

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PREFABRİKE YAPILARDA KENETLİ BİRLEŞİMLERİN
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Çağatay TÜMER**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**PREFABRİKE YAPILARDA KENETLİ BİRLEŞİMLERİN
TASARIMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Çağatay TÜMER
(501041024)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

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

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, prefabrike yapı sistemleri genel hatlarıyla anlatılmış, prefabrike panolu yapılarda birleşim çeşitleri ve prefabrike panolu yapılarda kenetli birleşimlerin tasarımı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca Türk Deprem Yönetmeliği (ABYYHY) tasarım esaslarına göre prefabrike panolu yapılara gelen deprem yüklerinin hesabı anlatılmış ve panolu yapıların onarım ve güçlendirilmesinden kısa olarak bahsedilmiştir. Sayısal uygulamaların ilk bölümünde kenetli birleşimlerde birleşim bölgesinin özelliğine bağlı olarak oluşan iç kuvvetlerin değişimi incelenmiş ve ikinci bölümde farklı kat adetlerinde prefabrike panolu yapıların birleşim bölgelerinin rijitlikleri değiştirilerek kat deplasmanlarındaki, iç kuvvetlerdeki ve yapı periyotlarındaki değişimler incelenmiştir.

Bu çalışmayı hazırlamamda bana yardımcı olan ve bilimsel katkılarını esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim. Ayrıca eğitim hayatım boyunca hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan sevgili aileme teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Mayıs 2006

Çağatay Tümer

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
2. PREFABRİKASYON	2
2.1. Genel	2
2.2. Prefabrikasyonun Üstünlükleri ve Olumsuzlukları	3
2.3. Türkiye’de ve Dünya’da Prefabrikasyonun Gelişimi	7
3. PREFABRİKE ELEMANLAR	12
3.1. Çubuk Elemanlar	12
3.1.1. Kiriş Elemanlar	12
3.1.2. Kolon Elemanlar	12
3.1.3. Çerçeve Elemanlar	13
3.2. Düzlemsel Elemanlar	14
3.2.1. Döşeme Panoları	14
3.2.1.1. Tekil Panoları Yan Yana Oturtulması ile Oluşturulan Döşemeler	14
3.2.1.2. Nervürlü Döşemeler	14
3.2.1.3. Dolu ve Boşluklu Döşemeler	15
3.2.1.4. Prefabrike İnce Panolarla Yapılan Döşemeler	15
3.2.1.5. Kompozit Döşemeler	15
3.2.2. Duvar Panoları	16
3.2.3. Bağ Elemanları	17
3.2.3.1. Bağ Hatılları	17
3.2.3.2. Bağ Çubukları	17
3.3. Kabuk Elemanlar	18
4. PREFABRİKE TAŞIYICI SİSTEMLER	19
4.1. Genel	19
4.2. Panolu Sistemler	19
4.3. İskelet Sistemler	22
4.4. Hücre Sistemler	23
4.5. Karışık Sistemler	25
5. PREFABRİKE PANOLU SİSTEMLERDE BİRLEŞİMLER	26
5.1. Birleşim Bölgelerinin Sahip Olması Gereken Özellikler	26
5.2. Prefabrike Elemanlarda Toleranslar ve Kontroller	29

5.3. Yük Katsayıları	30
5.4. Kesme Sürtünmesi	30
5.5. Taşıyıcı Duvar Panolarının Birleşimleri	31
5.5.1. Düşey Birleşimler	32
5.5.1.1. Mafsallı Birleşimler	33
5.5.1.2. Mekanik Birleşimler	33
5.5.1.3. Harçlı Birleşimler	33
5.5.1.4. Kenetli Birleşimler	34
5.5.2. Yatay Birleşimler	34
5.6. Döşeme Panolarının Birleşimleri	35
5.6.1. Döşeme Panolarının Birleşim Çeşitleri	36
5.6.1.1. Pano-Pano Birleşimi	36
5.6.1.2. Pano-Ana Taşıyıcı Mesnet Birleşimi	36
5.6.1.3. Pano-Tali Yön Birleşimi	36
5.7. Taşıyıcı Panolar Arasındaki Kayma Birleşimleri	37
5.7.1. Kuru Birleşimler	37
5.7.2. Islak Birleşimler	37
5.7.2.1. Kenetsiz Birleşimler	37
5.7.2.2. Kenetli Birleşimler	38
5.7.3. Panolar Arasındaki Düşey Kayma Güvenliğinin Sağlanması	39
5.7.4. Panolar Arasındaki Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması	40
5.7.4.1. Basınç Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimler	41
5.7.4.2. Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimler	42
5.7.4.3. Hem Çekme Hem Basınç Gerilmelerinin Etkisindeki Birleşimler	42
5.8. Panolar Arasındaki Basınç Birleşimleri	43
5.8.1. Pano Basınç Birleşim Çeşitleri	43
5.8.2. Pano Basınç Birleşimlerinde Sınırlamalar	44
5.8.3. Panonun Kendisinde ve Birleşimdeki Dışmerkezlik	46
5.9. Taşıyıcı Duvarlar ile Rijitlik Duvarları Arasındaki Düşey Birleşim	47
6. PREFABRİKE PANOLU YAPILARDA KENETLİ BİRLEŞİMLER	48
6.1. Genel	48
6.2. Kenetli Birleşimlerde Oluşan İç Kuvvetler	49
6.3. Yatay ve Düşey Birleşimlerin Davranışları	51
6.3.1. Yatay Birleşimlerin Davranışları	51
6.3.1.1. Elastik Süreklilik Modeli	51
6.3.1.2. Mafsallı Birleşim Modeli	51
6.3.2. Düşey Birleşimlerin Davranışları	51
6.3.2.1. Kenetsiz (Düz) Birleşimler	52
6.3.2.2. Basit Kenetli Birleşimler	52
6.3.2.3. Kenetli (Özel) Birleşimler	54
6.4. Düşey Birleşimlerin Dayanımları	55

