaltma faktörü, bu değer önem katsayısıyla ilişkilidir ve Tablo 7.18'de verilmiştir. d_r , katlar arası dizayn yerdeğiştirme değeri, d_s ile d_{s-1} farkı olarak hesap edilir. d_s , belirtilen noktanın yerdeğiştirmesini ifade eder ve aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$d_s = k_d * q_0 * d_e * \gamma_I \quad (7.41)$$

k_d : düktilite sınıf faktörü, Tablo 7.19 da gösterilmiştir.

q_0 : davranış faktörü, Tablo 7.20 de gösterilmiştir.

d_e : yapısal sistemdeki yerin yerdeğiştirmesi, elastik analizle tayin edilir.

γ_I : önem faktörü, Tablo 7.21 de gösterilmiştir.

7.3.6 Prefabrike Yapılar İçin Özel Kurallar [36]

a) Eurocode 8’de prefabrike yapı inşası için beş yapı tipi tanımlanmıştır;

1) Çerçeve Sistemler

2) Panel Sistemler

3) Karma Sistemler

4) Hücre Sistemler

5) Pendulum Sistemler; birleşimleri mafsallı endüstri tipi sanayi yapıları.

b) Prefabrike yapılar için, davranış faktörü q_p ’nin değeri aşağıdaki şekilde belirlenir;

$$q_p = k_p k_d q_o \quad (7.42)$$

$k_p = 1.0$ Birleşim yerlerinin kritik bölgeden uzak yerleştirildiği prefabrike sistemler.

$k_p = 0.75$ Enerji dağıtabilen sistemler veya güçlü birleşimlerle oluşturulan sistemler.

c) Prefabrike yapılar ve birleşimler aşağıdaki kurallara uymazlar, davranış faktörü q_o , 1.0 değerini almalıdır.

7.3.7 Prefabrike Yapılardaki Birleşimler İçin Özel Kurallar

a) Kritik bölgeden uzak oluşturulmuş birleşimler : Bu tip birleşimler kritik bölgeden birleşecek elemanların kalınlığından daha büyük bir mesafede teşkil edilmelidirler.

b) Güçlü birleşimler : Bu tip birleşimler uygun bir şekilde dizayn edildikleri takdirde, kritik bölgede oluşturulabilirler, böylece elastik olmayan davranış, birleşim bölgesi dışında sağlanmış olur.

c) Enerji dağıtabilen birleşimler : Bu tip birleşimler yerel düktilite kurallarını sağlayabilmeliler.

d) Kritik bölgede sismik durumlar altındaki prefabrike elemanlar arasındaki birleşimlerin dizayn dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$R_{pd} = R_d / (\gamma_{Rd} \gamma_{cycl}) \quad (7.43)$$

R_d : monotonik yükleme altındaki dizayn dayanımı

γ_{Rd} : ilave model-kesin olmayış faktörü

γ_{cycl} : azaltma faktörü, dayanımı azaltmak için hesaplanır

Eksenel dayanım ve yüksek, orta, düşük düktilite seviyeleri için γ_{Rd} sırasıyla, 1.2, 1.1, 1.0 değerlerini, kayma dayanımı ve yüksek, orta, düşük düktilite seviyeleri için γ_{Rd} sırasıyla, 1.35, 1.25, 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 değerini alır.

$$\gamma_{cycl} = 1 + 0.15q_p \geq 1.20 \quad (7.44)$$

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

e) Dış ve iç duvar panellerinin birleşimlerine etki eden kuvvet;

$$F_w = \{ \{ [3\alpha\gamma_I (1 + Z / H)] \} / \{ q_a [1 + (1 - T_w / T)] \} \} W_w \quad (7.45)$$

$q_a = 2.0$ iç veya dış duvarlar için davranış faktörü.

Z : yapının temeli üstünden itibaren duvarın yüksekliği.

H : yapının yüksekliği.

T_w : duvarın temel titreşim periyodu.

T : yapının temel titreşim periyodu.

f) Kritik bölge içerisinde yapılacak olan kolon-kolon birleşimleri ancak düşük düktilite sınıflarında izin verilir.

Tablo 7.16 Zeminlerin sınıflandırılması

Zemin	Tanım	Vs (m/s)
A	Kaya veya diğer jeolojik formasyon	>800
	Sıkık 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 sıklıkta kohezyonlu emin	<200

Tablo 7.17 Elastik davranış spektrumu parametrelerinin değerleri

Zemin	S	β_0	k(d1)	k(d2)	T(B)s	T(C)s	T(D)s
A	1.0	2.5	2/3	5/3	0.10	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 7.18 Azaltma faktörü, v

Önem kategorisi	I	II	III	IV
Azaltma faktörü, v	2.5	2.5	2.0	2.0

Tablo 7.19 Düktilite sınıfı faktörü, k(d)

Düktilite sınıfı	Yüksek	Orta	Düşük
k(d)	1.00	0.75	0.50

Tablo 7.20 Davranış faktörü, q₀

Yapı Tipi	q ₀
Çerçeve sistem	5.0
Dual sistem	Frame equivalent 5.0
	Wall equivalent, With coupled walls 5.0
	Wall equivalent, With uncoupled walls 4.5
Duvar sistem	Bağlanmış duvarlar ile 5.0
	Bağlanmamış duvarlar ile 4.0
Hücre sistem	3.5
Ters pendulum sistem	2.0

Tablo 7.21 Önem faktörü,

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

7.4 Yönetmeliklerdeki Deprem Yüklerinin İrdelenmesi

Bu bölümde, yukarıda incelenen üç yönetmelikteki deprem hesaplama yöntemleri kullanılarak, kat sayıları farklı yapıların deprem yükleri, farklı zemin cinsleri hesaplanıp tablolar halinde sunulmuştur. Daha sonra bu tablolardan yararlanılarak üç yönetmelik için ayrı ayrı grafikler oluşturulmuştur. ‘‘Tablo 7.22a’’, ‘‘Tablo 7.22b’’, ‘‘Tablo 7.23a’’, ‘‘Tablo 7.23b’’, ‘‘Tablo 7.24’’, ‘‘Şekil 7.1’’, ‘‘Şekil 7.2’’

Tablo 7.22a ABYYHY’de zemin cinslerine göre deprem yükleri

Kat Say.	Zemin	W (kN)	Hn (m)	T	T(A) (sn)	T(B) (sn)	Ra	I	Ao	S(T)	A(T)	Vt (kN)
2	Z1	12166,52	5,4	0,177	0,1	0,3	5	1	0,4	2,5	1	2433,3
3	Z1	18352,14	8,1	0,24	0,1	0,3	5	1	0,4	2,5	1	3670,43
4	Z1	24537,76	10,8	0,298	0,1	0,3	5	1	0,4	2,5	1	4907,55
5	Z1	30723,38	13,5	0,352	0,1	0,3	5	1	0,4	2,2	0,88	5407,32
6	Z1	36909,01	16,2	0,404	0,1	0,3	5	1	0,4	1,972	0,79	5822,76
7	Z1	43094,62	18,9	0,453	0,1	0,3	5	1	0,4	1,8	0,72	6205,62
8	Z1	49280,24	21,6	0,501	0,1	0,3	5	1	0,4	1,66	0,66	6544,42
9	Z1	55465,86	24,3	0,547	0,1	0,3	5	1	0,4	1,55	0,62	6877,77
2	Z2	12166,52	5,4	0,177	0,15	0,4	5	1	0,4	2,5	1	2433,3
3	Z2	18352,14	8,1	0,24	0,15	0,4	5	1	0,4	2,5	1	3670,43
4	Z2	24537,76	10,8	0,298	0,15	0,4	5	1	0,4	2,5	1	4907,55
5	Z2	30723,38	13,5	0,352	0,15	0,4	5	1	0,4	2,5	1	6144,68
6	Z2	36909,01	16,2	0,404	0,15	0,4	5	1	0,4	2,482	0,99	7328,65
7	Z2	43094,62	18,9	0,453	0,15	0,4	5	1	0,4	2,26	0,91	7791,51
8	Z2	49280,24	21,6	0,501	0,15	0,4	5	1	0,4	2,09	0,84	8239,66
9	Z2	55465,86	24,3	0,547	0,15	0,4	5	1	0,4	1,95	0,78	8652,67

Tablo 7.22b ABYYHY’de zemin cinslerine göre deprem yükleri

Kat Say.	Zemin	W (kN)	Hn (m)	T	T(A) (sn)	T(B) (sn)	Ra	I	Ao	S(T)	A(T)	Vt (kN)
2	Z3	12166,52	5,4	0,177	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	2433,3
3	Z3	18352,14	8,1	0,24	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	3670,43
4	Z3	24537,76	10,8	0,298	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	4907,55
5	Z3	30723,38	13,5	0,352	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	6144,68
6	Z3	36909,01	16,2	0,404	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	7382
7	Z3	43094,62	18,9	0,453	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	8618,92
8	Z3	49280,24	21,6	0,501	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	9856,05
9	Z3	55465,86	24,3	0,547	0,15	0,6	5	1	0,4	2,5	1	11093,17
2	Z4	12166,52	5,4	0,177	0,2	0,9	4,56	1	0,4	2,33	0,932	2486,67
3	Z4	18352,14	8,1	0,24	0,2	0,9	5	1	0,4	2,5	1	3670,43
4	Z4	24537,76	10,8	0,298	0,2	0,9	5	1	0,4	2,5	1	4907,55
5	Z4	30723,38	13,5	0,352	0,2	0,9	5	1	0,4	2,5	1	6144,68
6	Z4	36909,01	16,2	0,404	0,2	0,9	5	1	0,4	2,5	1	7382
7	Z4	43094,62	18,9	0,453	0,2	0,9	5	1	0,4	2,5	1	8618,92
8	Z4	49280,24	21,6	0,501	0,2	0,9	5	1	0,4	2,5	1	9856,05
9	Z4	55465,86	24,3	0,547	0,2	0,9	5	1	0,4	2,5	1	11093,17

Tablo 7.23a UBC(97)'de zemin cinslerine göre deprem yükleri

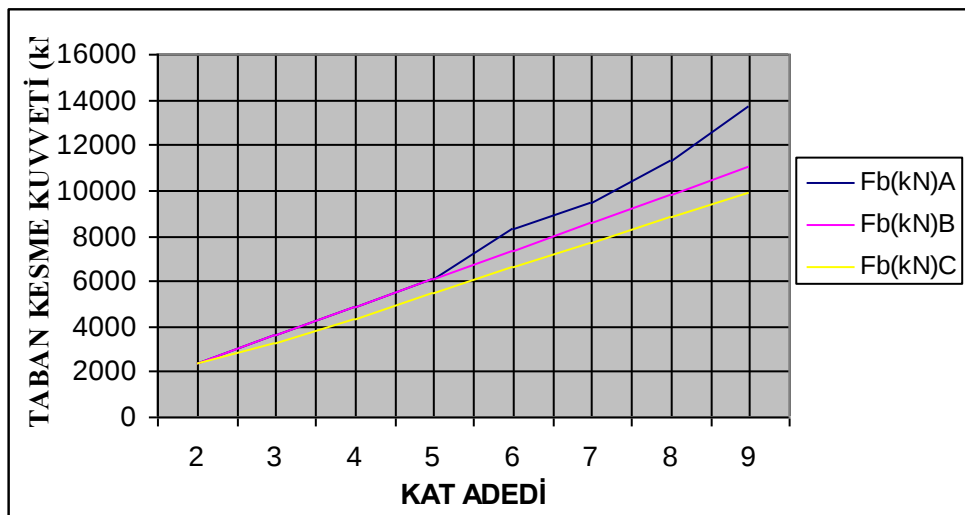
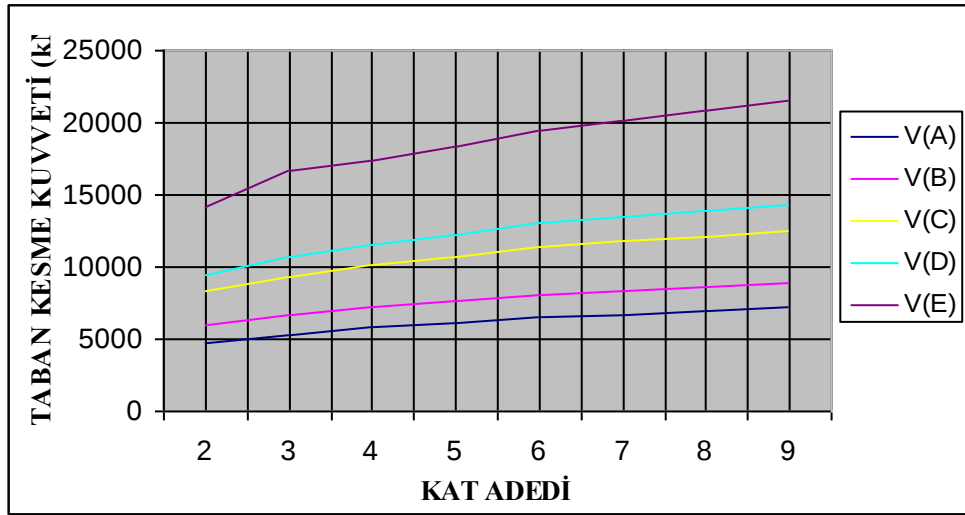
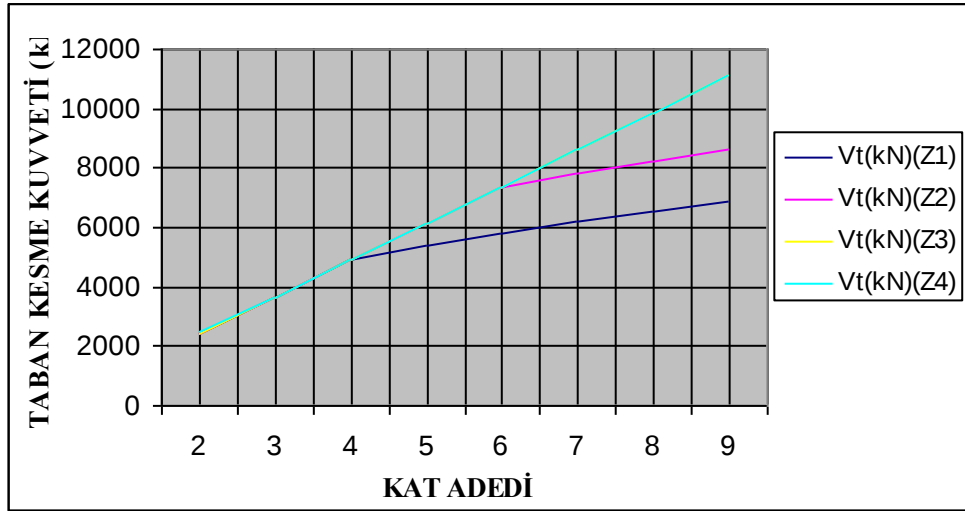
Kat Say.	Zemin	W (kN)	Hn (m)	Z	Nv	Na	Cv	Ca	T	R	V (kN)
2	S(A)	11800,39	5,4	0,4	1	1	0,32	0,32	0,177	4,5	4740,43
3	S(A)	17986,01	8,1	0,4	1	1	0,32	0,32	0,24	4,5	5328,66
4	S(A)	24171,63	10,8	0,4	1	1	0,32	0,32	0,298	4,5	5767,44
5	S(A)	30357,25	13,5	0,4	1	1	0,32	0,32	0,352	4,5	6132,16
6	S(A)	36542,87	16,2	0,4	1	1	0,32	0,32	0,404	4,5	6495,88
7	S(A)	42728,49	18,9	0,4	1	1	0,32	0,32	0,453	4,5	6706,77
8	S(A)	48914,11	21,6	0,4	1	1	0,32	0,32	0,501	4,5	6942,1
9	S(A)	55099,73	24,3	0,4	1	1	0,32	0,32	0,547	4,5	7162,36
2	S(B)	11800,39	5,4	0,4	1	1	0,4	0,4	0,177	4,5	5925,53
3	S(B)	17986,01	8,1	0,4	1	1	0,4	0,4	0,24	4,5	6660,82
4	S(B)	24171,63	10,8	0,4	1	1	0,4	0,4	0,298	4,5	7209,31
5	S(B)	30357,25	13,5	0,4	1	1	0,4	0,4	0,352	4,5	7665,21
6	S(B)	36542,87	16,2	0,4	1	1	0,4	0,4	0,404	4,5	8119,85
7	S(B)	42728,49	18,9	0,4	1	1	0,4	0,4	0,453	4,5	8383,46
8	S(B)	48914,11	21,6	0,4	1	1	0,4	0,4	0,501	4,5	8677,62
9	S(B)	55099,73	24,3	0,4	1	1	0,4	0,4	0,547	4,5	8952,95
2	S(C)	11800,39	5,4	0,4	1	1	0,56	0,4	0,177	4,5	8295,74
3	S(C)	17986,01	8,1	0,4	1	1	0,56	0,4	0,24	4,5	9325,14
4	S(C)	24171,63	10,8	0,4	1	1	0,56	0,4	0,298	4,5	10093,04
5	S(C)	30357,25	13,5	0,4	1	1	0,56	0,4	0,352	4,5	10731,28
6	S(C)	36542,87	16,2	0,4	1	1	0,56	0,4	0,404	4,5	11367,8
7	S(C)	42728,49	18,9	0,4	1	1	0,56	0,4	0,453	4,5	11736,85
8	S(C)	48914,11	21,6	0,4	1	1	0,56	0,4	0,501	4,5	12148,64
9	S(C)	55099,73	24,3	0,4	1	1	0,56	0,4	0,547	4,5	12534,14

Tablo 7.23b UBC(97)'de zemin cinslerine göre deprem yükleri

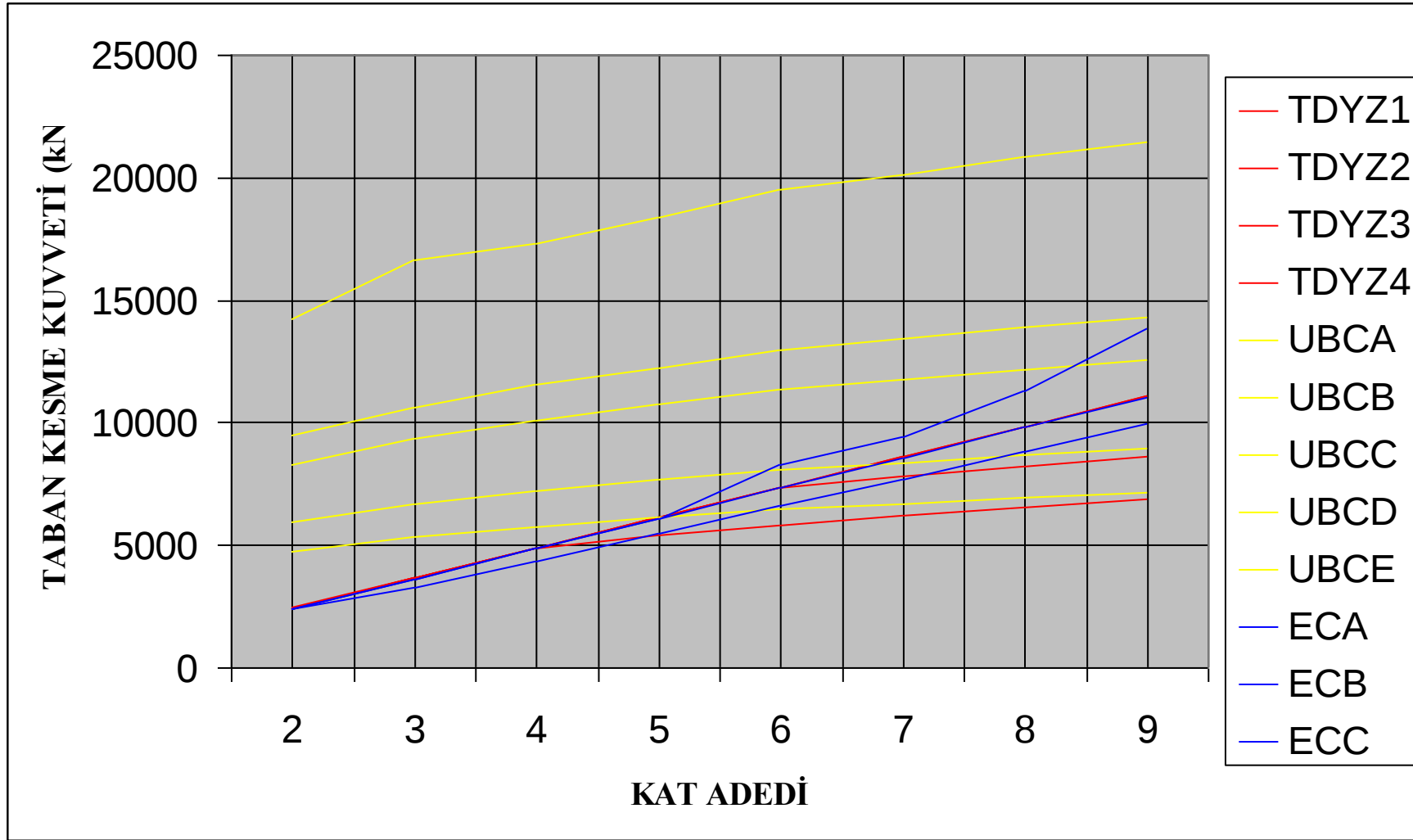
Kat Say.	Zemin	W (kN)	Hn (m)	Z	Nv	Na	Cv	Ca	T	R	V(kN)
2	S(D)	11800,39	5,4	0,4	1	1	0,64	0,44	0,177	4,5	9480,85
3	S(D)	17986,01	8,1	0,4	1	1	0,64	0,44	0,24	4,5	10646,65
4	S(D)	24171,63	10,8	0,4	1	1	0,64	0,44	0,298	4,5	11534,89
5	S(D)	30357,25	13,5	0,4	1	1	0,64	0,44	0,352	4,5	12264,33
6	S(D)	36542,87	16,2	0,4	1	1	0,64	0,44	0,404	4,5	12991,77
7	S(D)	42728,49	18,9	0,4	1	1	0,64	0,44	0,453	4,5	13413,54
8	S(D)	48914,11	21,6	0,4	1	1	0,64	0,44	0,501	4,5	13884,19
9	S(D)	55099,73	24,3	0,4	1	1	0,64	0,44	0,547	4,5	14324,72
2	S(E)	11800,39	5,4	0,4	1	1	0,96	0,36	0,177	4,5	14222,69
3	S(E)	17986,01	8,1	0,4	1	1	0,96	0,36	0,24	4,5	16647,05
4	S(E)	24171,63	10,8	0,4	1	1	0,96	0,36	0,298	4,5	17303,9
5	S(E)	30357,25	13,5	0,4	1	1	0,96	0,36	0,352	4,5	18396,49
6	S(E)	36542,87	16,2	0,4	1	1	0,96	0,36	0,404	4,5	19487,66
7	S(E)	42728,49	18,9	0,4	1	1	0,96	0,36	0,453	4,5	20120,31
8	S(E)	48914,11	21,6	0,4	1	1	0,96	0,36	0,501	4,5	20826,28
9	S(E)	55099,73	24,3	0,4	1	1	0,96	0,36	0,547	4,5	21487,08