6.4.1. Kenetsiz (Düz) Birleşimlerin Dayanımı	55
6.4.2. Basit Kenetli Birleşimlerin Dayanımı	56
6.4.3. Kenetli (Özel) Birleşimlerin Dayanımı	56
6.5. Panolu Sistemlerde Birleşim Bölgeleri Üzerinde Yapılan Deneyler	57
6.5.1. Düz ve Basit Kenetli Birleşimler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışma	57
6.5.1.1. Deneysel Program	57
6.5.1.2. Deney Sonuçları	60
6.5.1.3. Sonuçlar	65
6.5.2. Kenetli Birleşimler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışma	66
6.5.2.1. Genel	66
6.5.2.2. Deney Sonuçları	69
6.5.2.3. Aderans Kapasitesi	69
6.5.2.4. Maksimum Kapasite	69
6.5.2.5. Artık Kapasite	69
6.5.2.6. Özet ve Sonuçlar	71
6.5.3. Ek Yerleri Üzerinde Yapılan Diğer Deneyler	72
6.5.3.1. Ek Yerleri Üzerinde Yapılan Statik Deneyler	72
6.5.3.2. Ek Yerleri Üzerinde Yapılan Dinamik Yükleme Deneyleri	75
6.5.4. Döşeme Plaklarının Ek Yerleri Üzerindeki Deneyler	81
6.6 Düz ve Kenetli Birleşimlerin Tasarımında Dikkat Esilecek Hususlar	83
6.7 Sayısal Örnek	85
7. PANOLU YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI	89
7.1. Genel	89
7.2. Prefabrike Panolu Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı	91
7.3. Prefabrik Panolu Yapılarda Gözlenmiş Deprem Hasarları	95
7.4. Prefabrike Panolu Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi	96
7.4.1. Prefabrike Panolu Yapıların Onarımı	97
7.4.2. Prefabrike Panolu Yapıların Güçlendirilmesi	98
8. SAYISAL UYGULAMA-1	100
8.1. Rijitlik Değişimi Sonucu Kesme Kuvvetinde Meydana Gelen Değişimler	101
8.2. Kenet Açılarının Değişmesi Sonucu İç Kuvvetlerde Meydana Gelen Değişim	104
8.3. Farklı Mesnet Genişlikleri Altında Kesme Kuvvetlerinin Değişimi	107
8.4. Farklı Sayıdaki Donatıların Birleşimdeki Kesme Kuvvetine Etkisi	108
9. SAYISAL UYGULAMA-2	109
9.1. Farklı Kat Adetlerine Göre Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması	113
9.2 Rijitlik Değişimlerine Göre Sonuçların Karşılaştırılması	120
10. SONUÇLAR	130
KAYNAKLAR	134
ÖZGEÇMİŞ	136

KISALTMALAR

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	: American Concrete Institute
BS	: British Standart
NIST	: National Institute of Standarts and Technology
PCI	: Precast Prestressed Concrete Institute
PRESSS	: Precast Seismic Structural Systems
TS	: Türk Standardı

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 : Uzunluk ve Genişlik Ölçülerinin Sınır Tolerans Değerleri.....	29
Tablo 5.2 : Kesit Boyutlarının Sınır Tolerans Değerleri	30
Tablo 5.3 : Sürtünme Katsayıları	30
Tablo 5.4 : β değerleri.....	39
Tablo 6.1 : Deney Numunelerinin Detayları	59
Tablo 6.2 : Deneysel ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması	62
Tablo 6.3 : Deney Numunelerinin Detayları	68
Tablo 6.4 : Panel Bağlantıları Test Sonuçları	70
Tablo 6.5 : Maksimum ve Artık Kapasite Sonuçları	71
Tablo 6.6 : Hashim ve Abdul Wahab Tarafından Yapılan Deneyin Detayları....	73
Tablo 6.7 : Tassios ve Tsoukantas Tarafından Yapılan Deneyin Detayları.....	75
Tablo 7.1 : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı	93
Tablo 7.2 : Etkin Yer İvme Katsayısı	93
Tablo 7.3 : Bina Önem Katsayısı	94
Tablo 7.4 : Spektrum Karakteristik Periyotları	94
Tablo 7.5 : Hareketli Yük Katılım Katsayısı	94
Tablo 8.1 : Değişen Dış Kuvvetler Sonucu Kesme Kuvvetlerindeki Değişim	101
Tablo 8.2 : Farklı Dış Kuvvetler Sonucu Maksimum Kesme Kuvvetlerindeki Değişim.....	104
Tablo 8.3 : İlk Kenet Alt Eğimli Yüzeyinde ve Kenetsiz (Düz) Birleşimin Aynı Bölgesindeki İç Kuvvet Değişimleri.....	105
Tablo 8.4 : Farklı Mesnet Genişliği Altında Kesme Kuvveti-Rijitlik Değişimi..	107
Tablo 8.5 : Fırkete Donatısı Sayısının Maksimum Kesme Kuvvetine Etkisi.....	108
Tablo 9.1 : Spektral Analizde Kullanılan Bina Bilgileri.....	110
Tablo 9.2 : Yapıyla İlgili Deprem Parametreleri	110
Tablo 9.3 : 4 Katlı Yapının Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	113
Tablo 9.4 : 6 Katlı Yapının Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	115
Tablo 9.5 : 8 Katlı Yapının Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	117
Tablo 9.6 : 4 Katlı Yapının Rijitlik Değişimlerine Bağlı Deplasmanları.....	120
Tablo 9.7 : 6 Katlı Yapının Rijitlik Değişimlerine Bağlı Deplasmanları.....	122
Tablo 9.8 : 8 Katlı Yapının Rijitlik Değişimlerine Bağlı Deplasmanları.....	124
Tablo 9.9 : Farklı Rijitlik ve Kat Adetlerine Ait Yapı İlk 3 Periyotları	126
Tablo 9.10 : 4 Katlı Binada Farklı Rijitliklere Bağlı İç Kuvvet Değişimleri.....	127
Tablo 9.11 : 6 Katlı Binada Farklı Rijitliklere Bağlı İç Kuvvet Değişimleri.....	128
Tablo 9.12 : 8 Katlı Binada Farklı Rijitliklere Bağlı İç Kuvvet Değişimleri.....	129