Tablo 7.24 EC 8’de zemin cinslerine göre deprem yükleri

Kat Say.	Zemin	W (kN)	Hn (m)	T	T(B)	T(C)	T(D)	qo	kd	Sd	Fb (kN)
2	A	11800,39	5,4	0,177	0,1	0,4	3	5	1	0,2	2360,08
3	A	18108,05	8,1	0,24	0,1	0,4	3	5	1	0,2	3621,61
4	A	24293,67	10,8	0,298	0,1	0,4	3	5	1	0,2	4858,73
5	A	30479,29	13,5	0,352	0,1	0,4	3	5	1	0,2	6095,86
6	A	36664,91	16,2	0,404	0,1	0,4	3	5	1	0,2	7368,65
7	A	42850,53	18,9	0,453	0,1	0,4	3	5	1	0,22	9298,57
8	A	49036,15	21,6	0,501	0,1	0,4	3	5	1	0,23	11425,42
9	A	55221,77	24,3	0,547	0,1	0,4	3	5	1	0,25	13639,08
2	B	11800,39	5,4	0,177	0,15	0,6	3	5	1	0,2	2360,08
3	B	18108,05	8,1	0,24	0,15	0,6	3	5	1	0,2	3621,61
4	B	24293,67	10,8	0,298	0,15	0,6	3	5	1	0,2	4858,73
5	B	30479,29	13,5	0,352	0,15	0,6	3	5	1	0,2	6095,86
6	B	36664,91	16,2	0,404	0,15	0,6	3	5	1	0,2	7332,98
7	B	42850,53	18,9	0,453	0,15	0,6	3	5	1	0,2	8570,11
8	B	49036,15	21,6	0,501	0,15	0,6	3	5	1	0,2	9807,23
9	B	55221,77	24,3	0,547	0,15	0,6	3	5	1	0,2	11044,35
2	C	11800,39	5,4	0,177	0,2	0,8	3	5	1	0,20	2368,34
3	C	18108,05	8,1	0,24	0,2	0,8	3	5	1	0,18	3259,45
4	C	24293,67	10,8	0,298	0,2	0,8	3	5	1	0,18	4372,86
5	C	30479,29	13,5	0,352	0,2	0,8	3	5	1	0,18	5486,27
6	C	36664,91	16,2	0,404	0,2	0,8	3	5	1	0,18	6621,66
7	C	42850,53	18,9	0,453	0,2	0,8	3	5	1	0,18	7713,1
8	C	49036,15	21,6	0,501	0,2	0,8	3	5	1	0,18	8826,51
9	C	55221,77	24,3	0,547	0,2	0,8	3	5	1	0,18	9939,92



Şekil 7.1 ABYYHY'de, UBC(97)'de ve EC8'de deprem yüklerinin katlara ve zemin cinslerine göre değişimi



Şekil 7.2 ABYYHY’de, UBC(97)’de ve EC8’de bulunan deprem yüklerinin karşılaştırılması

8. SAYISAL UYGULAMA

Bu bölümde, daha önceki bölümlerde açıklanan prefabrike panolu yapıları daha iyi bir şekilde kavrayabilmek için, örnek bir prefabrike panolu yapı projesinde taşıyıcı panoların hesap esasları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Bunun için bu çalışmada prefabrike büyük duvar ve döşeme panolarıyla oluşturulan 6 katlı bir konut binasının projesi ele alınmıştır. Yapının plandaki boyutu 39.10 m * 16.50 m olup kat yükseklikleri 2.70 m'dir. Yapı 1. derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. ‘‘Şekil 8.1’’

Duvar panolarının birbirleriyle ve döşeme panolarıyla yatayda ve düşeyde oluşturulan birleşimleri, üzerlerine etkiyen yükleri güvenli bir şekilde aktarabilecek şekilde teşkil edilmiştir. Bu şekilde birbirleriyle birleşimleri sağlanan duvar panoları yatay yüklere göre sürekli bir perde gibi davranacaktır. Her iki yönde oluşturulan bu perdeler yapının ana taşıyıcı sistemini meydana getirmektedir.

8.1 Yapı Yüklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde katların ağırlıkları, duvar panoların ağırlıkları Tablo 8.1 ve Tablo 8.2 de verilmiştir.

Tablo 8.1 Kat toplam ağırlıkları

Kat No	G (kN)	Q (kN)
Çatı Katı	5592.02	990.19
Normal Kat	5836.44	1163.94
Bodrum Kat	5928.27	1163.94

Tablo 8.2 Pano ağırlıklarının hesabı

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	28,8
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	25,2
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	-	20,3
P102	364	16	257	-	-	4	37.42	-	37,42
P103	394	16	257	-	-	4	40.50	-	40,5
P104	386	16	257	-	-	4	39.68	-	39,68
P105	611	16	257	-	100/210	4	62.81	8,9	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(2)	4	59.01	15,62	44,89
P109	214	16	257	-	150/210	4	22.00	13,1	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

8.2 Yatay Yüklere Göre Hesap

Yapı 1. dereceden deprem bölgesinde bulunmaktadır ve yatay yüklere göre hesabı bölüm 7’de bulunan ABYYHY esaslarına göre yapılacaktır. Ancak bu bölümdeki hesaplar ayrıntılı bir şekilde gösterilmemiş sonuçları tablolar halinde verilmiştir.

Yapı 1. derece deprem bölgesinde bulunduğu ve temel üst kotundan itibaren bina yüksekliği $H=16.20\text{ m} < 25.00\text{ m}$ olduğundan, yapıya depremten dolayı etkiyen yatay kuvvet, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile belirlenecektir. Yapının oturduğu zemin yumuşak killi zayıf bir zemindir.

$$V_t = W * A(T_1) / R_a (T_1)$$

$$V_t = 36909 * 1.0 / 5 = 7382 \text{ kN}$$

Burada bulunan toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağılımı Tablo 8.3 de gösterilmiştir.

$$V_t = \Delta F_n + \Sigma F_i \quad H_n = 16.20 \text{ m} \leq 25 \text{ m} \Rightarrow \Delta F_n = 0 \text{ alınacaktır.}$$

$$F_i = V_t * (w_i * H_i) / (\Sigma w_j / H_j)$$

Tablo 8.3 Yapıya gelen toplam eşdeğer deprem yükünün katlara dağıtılması

Kat No	Wi (kN)	hi (m)	Wi*hi (kNm)	Fi (kN)
6	5889,07	16,2	95402,93	2034,46
5	6185,62	13,5	83505,87	1780,75
4	6185,62	10,8	66804,71	1424,61
3	6185,62	8,1	50103,52	1068,45
2	6185,62	5,4	33402,35	712,31
1	6277,45	2,7	16949,12	361,44

8.3 Perdelere Gelen Düşey Yükler

Projenin bu aşamasında, taşıyıcı duvar panolarının birbirleriyle rijit birleşimleri sonucu oluşan perdelere gelen düşey yükler bir tablo halinde sunulmuştur. ”Tablo 8.4” Perdelere panolardan, döşemelerden, yerinde dökme birleşim betonundan, parapetlerden ve tuğla duvarlardan dolayı etkiyen düşey yükler toplanmış ve bu perde düşey yükü olarak belirlenmiştir.

Tablo 8.4 Perde ve kolonlara gelen düşey yükler

Aks No	Perde Kolon No	Çatı Katı		Normal Katlar		Zemin Kat		Bodrum Kat	
		N (kN)	Nd (kN)	N (kN)	Nd (kN)	N (kN)	Nd (kN)	N (kN)	Nd (kN)
(1-1)	P1	468,99	697,46	359,02	553,61	1905,07	2911,86	-	-
(1-1)	P21	-	-	-	-	-	-	1177,27	1802,41
(1-1)	P22	-	-	-	-	-	-	1083,15	1658,31
(2-2)-(7-7)	P4	211,27	330,44	177,38	291,08	920,79	1494,76	1102,06	1791,29
(2-2)-(7-7)	P3	137,54	222,19	116,45	187,96	603,34	974,03	-	-
(2-2)-(7-7)	P2	123,11	190,81	95,16	158,81	503,75	826,01	-	-
(2-2)-(7-7)	P23	-	-	-	-	-	-	1326,37	2157,54
(3-3)-(6-6)	P6	94,08	142,97	80,35	131,84	415,48	670,33	-	-
(3-3)-(6-6)	P5	99,58	159,86	87,89	143,49	451,14	733,82	-	-
(3-3)-(6-6)	P24	-	-	-	-	-	-	1037,91	1638,75
(4-4)-(5-5)	P9	63,11	91,52	42,99	63,36	235,07	344,96	281,11	412,59
(4-4)-(5-5)	P8	199,92	301,04	124,08	196,49	696,24	1087,01	822,52	1286,57
(4-4)-(5-5)	P7	243,67	394,91	213,73	367,13	1118,59	1863,42	1337,32	2230,55
(4'-4')	P10	29,86	45,66	28,23	42,27	142,78	230,74	171,01	277,01
(8-8)	P1	599,41	864,92	414,21	681,85	2216,24	3592,32	2638,23	4285,06
(B-B)	P18-P19	43,75	65,36	42,64	66,91	-	-	-	-
(B-B)	S6	-	-	-	-	214,31	333,01	-	-
(B-B)	P25	-	-	-	-	-	-	256,95	399,91
(C-C)	P11	75,26	122,14	65,82	108,92	338,54	557,82	404,36	666,74
(C-C)	S1-S3	6,44	10,21	5,82	9,34	29,72	47,57	35,54	56,91
(C-C)	P12	107,01	177,59	90,84	154,96	470,37	797,43	561,37	952,39
(C-C)	S2	14,76	24,05	12,79	21,29	65,92	109,21	78,71	130,51
(C-C)	P13	150,52	244,28	131,64	217,84	677,08	1115,64	808,72	1333,48
(D-D)	P14	85,57	133,65	75,91	122,93	389,21	625,37	465,12	748,31
(D-D)	S4-S5	9,97	15,85	9,03	14,53	46,09	73,97	55,12	88,51
(D-D)	P15	56,17	91,74	49,14	81,89	252,73	419,31	301,87	501,19
(D-D)	P16	34,55	56,21	30,95	51,17	158,35	260,89	189,31	312,06
(D-D)	P17	171,14	267,31	151,82	245,86	778,42	1250,74	930,24	1496,61
(D'-D')	P20	12,69	17,77	12,69	17,77	63,45	88,85	76,14	106,62

8.4 Taşıyıcı Duvar Panolarının Hesabı

Bu kısımda taşıyıcı duvar panolarının hesabı ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır. Düşey yükler ve deprem etkileri nedeniyle panolara etkiyebilecek bütün kuvvetler bu hesaplarda göz önüne alınmıştır. Taşıyıcı duvar panolarının aşağıda belirtilen yükleri güvenlikle taşıdıkları hesapta gösterilmelidir [15].

- 1) Düşey yüklerden gelen N basınç kuvveti.
- 2) Yatay yüklerden gelen, V (kesme), N_z (normal) kuvveti.
- 3) Düzlemi içindeki yatay kuvvetlerin, M eğilme momenti.
- 4) Düzlemine dik yatay kuvvetlerin, M_{cd} eğilme momenti.
- 5) Dış merkezlikler düzlemine dik doğrultuda, M_c eğilme momenti.
- 6) Eşit olmayan mesnet çökmelerinden gelen, V_t kesme kuvveti.

Ayrıca panoların [37]'de verilmiş yükleme grupları altında aşağıda verilen şartları sağlamış olması gereklidir.

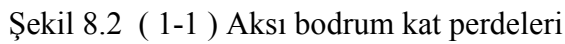
- 1) Duvar panosu düzlemine dik doğrultuda burkulmamalıdır.
- 2) Duvar panosunda diyagonal çatlak oluşmamalıdır.
- 3) En büyük basınç gerilmesi etkisinde iken, pano köşesinde ve altındaki harç veya betonda ezilme olmamalıdır.
- 4) Tekil yük etkimesi halinde, panonun bölgesel güvenliği sağlanmalıdır.

8.4.1 Bağ Elemanlarının Hesabı

- 1) 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 yanısıra 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 hesaplanacaktır. ‘‘Şekil 8.2’’


$$F = 0.16 \cdot 7.18 = 1.149 \text{ m}^2$$

$$W = b \cdot h^2 / 6 = 0.16 \cdot 7.18^2 / 6 = 1.375 \text{ m}^3$$

$$M_{za} = -2747.73 \text{ kNm}$$

$$V_{za} = 1058.59 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Zü}} = -2747.73 + 2.7 \cdot 1058.59 = 110.463 \text{ kNm} \quad V_{\text{Zü}} = 1058.59 \text{ kN}$$

Düşey yükten : $N = 2260.42 \cdot 763 / 1465 = 1177.27 \text{ kN}$

Depremden : $N_z = (110.462 + 100.439) / 7.78 = \pm 27.21 \text{ kN}$

$$N_1 = 1177.27 + 27.11 = 1204.38 \text{ kN}$$

$$N_2 = 1177.27 - 27.11 = 1150.16 \text{ kN}$$

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

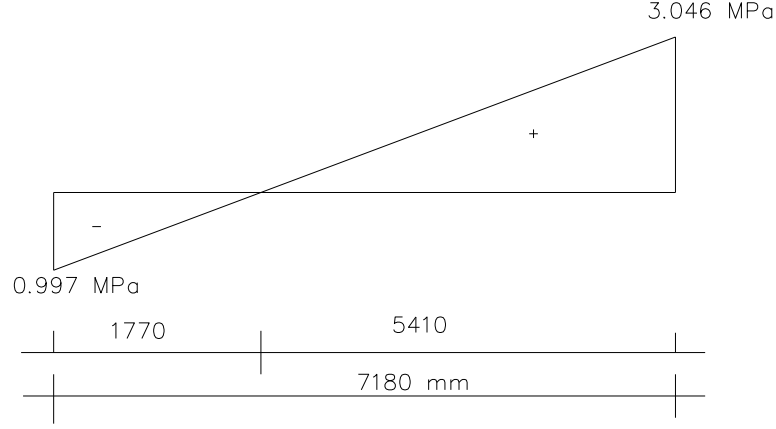
$$\sigma_{11} = 3046.55 \text{ kN/m}^2 = 3.046 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{21} = 2999.36 \text{ kN/m}^2 = 2.990 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{12} = -950.15 \text{ kN/m}^2 = -0.95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{22} = -997.34 \text{ kN/m}^2 = -0.997 \text{ MPa}$$

Buradan : $\sigma_{\max} = 3.046$ MPa ve $\sigma_{\min} = -0.997$ MPa olarak belirlenir.



Şekil 8.3 P21 Perdesi alt gerilme diyagramı

Çekme Kuvveti : $T = 0.5 \cdot 0.997 \cdot 1770 \cdot 160 = 141175.20 \text{ N}$

$A_s = T / 0.70 \cdot f_{yk} = 141175.20 / 0.70 \cdot 420 = 4.80 \text{ cm}^2$

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

$T_4 = 44 \cdot b = 44 \cdot 7.18 = 315.92 \text{ kN}$

$A_s = 315920 / 0.70 \cdot 420 = 10.75 \text{ cm}^2$

Her bir düşey birleşime konulacak düşey donatı = $4\varnothing 14$ (6.16 cm^2)

Toplam = $12\varnothing 14$ (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 : ‘Şekil 8.4’

$F = 0.16 \cdot 6.57 = 1.051 \text{ m}^2$

$W = b \cdot h^2 / 6 = 0.16 \cdot 6.57^2 / 6 = 1.151 \text{ m}^3$

$M_{za} = -2231.17 \text{ kNm}$

$V_{za} = 863.559 \text{ kN}$

$M_{z\bar{u}} = -2231.17 + 2.7 \cdot 863.559 = 110.439 \text{ kNm}$ $V_{z\bar{u}} = 863.559 \text{ kN}$

Düşey yükten : $N = 2260.42 \cdot 702 / 1465 = 1083.15 \text{ kN}$

Depremden : $N_z = (110.462 + 100.439) / 7.78 = \pm 27.21 \text{ kN}$

$$N_1 = 1083.15 + 27.11 = 1110.26 \text{ kN}$$

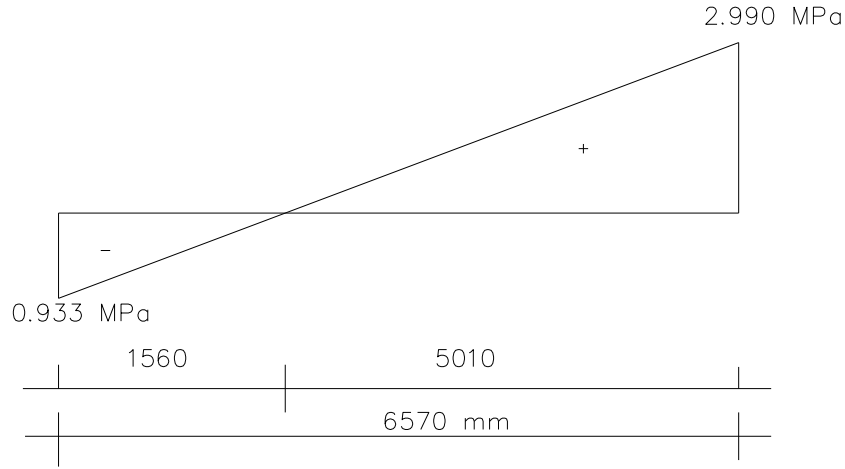
$$N_2 = 1083.15 - 27.11 = 1053.04 \text{ kN}$$

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

$$\sigma_{11} = 2994.84 \text{ kN/m}^2 = 2.99 \text{ MPa} \quad \sigma_{21} = 2943.26 \text{ kN/m}^2 = 2.94 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{12} = -882.08 \text{ kN/m}^2 = -0.882 \text{ MPa} \quad \sigma_{22} = -933.67 \text{ kN/m}^2 = -0.933 \text{ MPa}$$

Buradan : $\sigma_{\max} = 2.990 \text{ MPa}$ ve $\sigma_{\min} = -0.933 \text{ MPa}$ olarak belirlenir.