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Kat Hizasının Yarısında Oluşturulmuş Kaynaklı Kolon-Kolon Birleşimi.....	13
Şekil 3.2 : H ve T Formlu Çerçeveler.....	13
Şekil 3.3 : Nervürlü Döşeme Sistemi.....	15
Şekil 3.4 : Boşluklu Döşeme Pano Enkesiti.....	15
Şekil 3.5 : Kompozit Döşeme.....	15
Şekil 3.6 : Bağ Hatlı ve Bağ Çubukları Durumu	18
Şekil 4.1 : Büyük Boy Panellerle Oluşturulmuş Yapı Sistemi ve Elemanları	20
Şekil 4.2 : Panel Elemanlarla Taşıyıcı Sistem Düzenleme	21
Şekil 4.3 : Statik Bakımdan Kolon-Kiriş Sistemler	22
Şekil 4.4 : Çerçeve Türü İskelet Sistemlerde Kuruluş Şeması	23
Şekil 4.5 : Kutu Prefabrike Sistem Özellikleri	24
Şekil 4.6 : Depremde Gelen Moment Altında Son Gerilme Çubuklarının Durumu.....	25
Şekil 5.1 : Rijit, Yarı Rijit ve Açık Düşey Birleşimler.....	32
Şekil 5.2 : Mekanik Birleşim Örneği	33
Şekil 5.3 : Duvar Panellerinin Çelik Plakalar Yardımıyla Birleşimi	34
Şekil 5.4 : Az ve Çok Katlı Yapılarda Duvar Paneli-Temel Birleşimi	35
Şekil 5.5 : Döşeme Panoları Aralarındaki Kuvvetler	35
Şekil 5.6 : Döşeme Panolarının Bağ Çubuğu Yardımıyla Birleşim.....	36
Şekil 5.7 : Döşeme Panolarında Konsol Uygulanması	36
Şekil 5.8 : Kenetsiz Birleşimler	38
Şekil 5.9 : Kenetli Birleşimler	38
Şekil 5.10 : Birleşim Kontrol Sistemleri	44
Şekil 5.11 : Kenetlenme Boyu İçin Kesit	45
Şekil 5.12 : Birleşimdeki ve Duvar Panosundaki Dış Merkezlikler.....	46
Şekil 5.13 : Taşıyıcı Duvar-Rijitlik Duvarı Birleşimi	47
Şekil 6.1 : Kenetli Birleşimde Oluşan İç Kuvvetler	49
Şekil 6.2 : Kenetli Birleşimlerde Oluşan Hasar Çeşitleri	50
Şekil 6.3 : Basit Kenetli Birleşimde Panel Kalınlığı, Kenet Genişlik-Derinlik İlişkisi	52
Şekil 6.4 : Bir Tarafında Oyuk Olmayan Birleşim	53
Şekil 6.5 : Panel Birleşim Bölgesinde Çekme Gerilmesi Oluşması Durumu	53
Şekil 6.6 : Kilit Parçaları (Elemanları) Hayali Kesitleri.....	55

Şekil 6.7 : Kenetli Birleşim Kesiti	56
Şekil 6.8 : Deney Numunelerinin Özellikleri	58
Şekil 6.9 : Yük Tipleri.....	59
Şekil 6.10 : Farklı Donatı Aralıkları ve Mesnet Genişlikleri Olması Halinde Yük ve Kayma Deformasyonları Arasındaki İlişki.....	62
Şekil 6.11 : Farklı Yük Tiplerindeki Hasar Çeşitleri	63
Şekil 6.12 : Farklı Donatı Sayılarına Ait Kayma Dayanımları	63
Şekil 6.13 : Farklı Mesnet Genişliklerine Ait Kayma Dayanımları	64
Şekil 6.14 : Donatı Şekillerinin Dayanım Üzerindeki Etkileri	64
Şekil 6.15 : Mesnet Şekillerinin Dayanım Üzerindeki Etkileri	64
Şekil 6.16 : Çerçeve Boşluklarına Prefabrike Panolar Yerleştirilmiş Bir Sistem	66
Şekil 6.17 : Simetrik ve Basamaklı Olarak Yapılan Kenetler.....	67
Şekil 6.18 : Kenetler Arasındaki Mesafeler	67
Şekil 6.19 : Kenet Boyutları	67
Şekil 6.20 : Yük-Deformasyon İlişkisi	70
Şekil 6.21 : Kenetlerin Kesme Gerilmesi Taşıma Gücüne Etkisi	74
Şekil 6.22 : Donatılı Birleşimlerin Kesme Dayanımı	75
Şekil 6.23 : Basınç Kuvvetinin Kayma Dayanımı Üzerindeki Etkisi	76
Şekil 6.24 : Donatıların Kayma Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	78
Şekil 6.25 : Donatılı ve Kenetli Ek Yerine Sahip Birleşimin Kayma Dayanım.....	78
Şekil 6.26 : Birleşim Bölgesinde Bulunan Donatının Davranışı.....	79
Şekil 6.27 : Değişik Türdeki Birleşim Bölgelerinin Davranışları	80
Şekil 6.28 : Düzgün Yayılı Olmayan Düşey Basınç Altında Yatay Birleşim Yerinde Gelişen Kesme Dayanımı.....	80
Şekil 6.29 : Kalan Kesme Dayanımının Başlangıç Dayanımına Oranı.....	81
Şekil 6.30 : Çeşitli Tip Döşemelerin Yatay Yük Altındaki Davranışları.....	82
Şekil 6.31 : Penelis Tarafından Denenen Döşeme Sistemi ve Oluşan Çatlakların Şekli.....	82
Şekil 6.32 : Sistem Şeması.....	86
Şekil 7.1 : Farklı Özelliklere Sahip Betonarme Elemanların Yük-Deformasyon İlişkisi.....	90
Şekil 7.2 : Pano Birleşim Bölgelerinin Köşebentler Yardımı ile Güçlendirilmesi..	98
Şekil 7.3 : Şekil 7.3 Panolu Sistemlere Duvar Takviyesi.....	99
Şekil 8.1 : Sistemin Model Şeması.....	100
Şekil 8.2 : Dış Kuvvet-İç Kuvvet (Maksimum Kesme Kuvveti) İlişkisi.....	101
Şekil 8.3 : Rijitlik-İç Kuvvet (Maksimum Kesme Kuvveti) İlişkisi.....	102
Şekil 8.4 : Farklı Rijitliklerde Kesme Kuvvetlerinin Durumu.....	103
Şekil 8.5 : Kesme Kuvveti Değişimleri	105
Şekil 8.6 : Yatay Doğrultuda Normal Kuvvet Değişimleri (Basınç).....	105
Şekil 8.7 : Düşey Doğrultuda Normal Kuvvet Değişimleri (Basınç).....	106
Şekil 8.8 : Farklı Mesnet Genişlikleri İçin Kesme Kuvvetinin Rijitlikle Değişimi.....	107