Şekil 8.4 P22 Perdesi alt gerilme diyagramı

$$\text{Çekme Kuvveti : } T = 0.5 \cdot 0.933 \cdot 1560 \cdot 160 = 116438.40 \text{ N}$$

$$A_s = T / 0.70 \cdot f_{yk} = 116438.40 / 0.70 \cdot 420 = 3.96 \text{ cm}^2$$

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

$$T_4 = 44 \cdot b = 44 \cdot 6.57 = 289.08 \text{ kN}$$

$$A_s = 289080 / 0.70 \cdot 420 = 9.83 \text{ cm}^2$$

Her bir düşey birleşime konulacak düşey donatı = 4Ø14 (6.16 cm²)

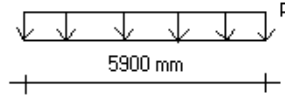
$$\text{Toplam} = 8Ø14 (12.32 \text{ cm}^2)$$

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.

2) Yatay bağ elemanlarının hesabı :

Kat döşemeleri, düzlemindeki yatay yükleri yatay yük taşıyan taşıyıcı duvarlara veya çerçeve kirişlerine aktarır, 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 8.5 Konsol kiriş yayılı yük

$$p = 1905.07/14.65 = 130.04 \text{ kN/m}$$

$$p = 130.04/5 = 26.01 \text{ kN/m (Bir kata gelen yük)}$$

$$M_k = 26.01 \cdot 5.90^2 / 2 = 452.704 \text{ kNm}$$

$$z = 0.80 \cdot h_p = 0.8 \cdot 2.70 = 2.16 \text{ m (Ortalama manivele kolu)}$$

$$F = 452.704 / 2.16 = 209.59 \text{ kN} > T_2 = 70 \text{ kN}$$

$$A_s = 209590 / (0.70 \cdot 420) = 7.13 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı 4Ø16 (8.04 cm²)

- İki döşemenin açıklıktaki yatay birleşimlerine 4Ø10 BÇ III donatı konulacaktır.
- Döşeme ile taşıyıcı olamayan cephe panoları birleşim bölgesine 4Ø10 BÇ III donatı konulacaktır.

8.4.2 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 : ‘Şekil 8.6’

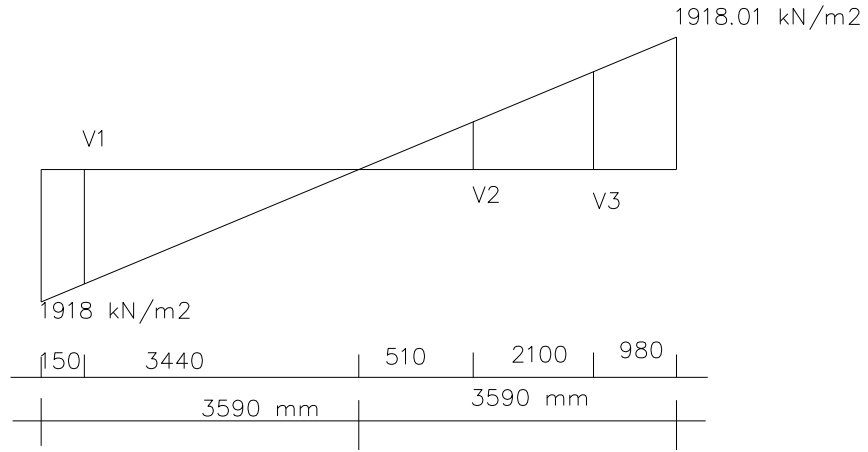
$$M_{za} = -2747.73 \text{ kNm} \quad W = 1.375 \text{ m}^3$$

$$M_{zü} = 110.463 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{za} = \pm M_a / W = 2747.73/1.375 = 1998.35 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{za} = \pm M_{ü} / W = 110.463/1.375 = 80.340 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta\sigma = 1998.35 - 80.34 = 1918.01 \text{ kN/m}^2$$



Şekil 8.6 P21 Perdesi kesme kuvvetleri

$$V_1 = [1918.01 \cdot (3.59^2 - 3.44^2) \cdot 0.16] / [2 \cdot 3.59] = 45.07 \text{ kN}$$

$$V_2 = [1918.01 \cdot (3.59^2 - 0.51^2) \cdot 0.16] / [2 \cdot 3.59] = 539.73 \text{ kN}$$

$$V_3 = [1918.01 \cdot (3.59^2 - 2.61^2) \cdot 0.16] / [2 \cdot 3.59] = 259.70 \text{ kN}$$

P22 perdesi için kesme kuvvetlerinin belirlenmesi : ‘Şekil 8.7’

$$M_{za} = -2231.17 \text{ kNm} \quad W = 1.151 \text{ m}^3$$

$$M_{zü} = 100.439 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{za} = \pm M_a / W = 2231.17/1.151 = 1938.46 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{za} = \pm M_{ü} / W = 100.439/1.151 = 87.26 \text{ kN/m}^2$$

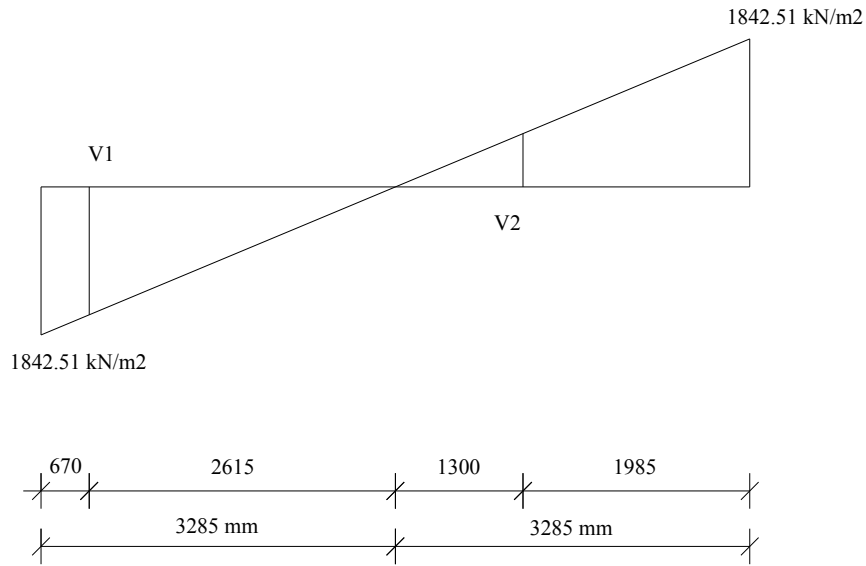
$$\Delta\sigma = 1938.46 - 95.95 = 1842.51 \text{ kN/m}^2$$

$$V_1 = [1842.51 \cdot (3.285^2 - 2.615^2) \cdot 0.16] / [2 \cdot 3.285] = 177.37 \text{ kN}$$

$$V_2 = [1842.51 \cdot (3.285^2 - 1.30^2) \cdot 0.16] / [2 \cdot 3.285] = 408.88 \text{ kN}$$

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

$V_d = 539.73 \text{ kN}$ değeri hesaplarda kullanılır.



Şekil 8.7 P22 Perdesi kesme kuvvetleri

b) Pano Düşey Birleşimi Kayma Hesabı :

$$l_j = 2700 \text{ mm (Kat yüksekliği)}$$

$$b_j = 160 \text{ mm (} d_o > 50 \text{ mm olduğundan)}$$

$$A_j = b_j \cdot l_j = 2700 \cdot 160 = 432000 \text{ mm}^2$$

$$h_{ke} = 95 \text{ mm} > 50 \text{ mm}$$

$$b_{ke} = 85 \text{ mm}$$

$$n = 12 \text{ (Kenet sayısı)}$$

$$A_{ke} = b_{ke} \cdot h_{ke} \cdot n = 85 \cdot 95 \cdot 12 = 96900 \text{ mm}^2$$

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

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

Burada yukarıda P21 ve P22 perdeleri için belirlenen $V_d = 539.73 \text{ kn}$ kesme kuvveti göz önüne alınarak panoların düşey kayma güvenliği tahkiki yapılacaktır. Duvar panolarının kenarlarında 12Ø8 BÇ I fiyong donatı mevcuttur. Bu donatılar da göz önünde tutularak, birleşimin güvenle taşıyabileceği kesme kuvveti hesaplanıp, tahkik yapılacaktır.

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

$$V_d = 539730 \text{ N}$$

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

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

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

$$A_{s1} = 2 * 12 \text{Ø}8 \text{ (12.02 cm}^2\text{)} \quad A_{s2} = 2 * 4 \text{Ø}16 \text{ (16.08 cm}^2\text{)} \quad A_s = A_{s1} + A_{s2}$$

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

$$V_{res} = \beta_1 (A_{ke} + 0.02 * A_j) * f_{cd} + \beta_3 * A_s * f_{yk} \quad \beta_1 = 0.07, \beta_2 = 0.90, \beta_3 = 0.75$$

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

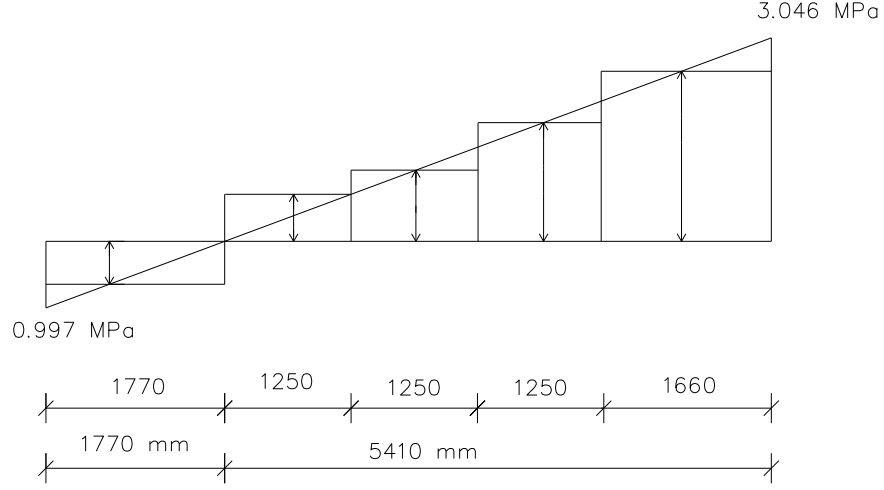
$$V_{res} > 4/3 * V_d = 4/3 * 539730 \text{ N} = 719640 \text{ N} \quad V_{res} = 800891 \text{ N} > 719640 \text{ N}$$

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

Pano düşey birleşimlerindeki mevcut donatı kayma güvenliği yönünden yeterlidir.

8.4.3. Panolar Arası Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması

1) Hem çekme hem de basınç etkisine göre hesap



Şekil 8.8 Çekme ve basınç bölgesindeki gerilmeler

$$\sigma_0 = 0.50 \text{ MPa} \quad N_0 = 160 \cdot 0.50 \cdot 1770 = 141600 \text{ N} \quad (\text{çekme bölgesi})$$

$$\sigma_1 = 0.352 \text{ MPa} \quad N_0 = 160 \cdot 0.352 \cdot 1250 = 70400 \text{ N} \quad (\text{basınç bölgesi})$$

$$\sigma_2 = 1.056 \text{ MPa} \quad N_0 = 160 \cdot 1.056 \cdot 1250 = 211200 \text{ N} \quad (\text{basınç bölgesi})$$

$$\sigma_3 = 1.760 \text{ MPa} \quad N_0 = 160 \cdot 1.760 \cdot 1250 = 352000 \text{ N} \quad (\text{basınç bölgesi})$$

$$\sigma_4 = 2.580 \text{ MPa} \quad N_0 = 160 \cdot 2.580 \cdot 1250 = 516000 \text{ N} \quad (\text{basınç bölgesi})$$

a) Çekme gerilmesi etkisindeki bölgede hesap :

$$A_s = 4\varnothing 14 \text{ (6.16 cm}^2\text{)} \quad N_d = 141600 \text{ N}$$

$$N_d < A_s \cdot f_{yk} = 616 \cdot 420 = 258720 \text{ N} \quad N_d = 141600 \text{ N} < 258720 \text{ N}$$

$$\beta_1 = 0.07, \beta_2 = 0.90, \beta_3 = 0.75 \text{ (Kenetli birleşim, enine yayılı teçhizat)}$$

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

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

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

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

b) Basınç gerilmesi etkisindeki bölgede hesap :

$$A_s = 8\varnothing 14 \text{ (12.32 cm}^2\text{)} \quad A_j=b_j*l_j$$

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

$$V_{res,1} = (\beta_1*A_{ke}+0.02*A_{j1})*f_{cd}+\beta_3*(A_s*f_{yk}+N_{d1})$$

$$\beta_1=0.07, \beta_2=0.90, \beta_3=0.75 \text{ (Kenetli birleşim, enine yayılı teçhizat)}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$V_{res,4} = (\beta_1*A_{ke}+0.02*A_{j4})*f_{cd}+\beta_3*(A_s*f_{yk}+N_{d4})$$

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

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

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

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

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

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

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

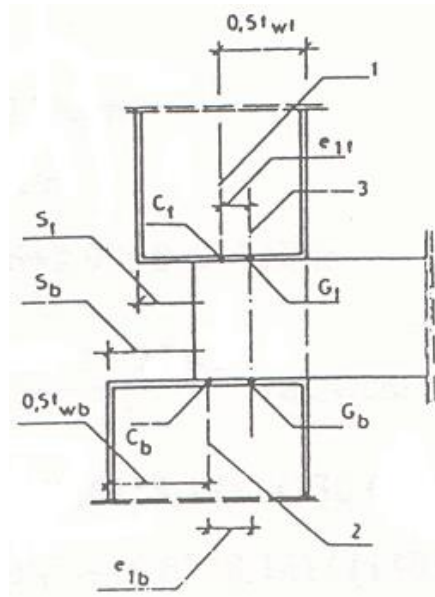
$$A_{sç} = N_{d0} / f_{yk} = 141600 / 420 = 337.14 \text{ mm}^2$$

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

$$\text{Mevcut donatı} = 4\varnothing 16 (804 \text{ mm}^2)$$

8.4.4 Duvar Panolarının ve Birleşimlerin Eksantrisine Hesabı

Pano basınç birleşimlerinde, üst duvar panosunun yükü alt duvar panosuna aradaki döşeme panosu ile oluşturulmuş birleşim bölgesi ile aktarılır. Bu birleşim bölgesi üst ve alt duvar panolarının taşıyıcı kısımları ile döşeme panosunun kenarının oluşturduğu bir prizma şeklindedir. Bu prizmanın yüksekliği döşeme panosunun yüksekliği kadardır. Üst ve alt duvar panoları ile bu prizmanın eksenlerinin çakışmaması nedeniyle çeşitli eksantrisiteler meydana gelmektedir. Şekil 8.9 da böyle bir birleşim gösterilmiştir [14].



Şekil 8.9 Panolar ile döşemeler arasındaki eksantrisiteler

1 Düşey eksen : Üst duvar panosunun taşıyıcı kısım kesiti eksenini,

2 Düşey eksen : Alt duvar panosunun taşıyıcı kısım kesiti eksenini,

3 Düşey eksen : Yük aktaran prizma kesiti eksenini, göstermektedir.

Bu projede üst ve alt duvar panolarının taşıyıcı kısımları üst üste geldiğinden 1,2 ve 3 eksenleri çakışmaktadır. Bu nedenle 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, $e_3 = 0.04 * t_w = 0.04 * 160 = 6.4$ 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.

$$P_3 = 0.08 * 25 * 2.78 = 5.56 \text{ kN/m}$$

$$P_2 = 4 * 0.015 = 0.06 \text{ kN/m}$$

$$P_1 = 25 * 0.16 * 2.70 = 10.80 \text{ kN/m}$$

$$P_d = 2.55 * 4.69 / 4 = 2.99 \text{ kN/m}$$

$$R_p = P_3 + P_2 + P_d = 5.56 + 0.06 + 2.99 = 8.61 \text{ kN/m} \quad N = 130.04 \text{ kN/m}$$

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

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

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

Panonun üst kesitindeki dış merkezlik : $e_{\bar{u}}$

$$e_{\bar{u}} = e_{1t,\bar{u}} + e_{2t,\bar{u}} + e_3 = 0 + 0.51 + 0.64 = 1.15 \text{ cm}$$

Panonun alt kesitindeki dış merkezlik : e_a

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

Duvar panosunun ortasındaki dış merkezlik : e_o

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

$e_k = 0.002 * h_w$ (Duvar 1 ekseninin yerinde olmamasından kaynaklanan dış merkezlik)

$$e_k = 0.002 * 2.70 = 0.54 \text{ cm}$$

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

$$e_z = M_{oz} / N \quad M_{oz} = f * h_w^2 / 8 \quad f = C_o * W_p \quad W_p = 5.56 + 10.8 + 0.06 = 16.42 \text{ kN/m}$$

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

$$e_z = 1.194 / 130.04 = 0.00092 \text{ m} = 0.92 \text{ cm}$$

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

$$e_o = 2.84 \text{ cm} > t_w / 6 = 16 / 6 = 2.67 \text{ cm} \text{ (Simetri donatı konulacaktır)}$$

Donatı Hesabı :

$$f_{cd} = 25/1.4 = 17.86 \text{ Mpa (BS25)} \quad f_{yk} = 365 \text{ Mpa (BÇ III)}$$

Depremli durum :

$$N = 130.04 \text{ kN} \quad M = N * e_o = 130.04 * 0.0284 = 3.69 \text{ kN/m}$$

Depremsiz durum :

$$e_o = 2.84 - 0.92 = 1.92 \text{ cm} \quad N = 1.5 * 130.04 = 195.06 \text{ kN/m}$$

$$M = N * e_o = 195.06 * 0.0192 = 3.75 \text{ kN/m}$$

Depremsiz durum daha elverişsizdir.

$$m = 375000 / (1000 * 160^2 * 17.86) = 0.00082$$

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

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

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

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 :

$$P_3 = 0.08 * 25 * 2.78 = 5.56 \text{ kN/m}$$

$$P_2 = 4 * 0.015 = 0.06 \text{ kN/m}$$

$$P_1 = 25 * 0.16 * 2.70 = 10.80 \text{ kN/m}$$

$$P_d = 4.19 * 3.29 / 2 = 6.89 \text{ kN/m}$$

$$R_p = P_3 + P_2 + P_d = 5.56 + 0.06 + 6.89 = 12.51 \text{ kN/m} \quad N = 130.04 \text{ kN/m}$$

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

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

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

Panonun üst kesitindeki dış merkezlik : $e_{\ddot{u}}$

$$e_{\ddot{u}} = e_{1t,\ddot{u}} + e_{2t,\ddot{u}} + e_3 = 0 + 0.32 + 0.64 = 0.96 \text{ cm}$$

Panonun alt kesitindeki dış merkezlik : e_a

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

Duvar panosunun ortasındaki dış merkezlik : e_o

$$e_o = \sqrt{0.3 * (e_{\ddot{u}}^2 + e_a^2) + 0.4 * (e_{\ddot{u}} * e_a)} + e_k + e_z$$

$e_k = 0.002 * h_w$ (Duvar 1 ekseninin yerinde olmamasından kaynaklanan dış merkezlik)

$$e_k = 0.002 * 2.70 = 0.54 \text{ cm}$$

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

$$e_z = M_{oz} / N \quad M_{oz} = f * h_w^2 / 8 \quad f = C_o * W_p \quad W_p = 5.56 + 10.8 + 0.06 = 16.42 \text{ kN/m}$$

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

$$e_z = 1.194 / 130.04 = 0.00092 \text{ m} = 0.92 \text{ cm}$$

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

$$e_0 = 2.90 \text{ cm} > t_w / 6 = 16 / 6 = 2.67 \text{ cm} \text{ (Simetri donatı konulacaktır)}$$

Donatı Hesabı :

$$f_{cd} = 25/1.4 = 17.86 \text{ Mpa (BS25)} \quad f_{yk} = 365 \text{ Mpa (BÇ III)}$$

Depremli durum :

$$N = 130.04 \text{ kN} \quad M = N \cdot e_0 = 130.04 \cdot 0.029 = 3.77 \text{ kN/m}$$

Depremsiz durum :

$$e_0 = 2.90 - 0.92 = 1.98 \text{ cm} \quad N = 1.5 \cdot 130.04 = 195.06 \text{ kN/m}$$

$$M = N \cdot e_0 = 195.06 \cdot 0.0198 = 3.86 \text{ kN/m}$$

Depremsiz durum daha elverişsizdir.

$$m = 386000 / (1000 \cdot 160^2 \cdot 17.86) = 0.00084$$

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

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

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

Seçilen donatı : Q221/221 (Her bir yüzde)

8.4.5 Duvar Panolarının Burkulma Hesabı

Duvar panoları aşağıdaki yüklerin her hangi birisinin etkimesi durumunda burkulmamalıdır.

a) Yalnız düşey yük,

b) Pano düzlemine dik yatay yük (deprem veya rüzgar) ve bu yükleme grubundaki düşey yük,

c) Pano düzlemi içindeki yatay yük (deprem veya rüzgar) ve bu yükleme grubundaki düşey yük.

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 aşağıdaki şekilde belirlenecektir [15].

- a) Yalnız bir düşey kenarı tutulmuş panolarda, pano serbest kenarında,
- b) Her iki düşey kenarı tutulmuş panolarda, pano genişliğinin ortasında,
- c) Her iki kenarın serbest olması durumunda, büyük basınç gerilmesine maruz kenardan a kadar içeride alınmalıdır.

a : $h_w/3$; $l_c/3$ değerlerinden küçük olanıdır.

h_w : Duvar panosu yüksekliği,

l_c : Pano alt kenarında basınç bölgesi uzunluğudur.

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

σ_c = Belirlenen kontrol şeridinde, pano alt kenarındaki gerilme,

$\gamma_{n1} = 1.5$ (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,

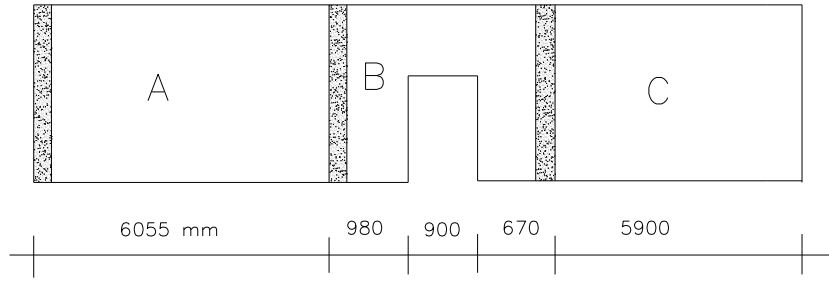
λ = Değiştirilmiş narinlik,

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 8.10”



Şekil 8.10 Burkulmaya maruz duvar panoları

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

1-1 aksı panolarının düşey yükleri : $G = 346.06 \text{ kN}$, $Q = 43.20 \text{ Kn}$

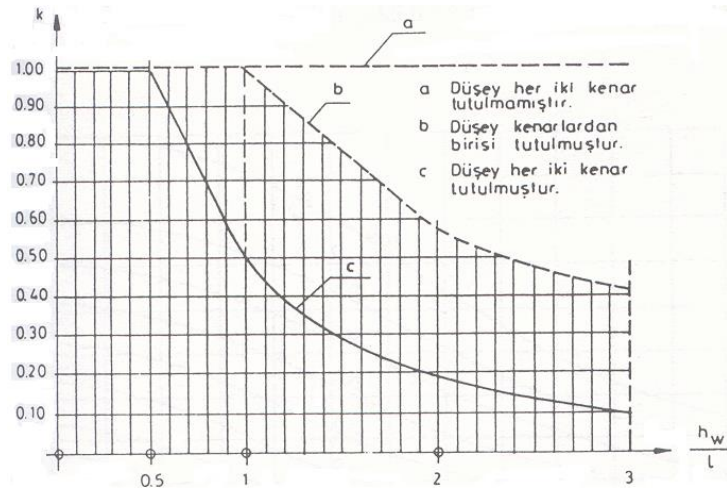
$$E_c = 30250 \text{ N/mm}^2 \text{ (BS 25)} \quad f_{cm} = f_{ck} + \Delta f = 25 + 4.2 = 29.20 \text{ Mpa}$$

$$\xi = 346.04 / (346.04 + 43.20) = 0.89$$

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

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

k katsayıları Şekil 8.10 dan alınarak, Tablo 8.1 de verilmiştir.



Şekil 8.11 k Katsayıları diyagramı

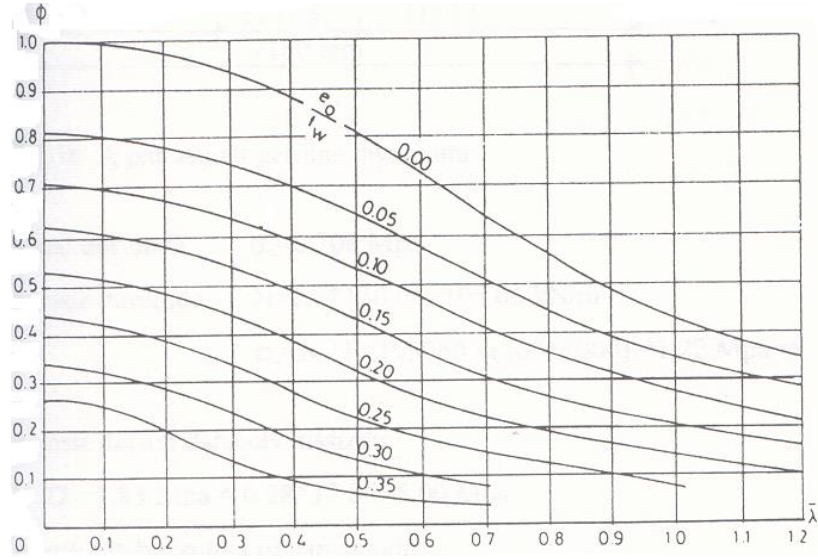
Tablo 8.5 Pano k ve λ değerleri

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

Tablo 8.6 Pano eo / tw değerleri

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

Burkulma fonksiyonu ϕ değerleri Şekil 8.11 den alınarak Tablo 8.3 de verilmiştir.



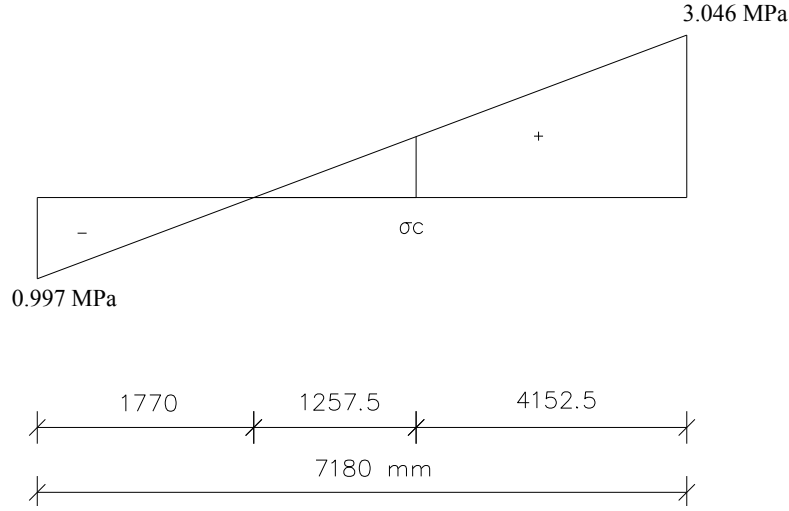
Şekil 8.12 ϕ Burkulma fonksiyonu diyagramı

Tablo 8.7 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 8.13”



Şekil 8.13 A Panosunun alt gerilme diyagramı

Depremlı durumda : $\sigma_c = 0.708 \text{ MPa}$

Depremsiz durumda : $N = 1.5 \cdot 130.04 = 195.06 \text{ kN/m}$

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

Depremsiz durum daha elverişsizdir.

$$1.5 \cdot 1.22 = 1.83 \text{ MPa} \leq 0.28 \cdot 17.86 = 5.00 \text{ MPa}$$

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.

Depremlı durumda : $\sigma_c = 2.99 \text{ MPa}$

Depremsiz durumda : $N = 1.5 \cdot 130.04 = 195.06 \text{ kN/m}$

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

Depremlı durum daha elverişsizdir.

$$1.5*2.99 = 4.485 \text{ MPa} > 0.19*17.86 = 3.39 \text{ MPa}$$

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

C panosunun beton kalitesi BS 35 olarak arttırılırsa;

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

$$1.5*2.99 = 4.485 \text{ MPa} < 0.19*25 = 4.750 \text{ MPa}$$

Bu durumda C panosundaki burkulma önlenmiş olur.

8.4.6 İkinci Mertebe Etkileri

Duvar panolarında eo eksantrisitesinden dolayı meydana gelebilecek ikinci mertebe etkilerinin 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.

$$I = 6.05*0.16^3 / 12 = 0.00207 \text{ m}^4$$

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

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

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

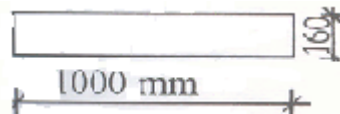
EI = Stabilite kontrolünde göz önüne alınacak eğilme rijitliği,

$E_c I_c$ = Çatlamamış beton kesitinin eğilme rijitliği,

$E_s I_s$ = Mevcut donatının eğilme rijitliği,

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

N_k = Euler burkulma yükü, β = Moment azaltma katsayısı.



Şekil 8.14 Birim genişlikli pano kesiti

$$E_c = 30250 \text{ N/mm}^2$$

$$I_c = 1000*160^3 / 12 = 341333 \text{ mm}^4$$

$$E_s = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_s = 2 \cdot A_s \cdot d^2 = 2 \cdot 221 \cdot 60^2 = 1591200 \text{ mm}^4$$

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

$$EI = \frac{(30250 \cdot 341333) / 5 + (2 \cdot 10^5 \cdot 1591200)}{1 + 0.89} = 1.26 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2$$

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

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

$$M_{\max} = 3.86 \text{ kNm} \quad M_\beta = \beta \cdot M_{\max} = 1.129 \cdot 3.86 = 4.35 \text{ kNm}$$

$$m = 4350000 / (1000 \cdot 160^2 \cdot 17086) = 0.0095$$

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

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

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

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

8.4.7 Panoda Diyagonal Çatlak Tahkiki

Duvar panolarında çatlak olmaması için aşağıdaki şart sağlanmalıdır.

$$\gamma_{n1} \cdot \sigma_1 \leq \frac{0.75 \cdot f_{ck}}{1.4 \cdot 12.5} = 0.0428 \cdot f_{ck} = 0.0428 \cdot 25 = 1.07 \text{ MPa}$$

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

$$\sigma_c = N / l_w \cdot t_w \quad \tau_c = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{V}{l_w \cdot t_w} \right)$$

N = Pano eksenel yükü,

V = Pano alt kenarı kesme kuvveti,

$$\gamma_{n1} = 1.2$$

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

P21 Perdesi İçin Diyagonal Çatlak Tahkiki :

$$N = 1177.27 \text{ kN} \quad t_w = 160 \text{ mm} \quad \sigma_c = 1177270/160*7180 = 1.02 \text{ MPa}$$

$$V = 1058.59 \text{ kN} \quad l_w = 7180 \text{ mm} \quad \tau_c = 1.5*1058590/160*7180 = 1.38 \text{ MPa}$$

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

$$1.2*0.89 = 1.06 \text{ Mpa (Çekme)} \leq 1.07 \text{ MPa}$$

P22 Perdesi İçin Diyagonal Çatlak Tahkiki :

$$N = 1083.15 \text{ kN} \quad t_w = 160 \text{ mm} \quad \sigma_c = 1083500/160*6570 = 1.03 \text{ MPa}$$

$$V = 863.559 \text{ kN} \quad l_w = 6570 \text{ mm} \quad \tau_c = 1.5*863559/160*6570 = 1.23 \text{ MPa}$$

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

$$1.2*0.82 = 0.98 \text{ MPa (Çekme)} \leq 1.07 \text{ MPa}$$

Her iki perdede de diyagonal çatlak oluşmamaktadır.

8.4.8 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 σ_c beton basınç gerilmelerinin değişken olduğu pano basınç birleşimlerinde birleşimin kontrolü σ_c beton basınç gerilmelerinin en büyük olduğu uçta, bir l_c uzunluğundaki ortalama σ_{cd} gerilmesi ile yapılabilir. Birleşim boyunca σ_c gerilmelerinin yayılımı lineer alınabilir. Yapıda beton basınç gerilmeleri pano boyunca değişken olduğundan bu durum göz önüne alınacaktır.

$$N_d = \sigma_{cd} * A_w \leq R_{Nd} = \eta_i * A_w * f_{c wd} * 1 / \gamma_n$$

Geniş birleşim : $\eta_i = \eta_{II}$

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

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

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

P21 Perdesinde basınç birleşimi mukavemet hesabı : ‘Şekil 8.15’

$l_c \leq 120 \text{ cm}$; $l_b/6 = 541/6 \cong 90 \text{ cm}$ $l_c = 90 \text{ cm}$ olarak belirlenir.

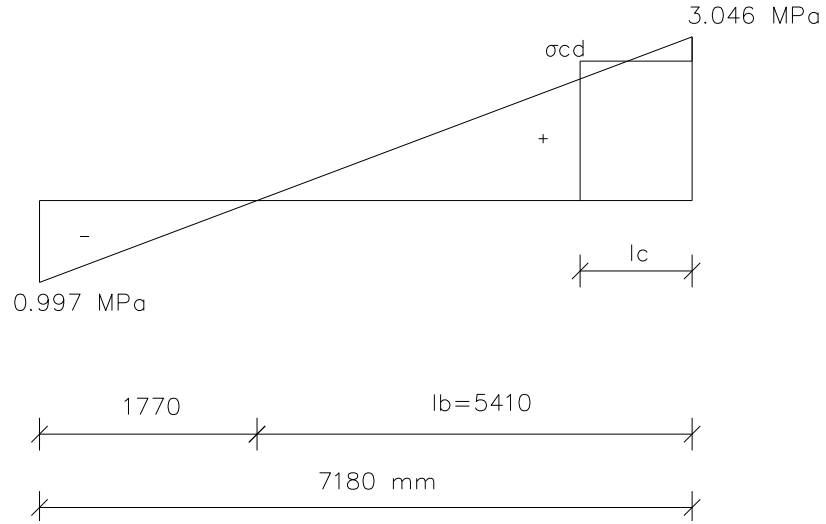
$\sigma_{cd} = 2.54 \text{ MPa}$ $f_{c wd} = 17 \text{ MPa}$ $e_a = 14.30 \text{ mm}$

$l_c = 900 \text{ mm}$ $t_w = 160 \text{ mm}$ $A_w = 900 \cdot 160 = 144000 \text{ mm}^2$

$\eta_{II} = (1 - 14.3/160) \cdot (20/25) = 0.73$

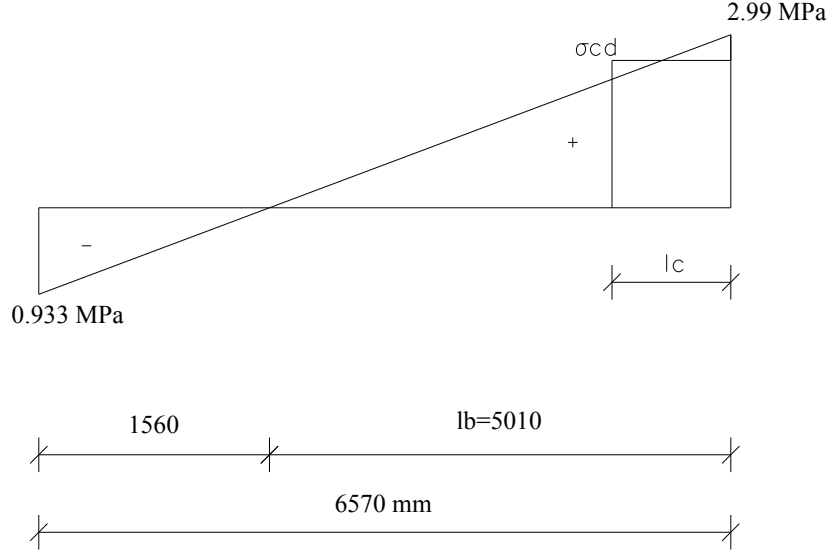
$R_{nd} = \eta_i \cdot A_w \cdot f_{c wd} \cdot l/\gamma_n = 0.73 \cdot 144000 \cdot 17 \cdot 1/1 = 1787040 \text{ N}$

$N_d = 2.54 \cdot 144000 = 365760 \text{ N} < R_{nd} = 1787040 \text{ N}$



Şekil 8.15 P₂₁ Perdesi için σ_{cd} gerilmesi

P22 Perdesinde basınç birleşimi mukavemet hesabı : ‘‘Şekil 8.16’’



Şekil 8.16 P₂₂ Perdesi için σ_{cd} gerilmesi

$$l_c \leq 120 \text{ cm}; \quad l_b / 6 = 501 / 6 \cong 83.5 \text{ cm} \quad l_c = 83.5 \text{ cm olarak belirlenir.}$$

$$\sigma_{cd} = 2.49 \text{ MPa} \quad f_{c wd} = 17 \text{ MPa} \quad e_a = 14.30 \text{ mm}$$

$$l_c = 835 \text{ mm} \quad t_w = 160 \text{ mm} \quad A_w = 835 * 160 = 133600 \text{ mm}^2$$

$$\eta_{II} = (1 - 14.3 / 160) * (20 / 25) = 0.73$$

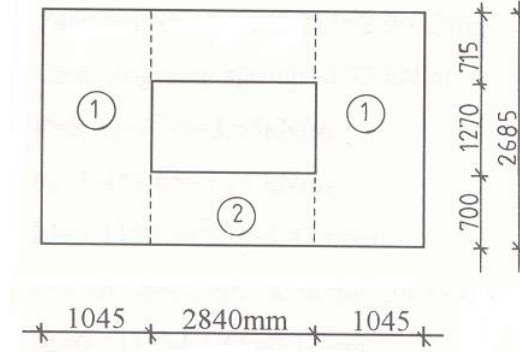
$$R_{nd} = \eta_i * A_w * f_{c wd} * l / \gamma_n = 0.73 * 133600 * 17 * 1 / 1 = 1657976 \text{ N}$$

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

8.4.9 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 rüzgar yükü oluşturmaktadır. Panolarda depremten dolayı meydana gelen etkiler rüzgar etkisi yanında daha elverişli olmaktadır.

Burada CP 102 cephe panosu için hesap yapılacaktır. ‘‘Şekil 8.17’’



Şekil 8.17 Cephe panosu

$$\text{Pano ağırlığı} = 0.16 \cdot 25 + 4 \cdot 0.015 = 4.06 \text{ kN/m}^2 \quad C = 0.08 \cdot 1.33 = 0.106$$

$$\text{Deprem yükü} = W_d = C \cdot g = 0.106 \cdot 4.06 = 0.430 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Rüzgar yükü} = W_r = c \cdot q$$

$$H > 8 \text{ m için } q = 0.80 \text{ kN/m}^2 \quad c = 1.20$$

$$W_r = 0.80 \cdot 1.2 = 0.96 \text{ kN/m}^2$$

$W_r > W_d$ olduğundan , rüzgar etkisi daha elverişsizdir [38].