Şekil 9.1	: Panolu Yapının Davranış Biçimleri.....	109
Şekil 9.2	: Yapının Plandaki Boyutları	111
Şekil 9.3	: Yapının Bilgisayar Modeli	112
Şekil 9.4	: 4 Katlı yapının çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması	114
Şekil 9.5	: 6 Katlı yapının çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması	116
Şekil 9.6	: 8 Katlı yapının çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması	118
Şekil 9.7	: 4 Katlı yapıda farklı rijitliklere ait deplasman değişimleri.....	121
Şekil 9.8	: 6 Katlı yapıda farklı rijitliklere ait deplasman değişimleri.....	123
Şekil 9.9	: 8 Katlı yapıda farklı rijitliklere ait deplasman değişimleri.....	125

SEMBOL LİSTESİ

A_{cr}	: Çatlak yüzeyi
A_j, A_c	: Birleşim bölgesinin kesit alanı
A_{ke}	: Kenetlerin kesit alanı toplamı
A_n	: Temas yüzeyine dik teçhizat alanı
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
A_s	: Çekme teçhizatı alanı
$A_{sç}$	: Çekme bölgesindeki teçhizat alanı
A_{sf}	: Kesme sürtünme teçhizat alanı
$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
A_{tb}	: Döşeme panoları arasındaki yerinde dökme beton alanı
a_{jm}	: m'inci dikdörtgendeki taban uzunluğu
a_t	: Duvar üstüne oturan döşemelerin üst duvar altına girme boyu
b	: Mesnet genişliği
b_{ke}	: Kenet genişliği
d	: Döşeme panosu faydalı yüksekliği
d_n	: Binanın i'inci katında F_n fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
f_{cd}	: Beton hesap basınç mukavemeti
f_{ctd}	: Betonun hesap kesme mukavemeti
f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme mukavemeti
f_{ck}, f'_c	: Beton karakteristik basınç mukavemeti (silindir)
f_{cu}	: Beton karakteristik basınç mukavemeti (küp)
f_{yk}	: Çelik karakteristik akma mukavemeti
g	: Sabit (ölü) yük, yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)
h	: Kat yüksekliği
H_d	: Temas yüzeyine dik çekme kuvveti
H_i	: Binanın i'inci katının temel üstünden itibaren ölçülen yüksekliği (m)
h_{ke}	: Kenet yüksekliği
I	: Bina önem katsayısı
I_w	: Perde uzunluğu
m_i	: Binanın i'inci katının kütlesi ($m_i = w_i / g$)
n	: Kenet sayısı, birleşimdeki donatı adedi
N_d	: Yatay yükten gelen normal kuvvet
N_r	: Rijitleştirilen taşıyıcı duvarın, rijitlik duvarı bölgesindeki toplam düşey kuvveti
q	: Hareketli yük
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, rijitlik
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
s^*	: Kesme kuvvetinin birim yükseklik için belirli bir seviyedeki tasarım değeri
$S(T)$	: Spektrum katsayısı

T	: Bağ elemanlarındaki çekme kuvveti, bina temel periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
t_{ke}	: Kenet derinliği
t_w	: Pano kalınlığı
V_d	: Hesap kesme kuvveti
V_{fd}	: Duvar panosu mesnedinde, kesme kuvveti hesap değeri
V_{res}, V_u	: Kesme kuvveti altındaki kesitin taşıma gücü
V_t	: Taban kesme kuvveti
w_i	: Binanın i 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı
W	: Bina toplam ağırlığı
z	: Manivela kolu
α	: Düz ve kenetli birleşimler için bir katsayı
α_{er}	: Katsayı (4/3)
α_{ke}	: Kenet eğimli yüzeyinin yatayla yaptığı açı
$\beta_1, \beta_2, \beta_3$	: Katsayı
η	: Düz ve kenetli birleşimler için bir katsayı
μ_e	: Sürtünme katsayısı
μ_s	: Sürtünme kuvveti
ρ	: Donatı oranı
σ_m	: m 'inci dikdörtgendeki gerilme değeri
λ	: Beton bağıl yoğunluğuna bağlı katsayı
Γ_b^*	: Betonun çekme dayanım tasarım değeri
v_c	: Düz ve kenetli birleşimler için bir katsayı
χ	: 1.6-d (d, m. cinsinden)
ΔF_N	: Binanın N 'inci katına (tepesine) etkiyen eşdeğer deprem yükü

PREFABRİKE YAPILARDA KENETLİ BİRLEŞİMLERİN TASARIMI

ÖZET

Fabrika ortamında önceden yüksek kalite standartlarında üretilmiş elemanların yapım yerine taşınarak monte edilmesi anlamına gelen prefabrikasyon teknolojisi özellikle İkinci Dünya Savaşı'nın ardından yapı üretiminde meydana gelen endüstrileşme sonucunda ortaya çıkmıştır. Prefabrikasyon teknolojisinin gelişmesi ile birlikte bu tür sistemlerin en kritik yerleri olan birleşim bölgeleri ile birlikte çok sayıda deneysel ve teorik araştırmalar yapılmıştır. Sistemli bir şekilde yapılmayan bu araştırmalar ABD ve Japonya'nın ortak çalışmaları sonucu oluşturulan PRESSS programı ile birlikte daha koordineli ve kapsamlı hale getirilmişlerdir.