1 Nolu parça için hesap :

$$\text{Çizgisel kuvvet} : W_1 = 0.96 \cdot 2.84 / 2 = 1.36 \text{ kN/m}$$

$$\text{Düzgün yayılı yük} : W_2 = 0.96 \text{ kN/m}^2$$

$$Q = W_1 \cdot l_x = 1.36 \cdot 2.685 = 3.65 \text{ kN}$$

$$K = W_2 \cdot l_x \cdot l_y = 0.96 \cdot 2.685 \cdot 1.045 = 2.69 \text{ kN}$$

$$M_1 = K / 11 + Q / 5.6 = 2.69 / 11 + 3.65 / 5.6 = 0.896 \text{ kNm} \quad M_d = 1.30 \cdot 0.896 = 1.165 \text{ kNm}$$

$$b = 100 \text{ cm} \quad d = 4 \text{ cm}$$

$$K = 100 \cdot 4^2 / 11.65 = 137.34 \Rightarrow k_s = 0.239 \quad (\text{BS 25 / BÇ IV})$$

$$A_s = 0.239 \cdot 11.65 / 4 = 0.70 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen hasır donatı : Q 106/106}$$

2 Nolu parça için hesap :

$$\text{Pano ağırlığı} = 4.06 \cdot 0.715 = 2.90 \text{ kN/m}$$

$$\text{Cam} + \text{doğrama ağırlığı} = 0.75 \text{ kN/m}$$

$$P = 2.90 + 0.75 = 3.65 \text{ kN/m}$$

$$P_d = 1.4 * 3.65 = 5.11 \text{ kN/m}$$

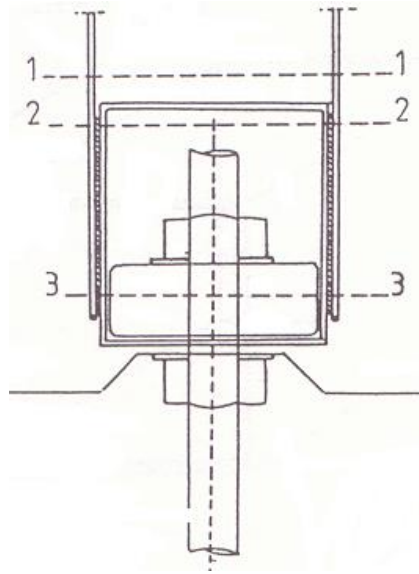
$$M = 5.11 * 2.84^2 / 12 = 3.43 \text{ kNm}$$

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

$$A_s = 0.233 * 34.3 / 66 = 0.12 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen hasır donatı : Q 106/106}$$

8.4.10 Çekme Bulonu Hesabı

Bu bölümde panolarda oluşan çekme kuvvetlerini almak için konulan bulonların hesabı yapılacaktır. Burada M30 bulonu sistemin esasını teşkil edecek şekilde ele alınarak hesabı yapılacaktır. Bu bulonun detayı Şekil 8.18 de gösterilmiştir [39,40].



Şekil 8.18 M30 Bulonu

F_{30} : Bulonun taşıyabileceği çekme kuvveti,

A_{30} : Bulon çekirdek alanı = 509 mm^2

σ_{bemn} : Bulon emniyet gerilmesi = 280 N/mm^2

$F_{30} = A_{30} * \sigma_{bemn} = 509 * 280 = 142520 \text{ N}$ Seçilen Donatı : $2\varnothing 20 (628 \text{ mm}^2)$

1 – 1 Kesiti : Donatıların kontrolü.

$$\sigma = 142520 / 628 = 227 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{emn} = 365 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{BÇ III})$$

2-2 Kesiti : Donatıları kutuya bağlayan kaynakların kontrolü :

$$\text{Bir donatıya gelen kuvvet} = 142520 / 2 = 71260 \text{ N}$$

a : Köşe kaynak kalınlığı, l : Köşe kaynak uzunluğu.

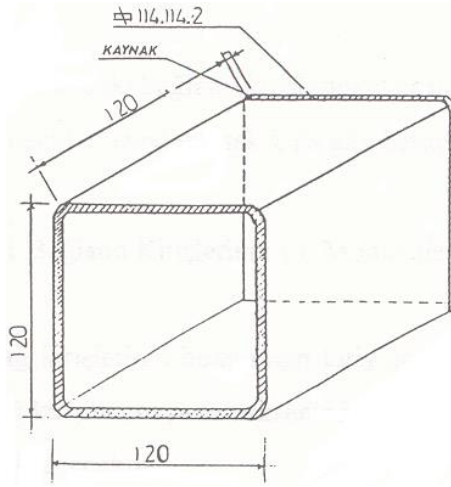
$$\sigma_{kemn} = \text{Köşe kaynak emniyet gerilmesi} = 110 \text{ N/mm}^2$$

$$3.5 \text{ mm} \leq a \leq 0.7 \cdot t_{\min} = 0.7 \cdot 6 = 4.2 \text{ mm} \Rightarrow a = 4 \text{ mm seçildi.}$$

$$\frac{F}{2a \cdot (1 - 2a)} < \sigma_{kemn} \quad \frac{71260}{2 \cdot 0.4 \cdot (1 - 2 \cdot 0.4)} < 110 \Rightarrow l = 10.92 \text{ cm}$$

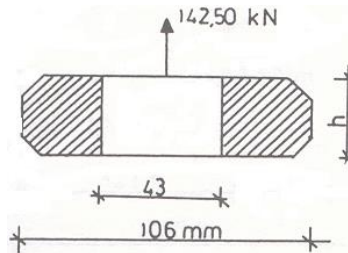
Kaynak uzunluğu kontrolü :

$$15a \leq l \leq 100a \quad 15 \cdot 0.4 = 6 \text{ mm} \leq l \leq 100 \cdot 0.4 = 40 \text{ mm} \quad l = 11 \text{ cm seçildi.}$$



Şekil 8.19 Donatıların bağlandığı kutu

3-3 Kesiti : Büyük pulun kontrolü :



Şekil 8.20 Büyük pul

$$M = 14.252 \cdot 2.15 / 2 = 15.32 \text{ tcm} \quad W_{\text{somun}} = 18 h^2 / 6 = 3 \cdot h^2$$

$$\sigma_{\text{semm}} = 1.60 \text{ t/cm}^2 \quad \text{Pul emniyet gerilmesi (ST 37)}$$

h : Pul kalınlığının belirlenmesi

$$\sigma_{\text{semm}} = M / W_{\text{somun}} \quad 1.6 = 15.32 / 3 \cdot h^2 \Rightarrow h = 1.79 \text{ cm}$$

h = 30 mm olarak seçilmiştir.

8.5 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 deprem ve düşey yüklerden meydana gelen etkilerin süperpozisyonu gereklidir. ‘‘Tablo 8.8’’

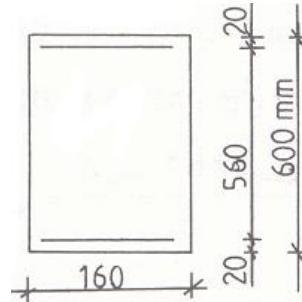
Tablo 8.8 Moment ve kesme kuvvetlerinin süperpozisyonu

Etki	Msol (kNm)	Maçıklık (kNm)	Msağ (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

1) Bağlantı kiriş kesit hesabı :

Açıklıkta donatı hesabı :

Malzeme : BS 25 / BÇ III



Şekil 8.21 Bağlantı kirişi en kesiti

Minimum donatı :

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

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

Seçilen minimum donatı : 3Ø12 (3.39 cm²)

$$M_{a\text{çıklık}} = 0.244 \text{ kNm}$$

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

$$K = 12695 \Rightarrow k_s = 0.288$$

$$A_s = 0.288 * 2.44 / 56 = 0.013 \text{ cm}^2$$

Seçilen donatı : 3Ø12

Mesnette Donatı Hesabı

$$M_1 = 26.63 \text{ kNm}$$

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

$$A_s = 0.297 * 266.3 / 56 = 1.41 \text{ cm}^2 \quad \text{Mevcut donatı : 3Ø12 (3.39 cm}^2\text{)}$$

$$M_2 = -27.117 \text{ kNm}$$

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

$$A_s = 0.297 * 271.17 / 56 = 1.44 \text{ cm}^2 \quad \min A_s = 3.39 \text{ cm}^2$$

Minimum donatı konulacaktır : 3Ø12 (3.39 cm²)

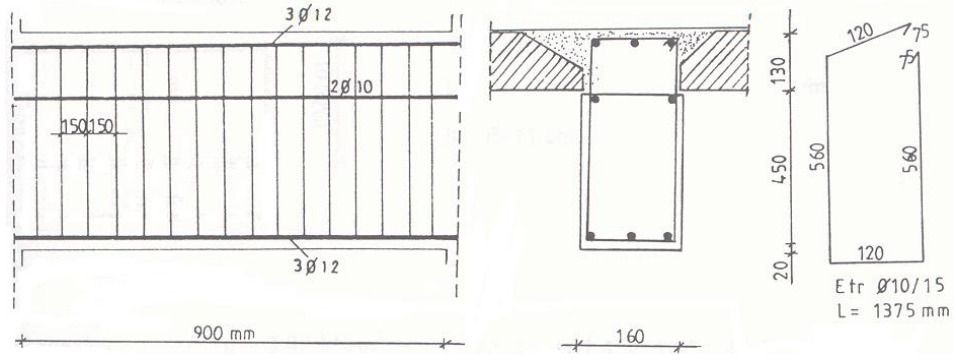
Bağlantı kirişi kayma hesabı

$$V_d = 85.73 \text{ kN}$$

Minimum kayma donatısı : Ø10/15 (5.24 cm²)

$$\text{Ø10} \Rightarrow s \leq 150 \text{ mm} \quad s \leq h_k / 2 = 560 / 2 = 280 \text{ mm}$$

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



Şekil 8.22 Bağlantı kirişi donatı planı

8.6 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 [37,41].

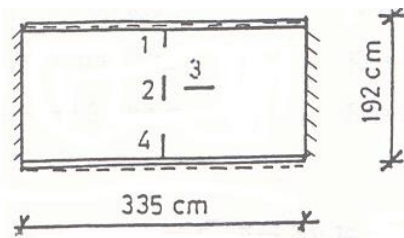
Çatı katı döşemeleri :

$$G = 5.775 \text{ kN/m}^2, \quad q = 2.0 \text{ kN/m}^2$$

Normal kat döşemeleri :

- a) Yatak odaları ve salonlarda : $g = 4.19 \text{ kN/m}^2, \quad q = 2.00 \text{ kN/m}^2$
- b) Koridor, banyo, mutfak ve giriş antresinde : $g = 4.69 \text{ kN/m}^2, \quad q = 2.00 \text{ kN/m}^2$
- c) Kat sahanlığı ve ara sahanlıklarda : $g = 4.69 \text{ kN/m}^2, \quad q = 3.50 \text{ kN/m}^2$
- d) Merdivenlerde : $g = 7.71 \text{ kN/m}^2, \quad q = 3.50 \text{ kN/m}^2$
- e) Balkonlarda : $g = 3.80 \text{ kN/m}^2, \quad q = 5.00 \text{ kN/m}^2$

1) Kat Döşeme Panosu Hesabı :



Şekil 8.23 D 101 Panosu

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

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

$$\text{Parapet yükü} : g_p = 3.0 \text{ kN/m} \quad 1.4*g_p = 4.20 \text{ kN/m}$$

$$\text{Duvar yükü} : g_d = 10.28 \text{ kN/m} \quad 1.4*g_d = 14.39 \text{ kN/m}$$

Üniform yayılı döşeme yükünden ;

$$M_1 = p*l_x^2 / 8 = 13.32*3.35^2 / 8 = 18.68 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 18.68 \text{ kNm}$$

$$M_3 = 0.20*18.68 = 3.74 \text{ kNm}$$

$$M_4 = 18.68 \text{ kNm}$$

$$\text{Parapet yükünden} : K = p*l_x = 4.20*3.35 = 14.07 \text{ kN}$$

$$M_1 = 14.07 / 3.36 = 4.19 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 14.07 / 4.66 = 3.02 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -14.07 / 20.19 = -0.70 \text{ kNm}$$

$$M_4 = 14.07 / 6.44 = 2.18 \text{ kNm}$$

Duvar yükünden

$$K = p*l_x = 14.39*3.35 = 48.21 \text{ kN}$$

$$M_1 = 48.21 / 6.44 = 7.49 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 48.21 / 4.66 = 10.35 \text{ kNm}$$

$$M_3 = -48.21 / 20.19 = -2.39 \text{ kNm}$$

$$M_4 = 48.21 / 3.36 = 14.35 \text{ kNm}$$

Kesit hesabına esas sonuç momentler :

$$M_1 = 30.30 \text{ kNm} \quad K = 39.85 \quad k_s = 0.255 \quad A_s = 7.04 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

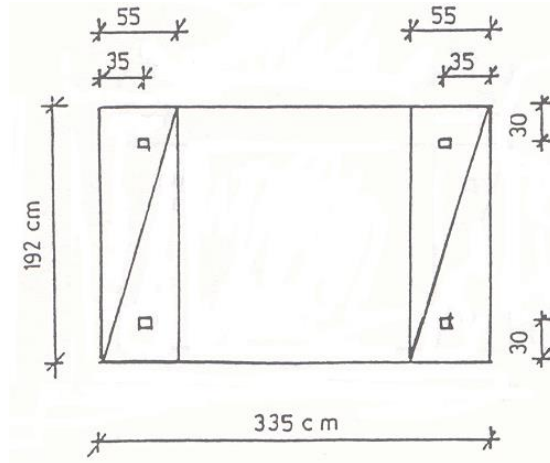
$$M_2 = 32.05 \text{ kNm} \quad K = 37.75 \quad k_s = 0.257 \quad A_s = 7.49 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$M_3 = 0.65 \text{ kNm} \quad K = 1861.5 \quad k_s = 0.255 \quad A_s = 0.14 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$M_4 = 35.21 \text{ kNm} \quad K = 34.37 \quad k_s = 0.260 \quad A_s = 8.32 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

Seçilen alt hasır donatı : 2 * Q 443 / 221

Seçilen üst hasır donatı : Q 131 / 131

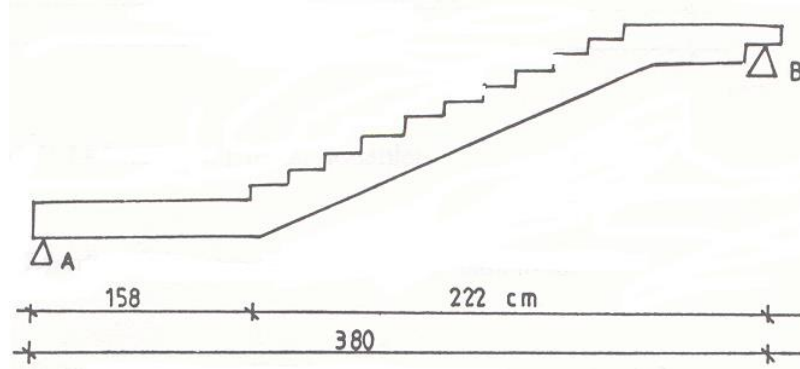


Şekil 8.24 Üst hasır ve kaldırma kancalarının yerleri

Tablo 8.9 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

2) Merdiven Panosu Hesabı



Şekil 8.25 Merdiven panosu

Merdiven sahanlığında : $g=4.69 \text{ kN/m}^2$ $q=3.5 \text{ kN/m}^2$ $p=1.4g+1.6q=12.17 \text{ kN/m}^2$

Merdiven döşemesinde: $g=7.71 \text{ kN/m}^2$ $q=3.5 \text{ kN/m}^2$ $p=1.4g+1.6q=16.39 \text{ kN/m}^2$

$$V_B = \frac{12.17 * 1.58 * 1.58 / 2 + 16.39 * 2.22 * (2.22 / 2 + 1.58)}{3.80} = 29.75 \text{ kN/m}$$

$$M_{\max} = 29.752 / (2 * 16.39) = 27 \text{ kNm/m}$$

$b = 100 \text{ cm}$, $h = 16 \text{ cm}$, $d = 13 \text{ cm}$, BS 25 ; BÇ III

$$K = 100 * 13^2 / 270 = 62.60 \quad k_s = 0.251$$

$$A_s = 0.251 * 270 / 13 = 5.21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_s = 5.21 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \text{Dağıtma donatısı} = A_s / 5 = 5.21 / 5 = 1.04 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Seçilen hasır donatı : R589

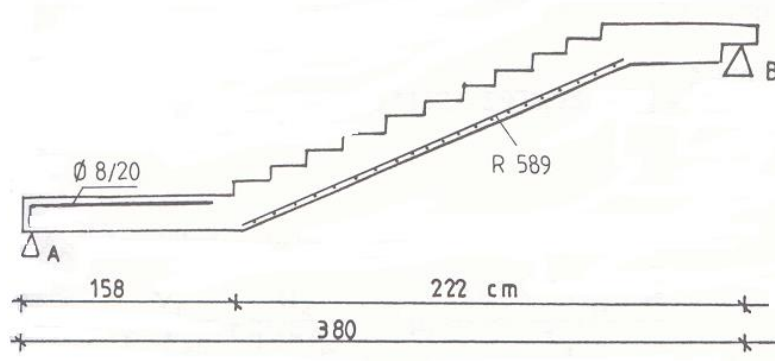
Kaldırma esnasındaki konsolda :

$$P = 0.4 * 17 = 6.80 \text{ kN/m}^2 \quad M = 6.80 * 1.252 / 2 = 5.31 \text{ kNm}$$

$$K = 100 * 13^2 / 53.1 = 318.30 \quad k_s = 0.295$$

$$A_s = 0.295 * 53.1 / 13 = 1.20 \text{ cm}^2$$

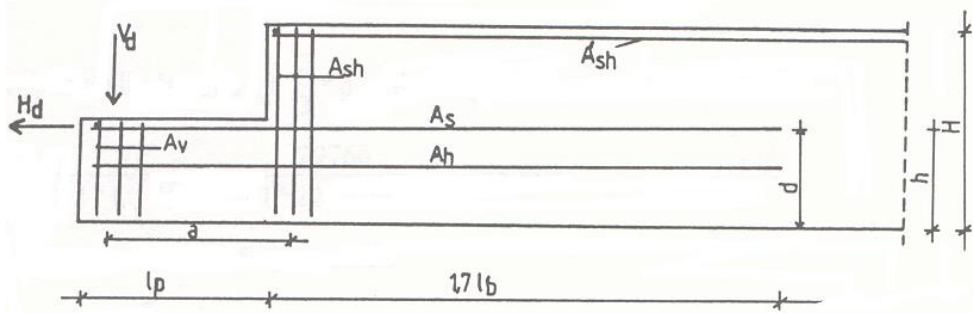
Seçilen donatı : Ø8/20 (üstte) ‘‘Şekil 8.26’’



Şekil 8.26 Merdiven panosu donatıları

3) Merdiveni Taşıyan Uç Kısımın Boyutlandırılması

Merdiven panosunun D111 döşeme panosuna oturduğu yerde, panoda kademe olmaması için döşeme kalınlığı azaltılarak inceltilmiş uç teşkil edilecektir. “Şekil 8.27” Bu inceltilmiş ucun hesabı inceltilmiş kiriş ucu hesap esaslarına göre yapılacaktır [37].



Şekil 8.27 İnceltilmiş uç

$$H = 75 \text{ mm} \quad d = 65 \text{ mm} \quad b = 1000 \text{ mm} \quad a_{\max} \cong 60+25+12+8+7=112 \text{ mm}$$

$$\text{Donatı : BÇ I} \quad f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$V_d = 29.76 \text{ kN/m} \quad H_d = 0.1 \cdot V_d = 0.1 \cdot 29.76 = 2.976 \text{ kN/m}$$

A_{s1} : İnceltilmiş uçta eğilme-çekme teşhizatı

$$A_{s1} = A_{sf} + A_n = \frac{1}{0.70 \cdot f_{yk} \cdot d} \cdot [V_d \cdot a + H_d \cdot (h-d)] + \frac{H_d}{0.70 \cdot f_{yk}}$$

$$A_{s1} = \frac{10^3}{0.70 \cdot 220 \cdot 65} \cdot [29.76 \cdot 112 + 2.976(75-65)] + \frac{2.976 \cdot 10^3}{0.70 \cdot 220} = 355.31 \text{ mm}^2$$

A_{s2} : İnceltilmiş uçta kesme-sürtünme teşhizatı

$$A_{s2} = \frac{V_d}{f_{yk} * \mu_e} + \frac{H_d}{0.7 * f_{yk}} \quad , \quad \mu_e = \frac{6.9 * \lambda^2 * A_{cr} * \mu}{V_d}$$

$$\lambda = 1.0 \text{ (Normal beton)} \quad \mu = 1.4$$

$$A_{cr} = b * h = 1000 * 75 = 75000 \text{ mm}^2$$

$$\mu_e = \frac{6.9 * 1^2 * 75000 * 1.4}{29.76 * 10^3} = 24.34$$

$$A_{s2} = \frac{29760}{220 * 24.34} + \frac{2976}{0.7 * 220} = 24.88 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} > A_{s2} \Rightarrow A_s = A_{s1} = 355.21 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı : Ø8/12 (419 mm²)

$$l_b = 50 * \emptyset \quad 1.7 * l_b = 1.7 * 50 * 8 = 680 \text{ mm}$$

$$A_s > 0.60 * b * h / f_{yk} = 0.60 * 1000 * 75 / 220 = 204.50 \text{ mm}^2$$

A_h : İnceltilmiş ucun alt 2 / 3 * d yüksekliği içine yerleştirilecek donatı.

$$A_h = \frac{V_d}{2.1 * f_{yk} * \mu_e} = \frac{29760}{2.1 * 220 * 24.34} = 2.65 \text{ mm}^2$$

Seçilen donatı : Ø8/16 (314 mm²)

A_h donatısı 2 / 3 * d yüksekliği için tek sıra olarak konulacaktır.

$$A_h = 314 \text{ mm}^2 \geq 0.3 * b * h / f_{yk} = 0.3 * 75 * 1000 / 220 = 102.30 \text{ mm}^2$$

A_{sh} ve A_{sh}' : Askı teçhizatları

$$A_{sh} = V_d / 0.70 * f_{yk} = 29760 / 0.70 * 220 = 193.20 \text{ mm}^2$$

Askı teçhizatı olarak çift sıra Ø8'lik helezon etriye düzenlenecektir.

$$A_{sh} \text{ ve } A_{sh}' = 193.20 \text{ mm}^2 \quad \text{Seçilen donatı : } 2 * 2\emptyset 8 (201 \text{ mm}^2)$$

A_{sh}' teçhizatının konulacağı bölgede D111 döşemesinin mevcut olan Q 221 / 221'lik hasır donatısı bulunduğuundan ek donatıya gerek yoktur.

İnceltilmiş uçta $V_d < V_{res}$ şartı sağlanmalıdır.

$$V_{res} = 0.20 \cdot f_{ck} / \gamma_{mc} \cdot b \cdot d = 0.20 \cdot 25 / 1.3 \cdot 1000 \cdot 65 = 250000 \text{ N}$$

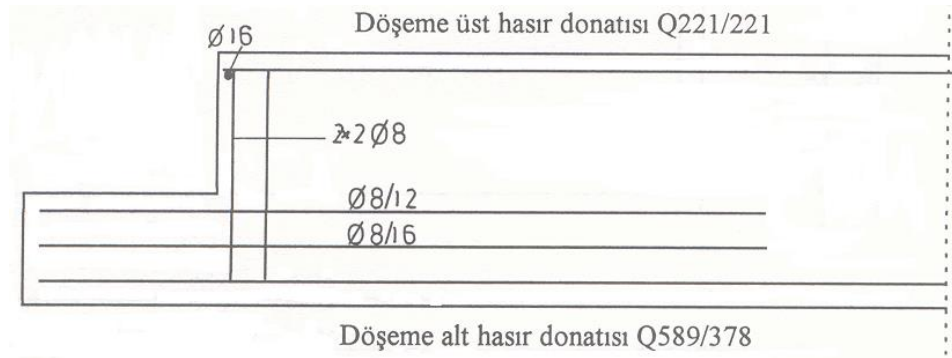
$$V_d = 29760 \text{ N} < V_{res} = 250000 \text{ N}$$

A_v teçhizatı :

$$A_v \geq \frac{1}{2 \cdot f_{yw}} [(V_d / 0.70) - 0.17 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot b \cdot d]$$

$$A_v = \frac{1}{2 \cdot 220} [(29760 / 0.70) - 0.17 \cdot \sqrt{25} \cdot 1000 \cdot 65] = -28.94$$

A_v teçhizatına gerek yoktur.



Şekil 8.28 İnceltilmiş uç donatıları

8.7 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 olduğundan taşıma kapasitesi oldukça küçük ve üst yapı taşıyıcı sistemi her iki yöndeki perdelerden oluşmaktadır. 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 * 16.10 m olduğundan, radye temelin boyutu, binanın dış kenarlarından X yönünde 0.40 m, Y yönünde ise 0.425 m'lik çıkmlar olacak şekilde 40.00 m * 17.00 m olarak belirlenmiştir. Radye temel donatı planı Şekil 8.31 de verilmiştir.

9. SONUÇLAR

Prefabrikasyon teknolojisinin ortaya çıkmasıyla ve bununla beraber prefabrike sistemlerin uygulamaya geçmesiyle birlikte, deprem tehlikesine maruz bölgelerde, bu sistemlerin en kritik ve hassas bölgeleri olan birleşim yerleriyle ilgili teorik ve deneysel çalışmalar başlamıştır. Ancak bu çalışmalar daha çok firmaların kendilerine has olarak ürettikleri detaylar üzerinde gerçekleşmiş ve standartlarda ortak olarak kabul edilebilir düzeylere ulaşmamıştır. Birleşim yerleri üzerinde yapılan çalışmalarda amaç, prefabrike sistemin depreme karşı dayanıklılığını artırmaya yönelik olmuştur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç, yapıların ekonomik ömürleri içinde meydana gelecek hafif ve orta şiddetli depremlerden hiç hasar görmemelerini sağlamak ve aynı süre içinde olacak en şiddetli depremde de can kaybına yol açmayacak ve ekonomik biçimde onarılabilecek düzeyde hasar görmelerini sağlamaktır. Ancak yapı tasarımındaki amaç bu olmasına rağmen, prefabrike sistemlerin en yoğun olarak kullanıldığı 2. Dünya Savaşı sonrasındaki süreçte bu amacın, en hızlı biçimde konut ihtiyacını karşılamak olarak değiştiği gözlenmiştir. Günümüzde ise prefabrike sistemler yukarıda açıklanan her iki amacı da sağlayacak şekilde kullanılmaktadır. Prefabrike sistemlerdeki birleşimler üzerinde en yoğun ve koordineli olarak yürütülen çalışma, A.B.D. ve Japonya tarafından ortaklaşa yürütülen PRESSS programıdır. Bu program kapsamında değişik birçok birleşim yerleri hem teorik ve hem de deneysel olarak incelenmiş ve belli kriterleri sağlayan birleşimlere “Eşdeğer Birleşim” adı verilmiştir. Buna göre; prefabrike birleşimlerden, verilen tasarım yüklerin altında elemanlardan gelecek etkileri yeterince aktarabilecek mukavemette olmaları ve “Prefabrike Birleşim Davranışının Değerlendirme Kriteri” şartlarını sağlamak üzere, mukavemet azalmasını ve kaymadan dolayı oluşan deformasyonları sınırlayacak şekilde tasarlanmaları istenir. Ayrıca prefabrike elemanlarda ve birleşimlerde; kullanılabilirlik, dayanıklılık ve yangın dayanımı özelliklerinin de sağlanması gerektiği belirtilir. PRESSS programı çalışmaları sonucunda iki tip birleşim esas alınmış ve çalışmanın çerçevesi ve ana hedefleri belirlenmiştir. Bunlardan birincisi “Kuvvetli Birleşimler”, ikincisi ise “Düktil Birleşimler” ‘dir.

Prefabrike yapıların, klasik yapılara göre daha ekonomik olabilmesi için aynı tipte üretilecek eleman sayısının fazla olması gerekmektedir. Bu nedenle aynı tipte çok sayıda tekrarlı yapıların prefabrike olarak üretilmesi, prefabrikasyon teknolojisinin

sağladığı diğer yararların yanısıra ekonomik olarak da bir üstünlük sağlamaktadır. Ayrıca prefabrike panoların projelendirilmesinde, panoların nakliye ve montaj durumları da göz önüne alınmalıdır. Pano büyüklükleri nakliyesi mümkün olabilecek boyutta seçilmelidir.

Bu tez kapsamında yapılan araştırmalar ve çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Birleşimler mümkün olduğu kadar basit seçilmeli, düktil olarak teşkil edilmelidirler ve korozyona karşı korunmalı ayrıca yangına karşı dayanıklı olmalıdır.
- Birleşim veya mesnetteki dönme, yer değiştirme ve deformasyonlarla, birleşen elemanların birbirlerine göre deformasyonları kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.
- Prefabrike yapıların tasarımında kullanılacak deprem kuvvetlerinin, yerinde dökme yapılar için öngörülenden daha büyük olması gerekir. Çünkü her türlü prefabrike yapıların ek yerleri terinde dökme yapılar kadar rijit ve enerji tüketebilecek güçte değildir. Zaten ABYYHY’de deprem yükü hesaplanırken kullanılan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), prefabrike sistemler için daha küçük tutulmuştur, böylece prefabrike sisteme gelen tasarım deprem yükü arttırılmıştır.
- Yerinde dökme betonarme perdeli yapılarda deprem enerjisi, yapının monolitik ve rijit olan ek yerlerinin hasar görerek mafsallaşması ile tüketilir. Mafsallaşma, bu sistemlerde ya perde duvarın temelinde ya da perde duvarlar arasındaki bağ kirişlerinde meydana gelir. Ancak prefabrike panolu yapılardaki ek yerleri bu kadar rijit ve monolitik olmadığından, şiddetli depremlerde ek yerlerinin deprem enerjisi tüketme gücü, yerinde dökme betonarme yapıların ek yerlerine göre daha azdır. Bu nedenle de prefabrike yapıların aynı yerinde dökme, rijit ek yerli betonarme yapılar gibi kabul edilerek hesaplanıp tasarlanması gerçekçi olmayıp prefabrike yapının daha düşük deprem güvenliğinde olmasına yol açar.
- Prefabrike panolu yapılarda, yatay ve düşey ek yerlerinin deprem yükleri altındaki davranışları, bu tür yapıların tasarımında en belirleyici unsurlardır. Birleşimler üzerinde yapılmış olan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Statik yükleme ile yapılan deneysel çalışmalardan, kenetli olarak teşkil edilmiş bir birleşim yerinin maksimum kesme dayanımı, kenetsiz olarak teşkil edilmiş bir birleşimin maksimum kesme dayanımından yaklaşık olarak üç katı kadar daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Yatay birleşimler üzerinde dinamik ve yönü değişen yüklemeler altında yapılan deneylerden,
- Kenetsiz ve yalnızca harçla oluşturulan yatay bir birleşim üzerinde düşey bir yük etkidiğinde, birleşimin kesme dayanımı artmaktadır.
- Birleşim yerinde donatıların bulunduğu ve bunların kaynaklı olarak bağlandığı ek yerlerinde, donatı birleşim yerinin kesme dayanımını önemli ölçüde artırmaktadır.
- Deneysel çalışmalar incelendiğinde özellikle kenetli bitişik panolar arasındaki hasar, beton dayanımına bağlı olarak, kenetlerde ve kenetlerin ara yüzeylerindeki kaymalardan ibarettir. Düşük kesme dayanımına sahip beton (harç veya panel) ve birleşim yerini saran düşey donatı oranı, birleşimin sınır kapasitesini kontrol eden etkenlerdir.
- Prefabrike panellerdeki kesme kenetlerinin konfigürasyonlarının, birleşim yerinin kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi yoktur, ancak kesme kenetlerinin boyutları birleşimin kapasitesi üzerinde az da olsa bir etkisi vardır. Daha büyük kenet boyutlarına sahip panellerin kapasitesi, küçük olana göre % 20 oranında daha büyüktür.
- 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 gerekir. Bu ise pano ve yatay ek yerlerinin, düşey ek yerlerine göre iki kat kadar daha büyük yatay kuvvetlere göre tasarlanmalarını gerektirebilir.
- 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 bağlanması gerekir. Bu plakların birbirlerine basıncı aktarabilecek ek yerleri ile bağlanması ya da üzerlerine 3 – 5 cm kalınlığında bir tabliye dökülerek monolitik özelliğe sahip olmaları sağlanmalıdır.

- Tez kapsamında incelenen ABYYHY, UBC97 ve EC8'deki binaya etkiyen deprem yükü hesaplama yöntemleri birbirleri ile benzerlik göstermektedir. Ayrıca bina temel periyodu hesaplama yöntemi ise tamamen benzerdir. Ancak yönetmelikler arasındaki en önemli fark UBC97'de bulunan sismik kaynağa yaklaşık mesafe olarak tanımlanan ve deprem yüküne önemli etkisi olan yakın kuvvet faktörü (N_v)'dir. Özellikle deprem kuşağında yer alan ülkemizde böyle bir katsayıyla artırılmış deprem yükleri, yapıların güvenliğini ve dolayısıyla depremlerde oluşabilecek kayıpları daha düşük düzeyde tutmasını sağlayabilir.
- Zemin durumunun değişmesi ile birlikte, T_A ve T_B periyotlarının aralıkları değiştiği için taban kesme kuvvetinin değişimi farklılaşır. Düşük periyot değerleri bulunan az katlı yapılarda zemin türünün değişmesi taban kesme kuvveti üzerinde özellikle ABYYHY ve EC8'de etkili olmamaktadır. Ancak çok katlı yapılarda (5 kat ve üstü) taban kesme kuvveti zemin özelliklerine göre değişmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Delue, J.**, 1975-76. Ders yılı notları, Louvin Üniversitesi.
- [2] **Ciğercioğlu, İ.**, 1991. Endüstrileşmiş yapım sistemleri ile konut üretimi üzerine bir araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Berköz, S.**, 1975. Yapımda Sistemler Yaklaşımı, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- [4] **Koncz, T.**, 1966. Principles Roof and Floor Units, Manual of Precast Concrete Construction, Volume I.
- [5] **Işık, A.**, 1992. Türkiye’de endüstrileşmiş yöntemlerle gerçekleştirilen yapı üretiminin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] **Carr, A.L.**, 1947. A Practical Guide to Prefabricated Houses, Harpers Brathers Publications, New York.
- [7] **Kulaksızoğlu, E.**, 1973. Mimarlık Alanında Çağdaş İnşaat Sistemleri Gelişimi ile İlgili Tasarım Olanakları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yayını, İstanbul.
- [8] **Eser, L.**, 1960. Prefabrikasyon (Ana Hatları), İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Araştırma Kurumu, İstanbul.
- [9] **Geçek, C.**, 1979. Yapıda Taşıyıcı Sistemler, Yaprak Kitabevi, Ankara.
- [10] **Priestly, M.J.N. and Kew, H.S.**, 2000. The Status of the U.S. Precast Seismic Structural Systems (PRESSS) Program, NIST SP 871 Technical Report.
- [11] **Özmen, G., Yüzügüllü, Ö., Zorbozan, M.**, 1997. Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrike Yapılar Bakımından İrdelenmesi, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/TR 97-006, İstanbul.

- [12] **Sırma, S.**, 2001. Prefabrike yapılarda taşıyıcı sistemler, birleşimler ve tasarım ilkeleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **Türkiye Prefabrik Birliği**, 2001. 2000 yılı prefabrikasyon sektör raporu.
- [14] **Özden, K.**, 1988. Betonarme ve Öngerilmeli Beton Prefabrike Taşıyıcı Eleman, Sistem ve Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi, İstanbul.
- [15] **TS-9967**, 1992. Yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve binalar-prefabrike betonarme ve öngerilmeli betonda hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [16] **Barka, G.**, 2002. Kişisel Görüşme.
- [17] **Bayülke, N.**, 1986. Depreme dayanıklı prefabrike yapılar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Müdürlüğü, *Deprem Araştırma Bülteni*, Ankara, Sayı 54, 26-41.
- [18] **Gök İnşaat**, 2001. Betonarme perde sistem ile forap kalıcı konutlar, Gök İnşaat Teknik Föyü, İstanbul.
- [19] **Martin, L.D., Karkosz, W.J.**, 1982. Connectin for precast prestressed concrete building including earthquake resistance, *Prestressed Concrete Institute Technical Report No:2*.
- [20] **PCI.**, Prestressed Concrete Institute, Design and typical details of connections for precast and prestressed concrete, Chicago, 1988.
- [21] **CPCI.**, Metric Design Manual Precast and Prestressed Concrete, Volume II.
- [22] **Frosch, R.J.**, 1999. Panel connections for precast concrete infill walls, *ACI Structural Journal*, Technical Paper, Volume 96, No:4.
- [23] **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.
- [24] **Schultz, A.E., Magana, R.A., Tadros, M.K., and Huo, X.**, 1994. Experimental study of joint connections in precast concrete walls, *Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, Volume II.

- [25] **Schultz, A.E., Maher, K.T., and Rafael, M.A.**, 1994. Seismic resistance of vertical joints in precast shear walls, *Proceedings of the 12th Congress, Federation Internationale de la Precontrainte*, Vol. 1.
- [26] **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.
- [27] **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.
- [28] **Sandi, H.**, 1979. Panel discussion, behavior of precast structures, *Regional Seminar on Earthquake Engineering*, İstanbul.
- [29] **Sachanski, S.**, 1978. Earthquake resistance of precast structures, *Proc. of the 6th European Conference on Earthquake Engineering*, Dubrovnik, 3-28.
- [30] **Velkov, M.**, 1979. Precast large panel structures, *Regional Seminar on Earthquake Engineering*, İstanbul.
- [31] **Booth, E.**, 1994. ‘‘Concrete structures in earthquake regions’’, Design and Analysis, Longman Scientific & Technical, Harlow, Essex, England.
- [32] **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.
- [33] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, TDY’98, 1998. 2 Eylül 1997 tarih 23098 nolu Resmi Gazete.
- [34] Uniform Building Code, Volume 2, International Conference of Building Officials, 1997, California.
- [35] Eurocode 8: Designs Provisions for Earthquake Resistance of Structures, 1998.
- [36] **Çolakoğlu, H.K.**, 2001. Seismic resistance of precast industrial buildings, *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi.

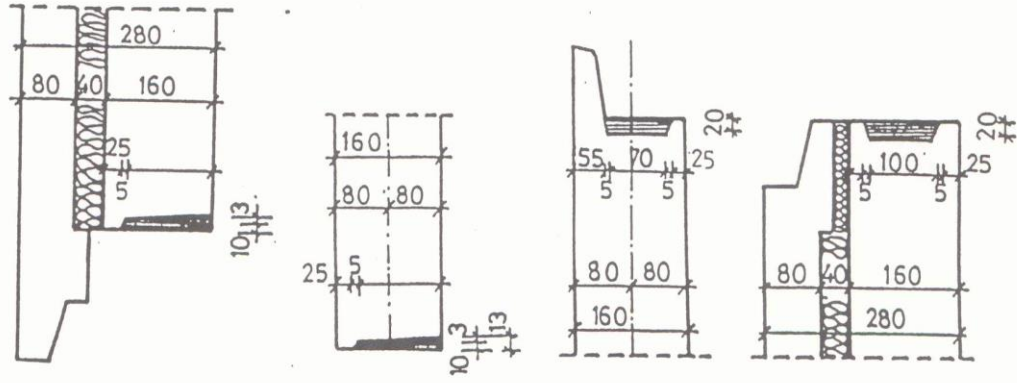
- [37] **TS 500**, 2000. Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [38] **TS 498**, 1987. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [39] **Arda, T.S.**, 1994. Çelik yapılar ders notları, İ.T.Ü., İstanbul.
- [40] **TS 3357**, 1979. Çelik yapılarda kaynaklı birleşimlerin hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [41] **Çetmeli, E.**, 1987. Plaklar, İ.T.Ü. Vakfı, No.19.