Bu tez çalışmasında prefabrike panolu yapılarda kenetli birleşimler ayrıntılı bir şekilde incelenmiş, bu konuyla ilgili yapılan deneysel çalışmalar anlatılmıştır. Ayrıca prefabrike panolu yapılarda birleşimler, panolu yapıların depreme dayanıklı tasarımı ve panolu yapıların onarım ve güçlendirilmesi gibi konulardan bahsedilmiş, farklı rijitlik oranlarına sahip birleşim bölgeleriyle ilgili sayısal örnekler yapılmıştır.

On bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde bu çalışmanın kapsamı ve amacı yer almaktadır.

İkinci bölümde prefabrikasyon kavramı genel hatlarıyla anlatılmış, prefabrikasyonun üstünlükleri ve olumsuzlukları, Türkiye'de ve Dünya'da prefabrikasyonun gelişimi hakkında bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde prefabrike yapı sistemlerinde kullanılan elemanlar tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde prefabrike taşıyıcı sistemler anlatılmıştır.

Beşinci bölümde prefabrike panolu sistemlerde birleşimler "TS 9967" 'de yer alan hükümler ışığında anlatılmıştır.

Altıncı bölümde prefabrike panolu yapılarda kenetli birleşimler ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Yedinci bölümde prefabrike panolu yapıların depreme dayanıklı tasarımı, panolu

yapılarda gözlenmiş deprem hasarları ve panolu yapıların onarım ve güçlendirme çalışmalarından bahsedilmiştir.

Sekizinci bölümde farklı rijitlik ve özelliklere sahip birleşim bölgelerindeki iç kuvvet değişimleri incelenmiştir.

Dokuzuncu bölümde farklı kat adetlerinde oluşturulan prefabrike panolu bir yapıda birleşim bölgelerinin rijitliklerinin değişmesi sonucu kat deplasmanları, iç kuvvetler ve yapı periyotlarının değişimi incelenmiştir.

Onuncu ve son bölümde bu çalışmanın kapsamında incelenen konular hakkında elde edilen sonuçlar anlatılmıştır.

DESIGN OF CASTELLATED JOINTS IN PRECAST STRUCTURES

SUMMARY

Prefabrication technology, which means the structural elements being produced in the factory environment according to high quality standards, moved to the construction site and assembled together, has been introduced especially as a result of the industrialization of building production after the World War II.

During the development of the prefabrication technology, lots of experiments and theoretical research projects were conducted on the connections, which are the most critical areas of these systems. These experiments and research projects, which were not done in a systematic fashion, had then become more coordinated and comprehensive as a result of the “PRESSS” program, a joint study of U.S.A. and Japan.

In this thesis, castellated joints in precast shear wall structures were studied in detail, and experiments conducted on this subject were mentioned. Also, subject like connections in precast shear wall structures, design and strengthening of shear wall structures according to earthquakes were studied and some numerical examples on connections with different stiffness ratios were calculated.

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

In the second section the term prefabrication was defined in outlines. The advantages and disadvantages of prefabrication and the improvement of prefabrication in Turkey and the World were explained.

In the third section, elements being used in the precast structures were introduced.

Fourth section studies the precast supporting systems.

In the fifth sections, connections in precast shear wall structures were explained according to the TS 9967 standart.

In the sixth section, castellated joints in precast shear wall structures were explained in detail.

In the seventh section, the seismic design of precast shear wall structures, earthquake damages observed in these structures and the studies of repair and strengthening of shear wall structures were described.

In the eighth section, inner force variations in the connection regions which have different stiffness and characteristics were studied.

In the ninth section, as a result of the changes in the stiffness of connection regions in a precast shear wall structure with different stories, story displacement, inner forces and the variation of building periods were studied.

In the tenth section, results achieved in the extent of this study were explained.

1. GİRİŞ

Prefabrikasyonun tarihi ilk uygarlıklar kadar eskidir. Günümüzde ise prefabrikasyon kavramının ilk temelleri 19. yüzyılın başlarında atılmıştır. İngiltere’de yayınlanan ilk teknik makalenin (George Godwin, 1836) ardından prefabrikasyon yöntemlerinin kullanılmasına cesaretle bakılmaya başlanmıştır.

Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında büyük tahribata uğramış şehirlerin yeniden kurulması amacıyla, hızlı, ekonomik ve güvenli bir şekilde yeniden yapılanma içine giren ülkeler, kullanmakta oldukları geleneksel sistemin yıllık üretim hızının bu olguları karşılayamayacaklarını düşündüklerinden yeni yapım yöntemleri geliştirmek zorunda kalmışlardır. Sonuçta bu talepler önceden üretilmiş elemanlarla oluşturulan yapım sistemleri sayesinde karşılanmış ve az gelişmiş ülkeler için alternatif bir yapım sistemi oluşturulmuştur.

Prefabrike sistemlerin hızlı üretim, ekonomi, iklim koşullarından tasarruf sağlama gibi özellikleri uzun yıllar boyunca ülkemiz tarafından gözetilmemesi nedeniyle Türkiye’de prefabrike yapıların artması gecikmiştir. Bunun sebebi olarak istihdamın azalacağı ve kaynak gerektireceği gibi yanlış tahminlerde bulunulması rahatlıkla söylenebilir. Ayrıca ülkemizin İkinci Dünya Savaşı’nda tahribata uğramamış olması prefabrikasyonun gecikme sebepleri arasında gösterilebilir. Bununla beraber 1960’lı yıllarda tek katlı endüstriyel yapıların prefabrike olarak yapılmasıyla ilk uygulamalar başlamıştır. Özellikle son yıllarda hızlı inşa edilmeleri nedeniyle endüstri yapılarının çoğu prefabrike olarak yapılmaktadırlar. Ayrıca köprü uygulamalarında da en akılcı çözüm olmaları nedeniyle uygulamalar hızla yayılmaktadır.

Bu çalışmada prefabrikasyon kavramı genel hatlarıyla anlatılmış prefabrike panolu sistemlerde birleşimlerden bahsedilmiş ve özel olarak kenetli birleşimler üzerinde durulmuştur. Birleşimlerle ilgili yapılan deneysel çalışmalar anlatılarak özellikle kenetli birleşimlerin uygun olarak tasarlanmasıyla ilgili faydalı bilgiler verilmiştir.

2. PREFABRİKASYON

2.1 Genel

Kısaca önceden üretilmiş elemanlarla yapım anlamına gelen prefabrikasyon, genel olarak yapıyı oluşturan eleman ve bileşenlerin üretim tesislerinde seri ve özel olarak üretilerek yapım sahasında birleştirilmesi esasına dayanan bir yapım şekli olarak tanımlanabilir.

Teknoloji düzeyini yükseltmek ve/veya üretim yöntemlerinde örgütlenmeye yönelik önlemler olarak seri (hızlı) üretim yoluyla verimliliğin artırılması anlamına gelen endüstrileşme, yapım sistemlerinde iki şekilde olmuştur. Birincisi; yapımın şantiye ortamında endüstrileşmesi sonucu oluşan çağdaş yerinde yapım sistemleridir. Buna örnek olarak tünel kalıpla yapım sistemi verilebilir. İkincisi ise yapımın fabrikada endüstrileşmesi yani prefabrikasyondur.

Endüstriyel üretimin özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- İş bölümü,
- İşlemlerin sıralanması ve akılcı olarak düzenlenmesi,
- Kesiksiz-sürekli üretim,
- İşlemlerde tekrar ve uzmanlaşma,
- Makineleşme,
- Standartlaştırma,
- Kaynakların en az israfı,
- Yönetim işlevinin yerine getirilmesi,

Endüstriyel yapı üretimi genel olarak, rasyonelleşme (rasyonalizasyon), makineleşme (mekanizasyon) ve bunların sonucu olarak ortaya çıkmış prefabrikasyon unsurlarının birleşmesiyle oluşur.

Rasyonelleşme; yeni yapı malzemelerinin geliştirilmesi, yapım süresini azaltacak yeni yöntemler uygulanması, iş gücünden tasarruf sağlayacak yeni iş yöntemlerinin geliştirilmesi, şantiye organizasyonunun yoğunluğunun arttırılması, yapı üretiminde daha ucuz, daha seri, daha kolay yöntemler geliştirilmesi gibi kavramlardan oluşur.

Makineleşme (mekanizasyon); üretimin bütün aşamalarında mümkün olduğu kadar el emeği yerine makinelerin kullanılmasıdır.

Bu kavramların birleşmesinden doğan prefabrikasyon ise; yapıyı oluşturan unsurların şantiye yerine fabrikalarda hazırlanarak, yapım yerinde bu şekilde uygulanmasıdır.

2.2 Prefabrikasyonun Üstünlükleri ve Olumsuzlukları

Prefabrike yapıların genel olarak iki şekilde yapıldıkları kabul edilir;

a) Geçici prefabrike yapılar: Bulundukları yerde kullanım süreleri sürekli olmayan şantiye binaları, acil ihtiyaç durumlarında oluşturulan barakalar, yemekhaneler ve yatakhaneler gibi daha çok çelik ve ahşap malzemelerden üretilmiş genellikle bir veya iki katlı olabilen ön üretimli yapılardır. Taşınabilir olduklarından avantajlı oldukları düşünülse de ekonomik ömürleri bu yüzden uzun olmamaktadır.

b) Kalıcı prefabrike yapılar: Genellikle betonarme olarak inşa edilen bu tür yapılar bir sefer kurulurlar ve kuruldukları yerde kalırlar. Betonarme olarak ön üretimli elemanlarla oluşturulan endüstri yapıları ve çok katlı konut tipi yapılar kalıcı olarak oluşturulan prefabrike yapılara örneklerdir.

Prefabrikasyon teknolojisinin üstünlükleri genel hatlarıyla aşağıda sıralanmıştır. [16]

1) Prefabrike sistemlerde yapım çok daha hızlı bir şekilde gerçekleşecektir. Bunun sonucu olarak mal sahibi kimse arsayı aldıktan çok kısa bir süre içerisinde yapıya sahip olacaktır. Prefabrike sistemlerde, yerinde dökme betonarme sistemlerde olduğu gibi; betonun mukavemetini kazanmasını bekleme, kalıp kurma-sökme gibi durumlar söz konusu olmadığı için çok kısa sürelerde binanın karkas sistemi oluşturulabilir.

2) Genel olarak yapı maliyetlerinde azalmalar olacaktır. Prefabrike yapılarda; yapı iskele malzemesi, kalıp malzemesi, geçici destek elemanları ve benzeri malzemelere ihtiyaç duyulmadığından maliyetler azalmaktadır.

Ayrıca yapım süresinin çok kısılması nedeniyle, kurulan tesislerin kısa sürelerde işletmeye açılması ile, yatırımcının parası daha çabuk bir şekilde geri dönecektir.

3) Yerinde dökme beton prefabrike yapılarda oldukça az bir şekilde kullanıldığından fazla işçi talebi ve önemli derecede hammadde ihtiyacı olmayacaktır.

4) Prefabrike yapılar yapım sırasında genellikle kötü hava şartlarından etkilenmezler. Kış şartlarında kimi zaman durma noktasına gelen diğer yapım sistemlerine göre prefabrike yapılar, elemanları fabrikadan getirildiklerinden kış şartlarından kolay kolay etkilenmezler.

5) Yapı elemanları kütle üretim metotları ile üretilir. Elemanların kalıpları hızlı bir şekilde yeniden kullanılabilirler. Prefabrike elemanlara karışık ve zor detayların verilmesinden kaçınılmalıdır. Çünkü bu tür elemanların inşa alanında uygulanması zor olabilmektedir. Ayrıca bu tür elemanlar ekonomik değildirler.