EKLER

EK A : Duvar Panolarının Kenet Detayları

EK B : Pano Birleşim Detayları

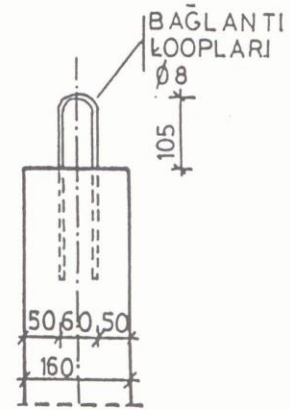
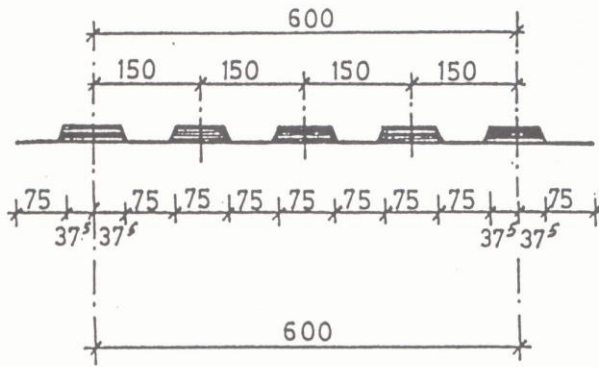
EK C : Duvar Panoları Donatı ve Kenar Detayları



ALT PROFİLLER

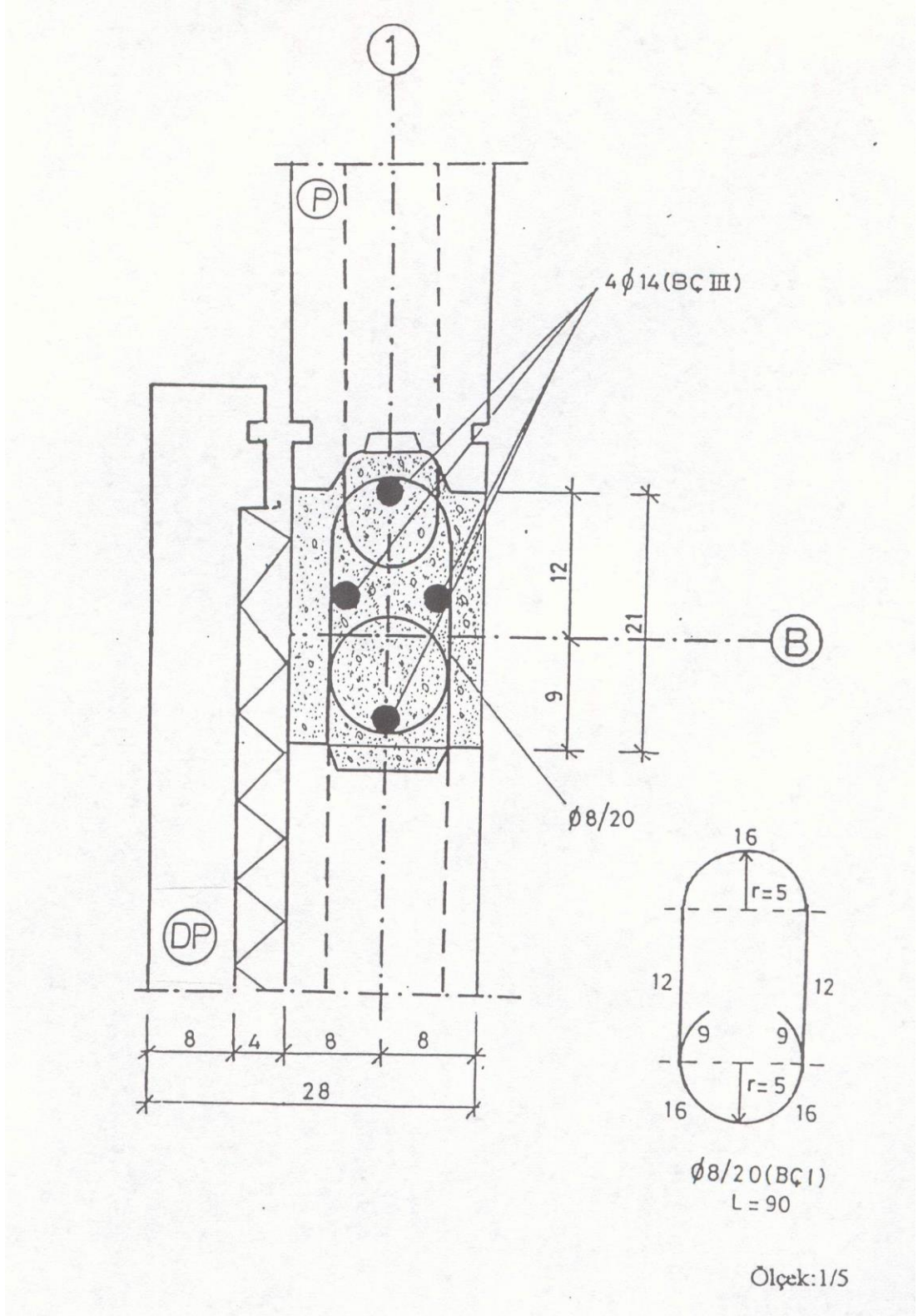
ÜST PROFİLLER

ÖNDEN GÖRÜNÜŞ

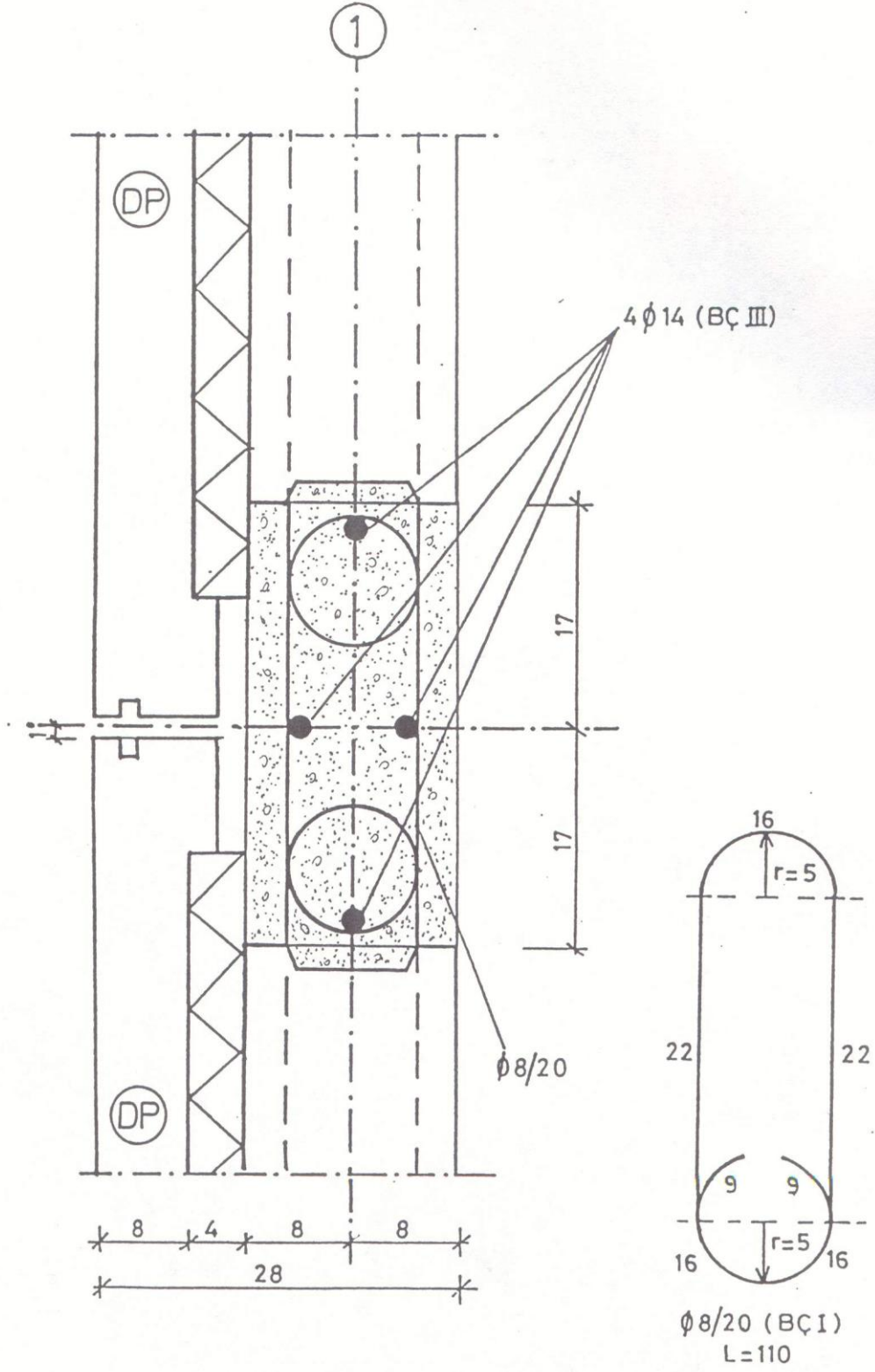


Ölçek: 1/10

Şekil A.2 Duvar panoları yatay kenet tipleri

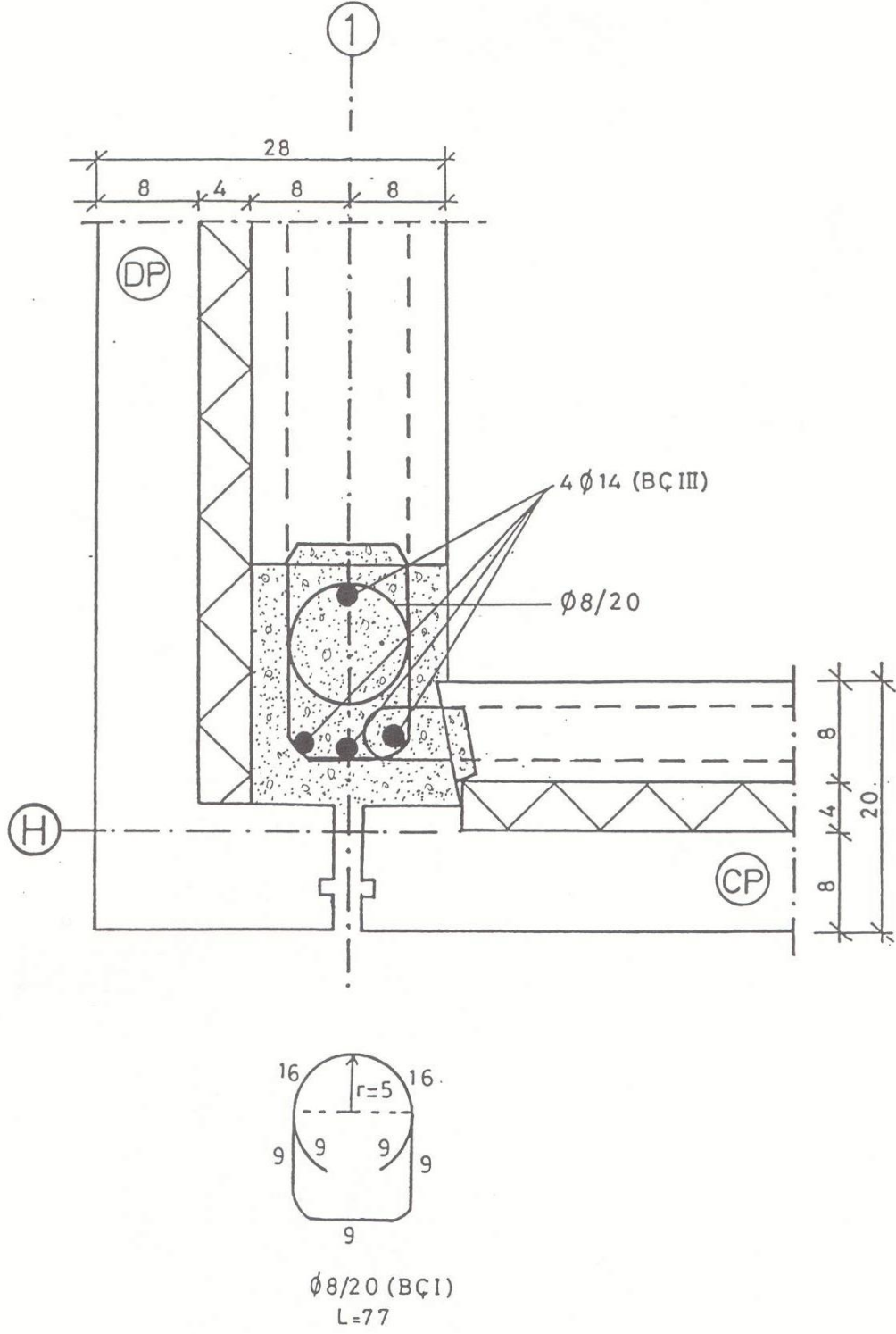


Şekil B.1 Taşıyıcı dış duvar panosu ile iç duvar panosunun düşey birleşim detayı



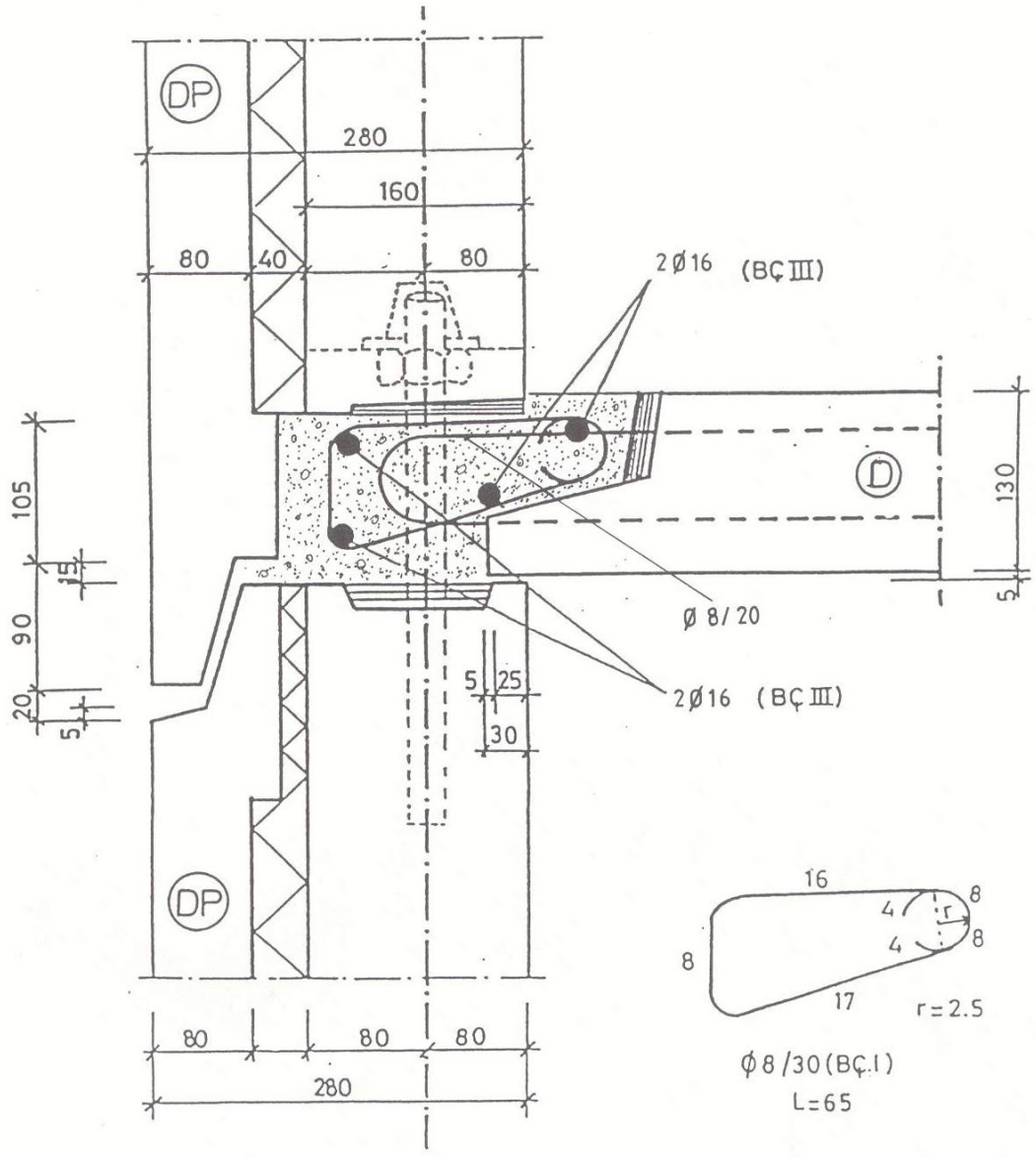
Ölçek: 1/5

Şekil B.3 Taşıyıcı iki dış duvar panosunun düşey birleşim detayı



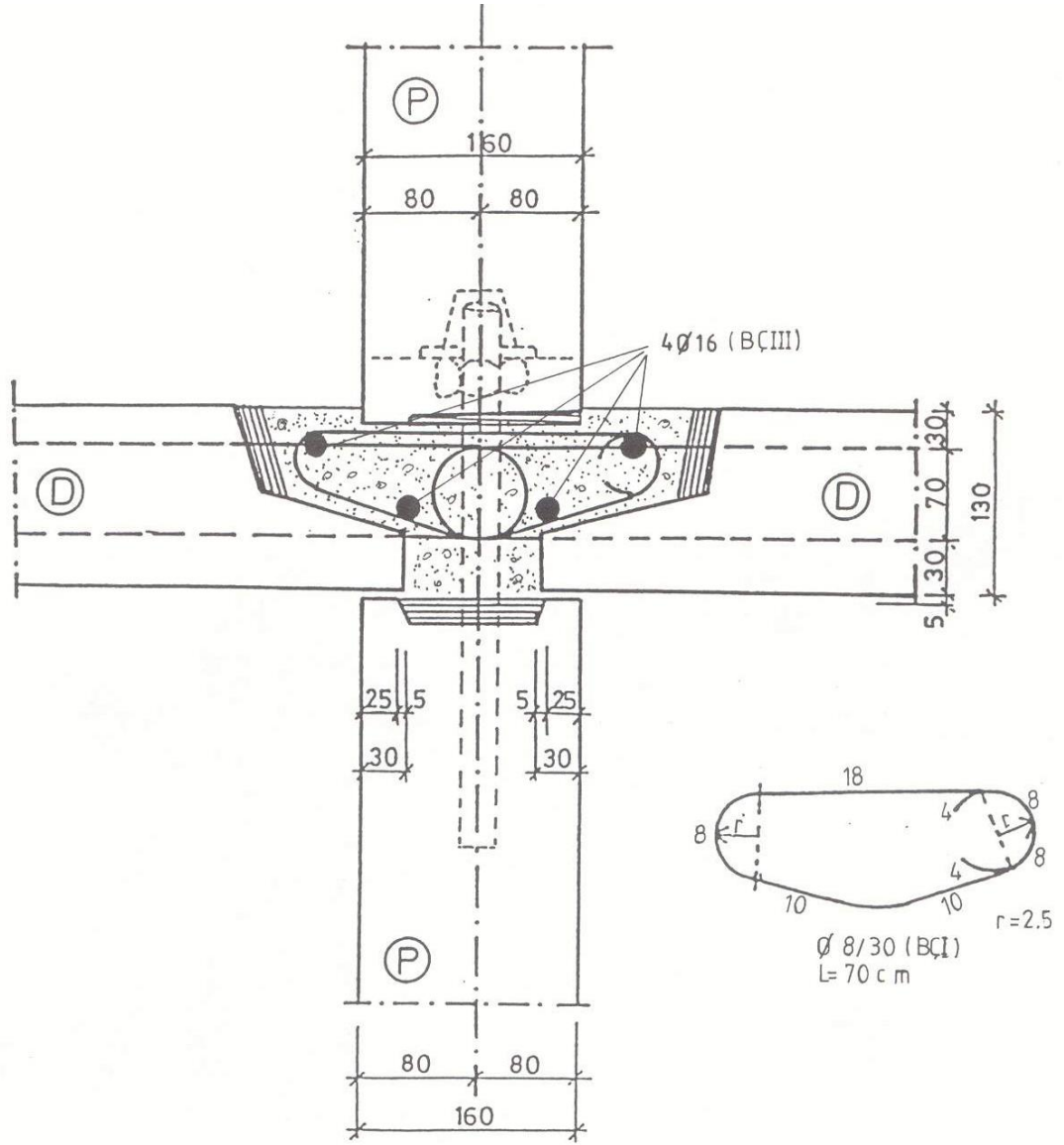
Ölçek: 1/5

Şekil B.4 Taşıyıcı dış duvar panosu ile cephe panosunun düşey birleşim detayı



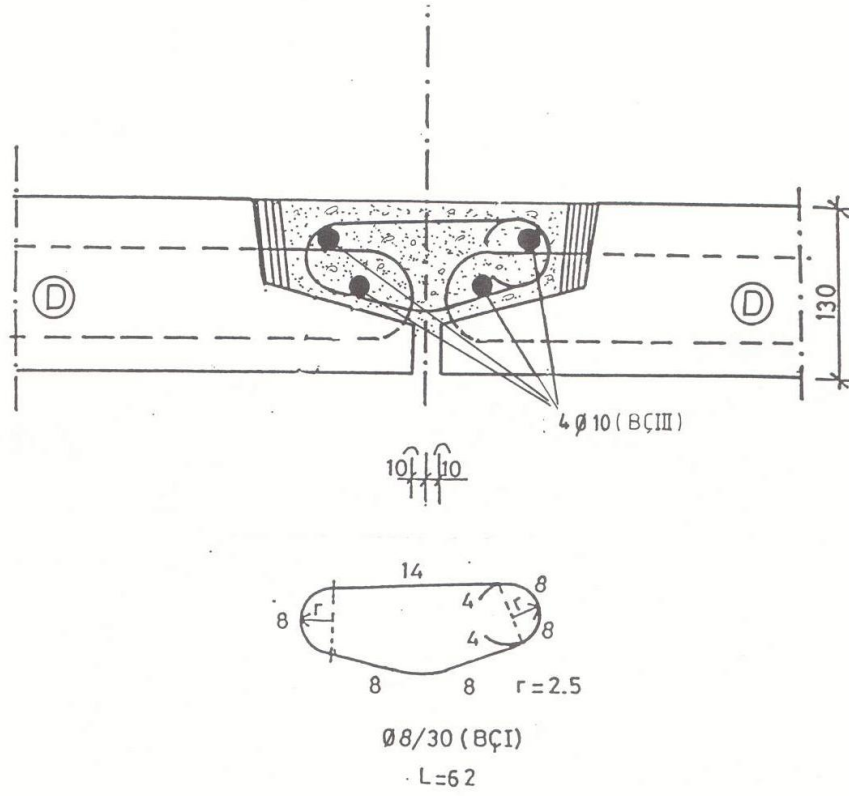
Ölçek: 1/5

Şekil B.5 Taşıyıcı iki dış duvar panosu ile döşeme panosunun yatay birleşim detayı