6) Prefabrike yapıyı oluşturan elemanlar mükemmel yakın bir şekilde ve uygun standartlarda üretilirler. Çünkü bu tür elemanlar eğitilmiş ve uzmanlaşmış emek gücüyle fabrika koşullarında üretilmektedirler.

Prefabrike elemanların malzeme kalitesi , üretim sürecinde sürekli denetlendiği ve fabrika içinde üretim olduğundan kötü hava şartlarından etkilenmediği için oldukça kalitelidir. Bu durum da yapıyı oluşturan elemanların daha uzun ömürlü olmaları ve daha az bakıma ihtiyaç duymaları anlamına gelecektir. Şantiye koşullarında işin kaliteli bir şekilde yapılması usta ve teknik elemanların başarısı ve çeşitli kontrol mekanizmaları ile mümkündür. Bu yüzden küçük inşaatlarda yeterli derecede kontrol mekanizması olmadığından kalitesiz yapılar oluşmaktadır. Halbuki prefabrikasyonda tekrarlı üretim sonucu kalite ve düzen en önemli unsurlardır.

7) Fabrikada üretilen elemanlar yapım yerine götürülmeden önce kontrol edilebilirler ve bunun sonucunda standart dışı üretilen bir elemanı eleme fırsatını yaratır.

8) Elektrik ve su tesisatı gibi yapısal olmayan elemanlar prefabrike elemanların içerisinde oluşturulan boşluklarda birleştirilebilirler.

9) Prefabrike elemanlardan oluşturulmuş mevcut yapıda belirli yapı parçaları ihtiyaç duyulduğunda ayrılabilirler veya birleştirilebilirler. Ayrıca mevcut yapıya rahatlıkla ek yapılabilir. (Kolonların dış cepheye bakan yüzlerinde guse bırakılması gibi)

10) Yerinde dökme betonarme yapılar için zor veya imkansız olan şekil verme ve rötüşler yapılabilir. Bazı firmalar bu konuda özel bir ihtisasa sahiptirler. Çeşitli şekillerde doğal agregalar, çimentolar gibi çeşitli malzemelerin değişik biçimlerde

kullanılması neticesinde farklı ürünler ortaya çıkararak bu firmalar büyük tecrübeler kazanmışlardır. Bu tür uygulamalar eleman yüzeylerinde çeşitli kabartma ve dokular oluşturmak kaydıyla veya değişik renkler kullanılması sonucunda estetik bir görünüş elde edilmesiyle yapılır.

11) Projeler standart olduğundan ve tekrarlı detaylar kullanıldığından projelendirme ve tasarım aşaması hızlı bir şekilde yapılabilir. Prefabrikasyonda bilgisayarın kullanılması sonucunda ise projelendirme ve kullanılacak malzemenin hesaplanması çok küçük sürelerde gerçekleşmektedir.

12) Prefabrike inşaatlarda her şey projelendirme safhasında düşünüldüğünden ve kullanılacak elemanların sayıları belli olduğundan işin süratli bir şekilde devam etmesi neticesinde fiyat artışları maliyete tesir etmemektedir.

13) Prefabrike inşaatlarda kereste sifıra yakın kullanıldığından dolaylı olarak ülke ormanların azalmasını engeller. Bu durum ancak prefabrike yapım sistemlerinin bir ülkede yaygın olarak kullanılması ile mümkündür.

Prefabrikasyon teknolojisinin tüm bu anlatılan üstünlüklerine rağmen bazı olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Bu olumsuz özellikler aşağıda özetlenmiştir.

1) Prefabrike elemanlar arasındaki birleşim bölgeleri mühendisler için en büyük problemdir. Bu birleşim bölgelerini tasarlamak, gerekli dayanımı sağlamak ve yapım esnasında kolay oluşturulmaları için, büyük bir hüner ve beceri gerektirir. Acemice tasarlanmış birleşim bölgesi detayları yapının heybetli görünüşünü zayıflatır. Ayrıca kağıt üzerinde oldukça tatmin edici gözükebilen birleşim detayları uygulama esnasında yerine getirilmesi oldukça zor olabilir ve bunun sonucunda maliyet artışı ile karşılaşılabilir.

Hesaplar, inşa halindeyken yapı elemanlarının stabilitesini sağlamak için gerekli olabilen geçici desteklere ihtiyaç duyulmayacak şekilde yapılmalıdır. Ayrıca en ufak bir hareket birleşimin etkinliğini azaltabileceği için bu hususa da dikkat edilmelidir. Sürekliliği sağlamak ve stabilite gereksinimlerine uymak için prefabrike yapılarda yerinde dökme beton uygulamaları sık sık gerekli olmaktadır.

2) Yapıdaki hız faktörü prefabrike yapım sistemlerinde avantaja dönüştürülmek isteniyorsa planlamanın mükemmel bir şekilde yapılması gereklidir. Prefabrik elemanlarda son dakika değişikliklerine yer verilemez.

Yerinde dökme betonarme sistemler yapım esnasında meydana gelen yanlışlıkların düzeltilmesi bakımından prefabrike yapılara göre biraz daha şanslıdırlar. Bu yüzden prefabrike sistemlerde; tasarımda yüksek standart, kontrol ve iyi detaylandırma çok önemli hale gelmektedir.

3) Prefabrike elemanlara nakliye, kaldırma gibi durumlar için bazı ilaveler yapılması gerekmektedir. Bu durum prefabrike elemanların sadece yapıdaki elemanlardan biri olarak tasarlanmasının haricinde, nakliye, kaldırma, gibi zor durumlara da uygun ilaveler yapılması zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir.

4) Eğer prefabrike yapılarda çok sayıda veya büyük boyutlara sahip elemanların kullanılması gerekiyorsa depolama alanı bulmak, nakliye ve yapı maliyetlerinin artması gibi problemlerle karşılaşılabilir.

5) Prefabrike yapılar düzenli özelliklere sahip olmayan yapılar için fazla uygun değildirler. Burada anlatılmak istenen şey şudur : En iyi ekonomiyi sağlamak için prefabrike elemanlarda çok sayıda tekrarlanma olmalıdır. Düzensiz yapılarda farklı türde elemanlar kullanılabileceğinden, böyle bir durum prefabrike yapı maliyetlerinin artmasına sebep olacaktır.