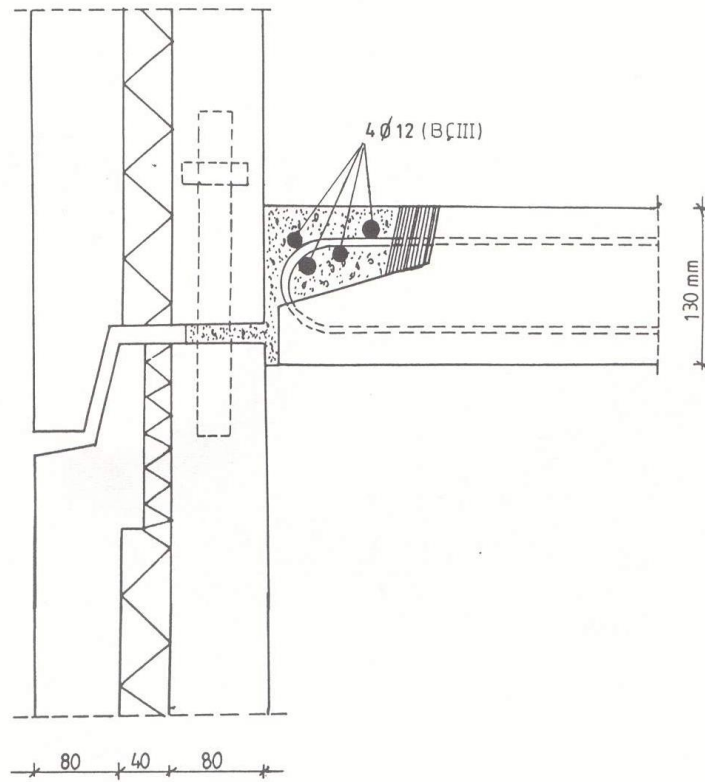


Ölçek: 1/5

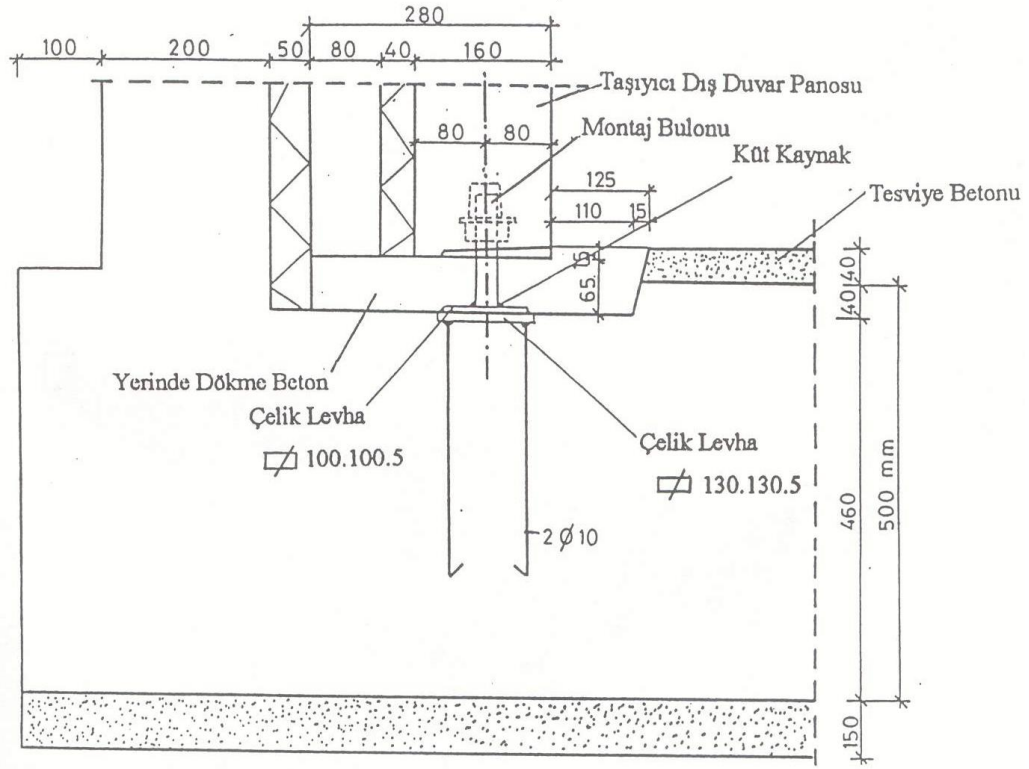
Şekil B.6 Taşıyıcı iki iç duvar panosu ile iki döşeme panosunun yatay birleşim detayı



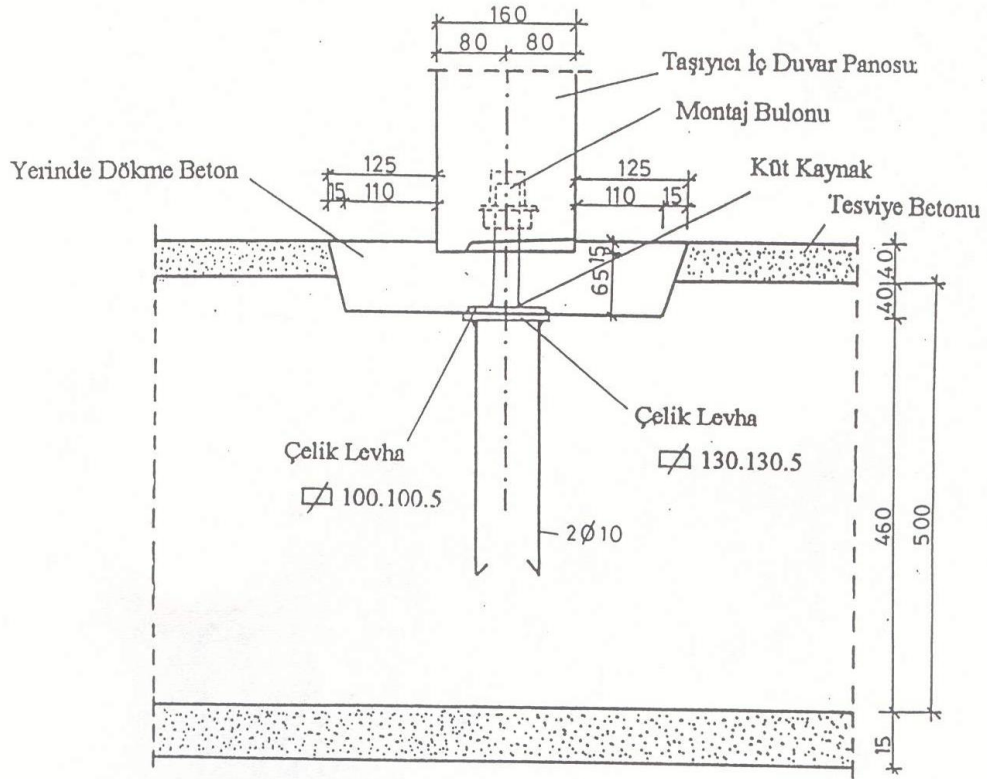
Şekil B.7 İki döşeme panosunun açıklıktaki yatay birleşim detayı



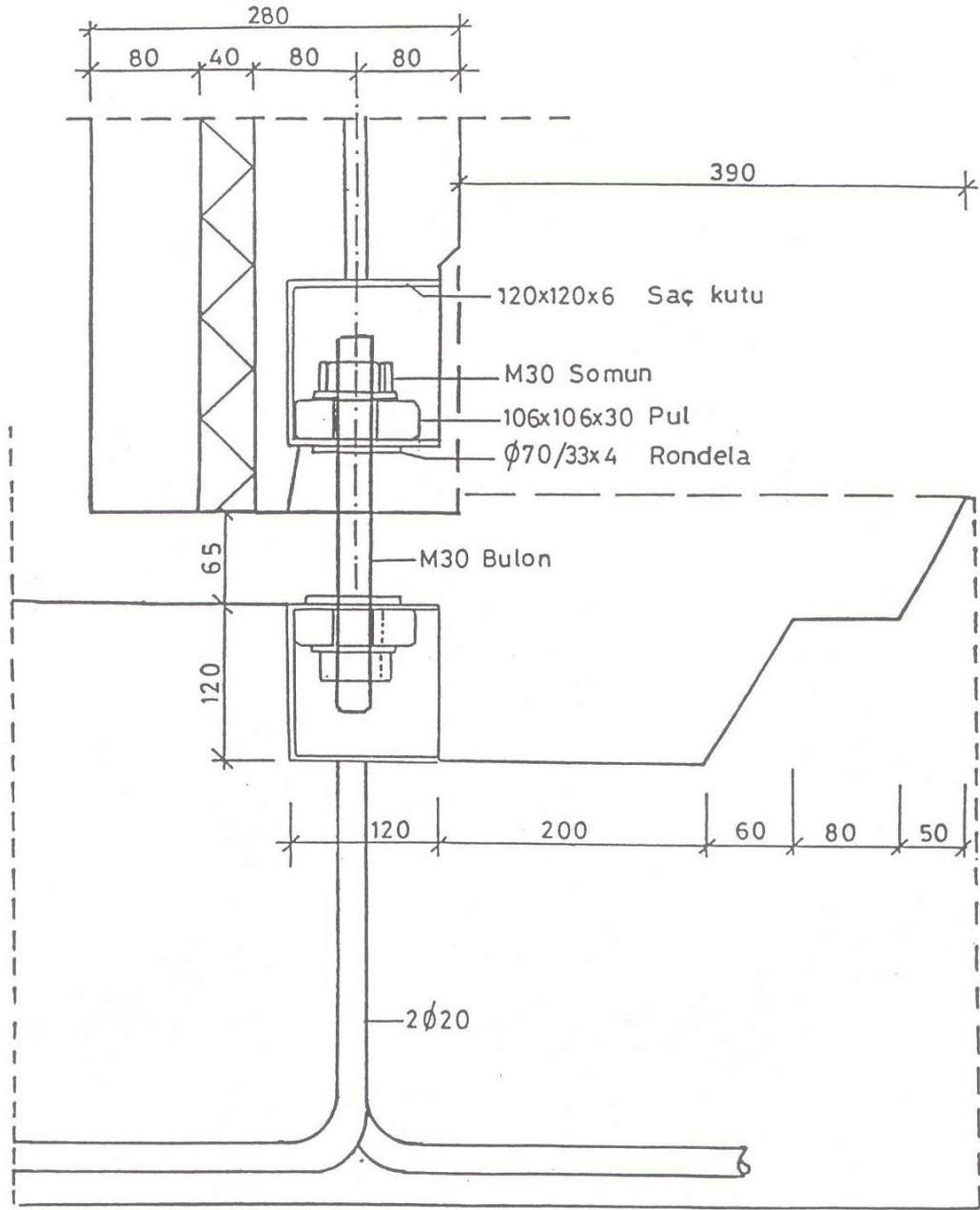
Şekil B.8 İki cephe panosu ile döşeme panosunun yatay birleşim detayı



Şekil B.9 Bodrum katta taşıyıcı dış duvar panosunun radye temelle birleşim detayı

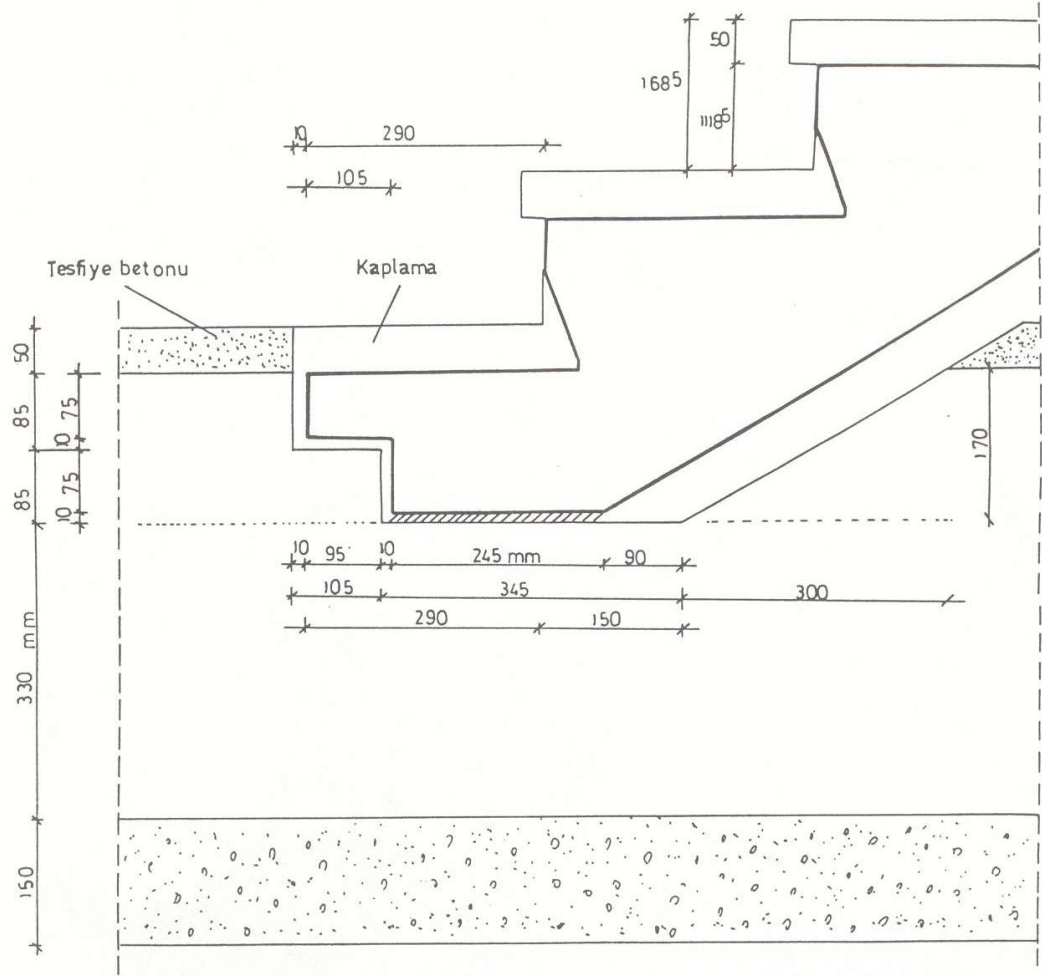


Şekil B.10 Bodrum katta taşıyıcı iç duvar panosunun temelle birleşim detayı

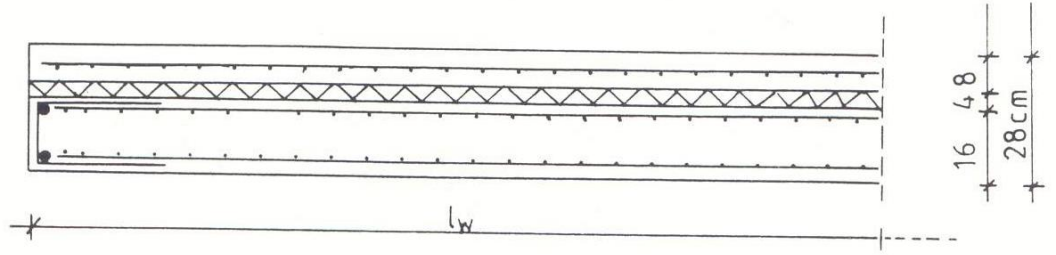


Ölçek: 1/10

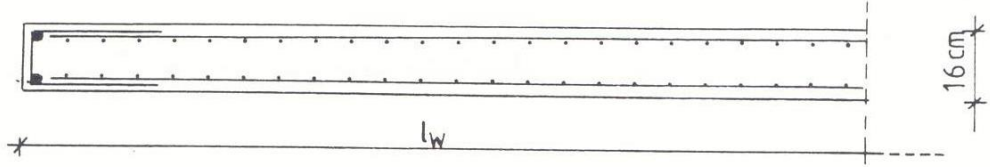
Şekil B.11 Çekme bulonunun temelle ankraj detayı



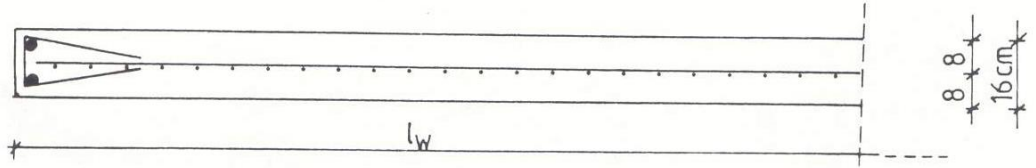
Şekil B.12 Prefabrike merdiven panosunun radye temelle birleşim detayı



Taşıyıcı dış duvar panosu



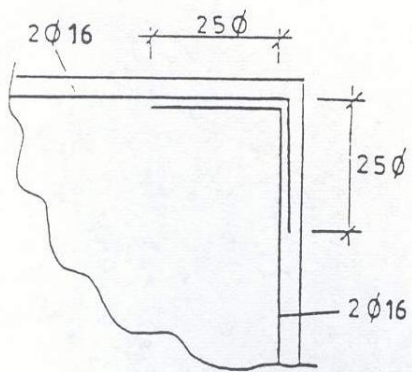
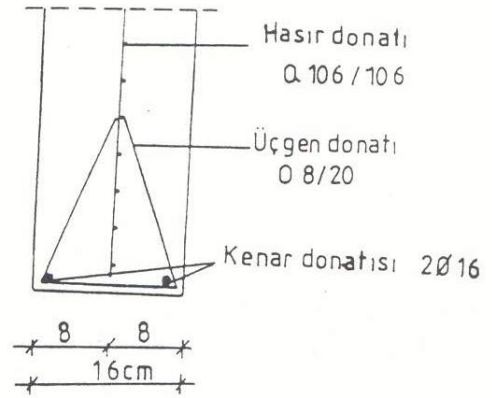
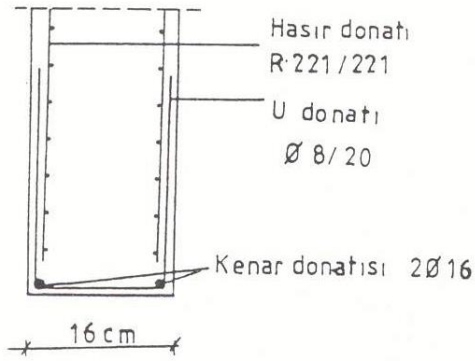
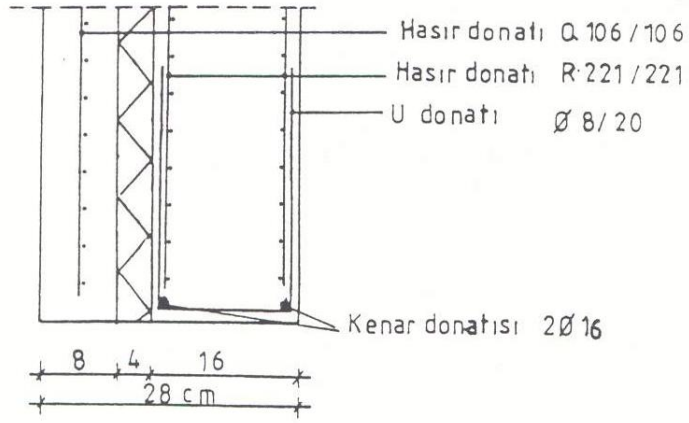
İç duvar panosu



Cephe panosu

l_w = Perde uzunluğu

Şekil C.1 Duvar panoları enkesitleri



Şekil C.2 Duvar panoları kenar detayları

ÖZGEÇMİŞ

Kevork Can NERGİS 1977’de İstanbul’da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise eğitimini Sahakyan Nunyan Ermeni Lisesi’nde tamamladı. 1995 yılında Trakya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başladı. 1999 yılında mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Analizi ve Boyutlandırma Programı’na kaydoldu. Bir yıl İngilizce hazırlık eğitiminden sonra Yapı Mühendisliği Programı derslerine devam etti.