6) Prefabrike yapılarda balkon, cepler veya çıkıntılar gibi özel detayları meydana getirmek maliyetleri arttıracaktır.

7) Prefabrike elemanların ağırlıklarında ve boyutlarında birtakım sınırlamalar olması gerekmektedir. Çünkü bu tür elemanları yapı yerine ulaştırmak ve yapım yerinde kaldırmak oldukça zor olabilmektedir. Bu tür elemanlar bir vincin menziline ve kaldırma kapasitesini etkileyebilirler. Böyle bir durumda uygun olmayan vinçlerin kaldırılıp yerine uygun vinçlerin oluşturulması oldukça pahalı bir operasyon olabilir.

8) Yapının farklı kısımlarında değişik zamanlarda üretilmiş beton elemanlar arasında oluşacak rötrelerin uygun donatı detayları ile ortadan kaldırılmaları gerekmektedir.

9) Mimari görünümleri çözülmemiş projelerde monoton bir görünüm elde edilebilir.

10) Prefabrikasyon yerel olarak iş gücünü azaltabilir ve yerel malzemelerin kullanımı büyük ölçüde kısıtlanır.

11) Yangın açısından çelik yapılara göre daha avantajlı olsalar bile, az katlı yapılarda maliyetleri çelik yapılara göre daha fazladır.

2.3 Türkiye’de ve Dünya’da Prefabrikasyonun Gelişimi

Prefabrikasyonda bugünkü anlamıyla ilk gelişmeler 19. yüzyılda başlamıştır. 1836 yılında İngiltere’de George Godwin tarafından ilk teknik makale yayınlanmıştır. Bu çalışma ile Godwin RIBA (Royal Institute of British Architects) tarafından madalya ile ödüllendirilmiştir. Bu makale prefabrikasyon yöntemlerinin kullanımına cesaret veren ilk teknik yayın olması nedeniyle oldukça önemlidir.

Daha sonra takip eden yıllarda Frederick Ranson 1844 yılında prefabrike beton yapı elemanları konusunda ilk patenti almıştır. Bunu takiben François Coignet (1855), W. Henry Lascelles (1875) ve daha birçok teknisyenin özellikle konut yapı sistemleri konusunda çeşitli patentler aldıkları görülmektedir.

Kuşkusuz bu patentlerin içerisinde en önemlisi Edison’a aittir. Edison, Amerika’da sahibi olduğu çimento şirketi adına endüstriyel bir yapı sistemi geliştirmiş, sonra bunun patentini almış (1908) ve aynı yıllarda başarılı uygulamalarda bulunmuştur. Prefabrikasyonun bu tür patentlerle başlayan gelişimi özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında artan konut ihtiyacı neticesinde daha yaygın ve endüstriyel üretimlerle devam etmiştir. Daha sonra 60 ve 70’li yıllarda ise gelişmiş ülkelerde prefabrikasyon konusunda yeterli düzeyde tecrübe birikimine ulaşılmıştır.

İkinci Dünya Savaşı Sonrası daha çok konut ihtiyacını hızlı bir şekilde kapatmak için yapılan prefabrike sistemler, uygulandıkları bölgeler itibari ile deprem bölgesi üzerinde bulunmamalarından dolayı, depreme karşı dayanıklı olup olmadıkları fazla önemsenmemiş ve incelenmemiştir. Prefabrike yapılar üzerinde yapılan araştırmalar daha çok birleşim bölgelerinin detayları ve üretim teknolojilerinin geliştirilmesi konularıyla sınırlı kalmıştır.

Türkiye’de ise prefabrikasyonla ilgili uygulamalara 1960’lı yıllarda başlanmıştır. Bu durumun sebebi konuyla ilgili yanlış tespitlerde bulunulması ve ilk denemelerde beklenen başarının elde edilememesidir. 1970’li yıllarda yaşanan kriz sonrasında inşaat firmaları farklı çözüm arayışlarına girmişler ve bunun sonucunda oluşan prefabrikasyon mantığı, 1980’li yıllara gelindiğinde sistematik ürünlerin yapılması sonucunda prefabrikasyonun gelişim süreci iyice hızlanmıştır. Prefabrike yapıların birleşim bölgelerinden dolayı deprem etkilerine karşı, yerinde dökme betonarme binalara göre daha zayıf olması, hemen hemen tamamı deprem bölgesinde bulunan ülkemiz için, prefabrike yapılarla ilgili bir yönetmelik ihtiyacı doğurmuştur.

Nitekim 1992 yılının Mart ayında Türk Standartları Enstitüsü'nün inşaat hazırlık grubunca kurulan ilgili teknik komite tarafından hazırlanan ve son şekli verilen TS 9967 standardı hazırlanmıştır. Ayrıca 1998 yılında yürürlüğe girmiş yeni deprem yönetmeliğinde de prefabrike yapılarla ilgili birtakım kıstaslarda bulunulmuştur.

Ülkemizde prefabrike olarak yapılan sanayi yapıları çok rağbet görmektedir. 1996 yılında ülkemizde yapılan tüm sanayi yapılarının % 85'inin prefabrike olması bunun bir göstergesidir. Ancak özellikle 1992 Erzincan, 1998 Adana ve 1999 Marmara depremlerinde özellikle prefabrike sanayi yapıları hasara uğramışlardır. Özellikle hasarlar birleşim bölgelerinde meydana geldiğinden, ülkemizde bu tür birleşimlerle ilgili daha fazla araştırmaların yapılması gerekmektedir.

Depreme dayanıklı prefabrike yapılar konusunda günümüzde gerçekleştirilen en kapsamlı program, ABD ve Japonya'nın ortak olarak yürüttükleri PRESSS (Precast Seismic Structural Systems) programıdır. Bu program ABD ve Japonya'nın ortaklaşa yürüttükleri ve monolitik betonarme binaların deprem davranışı konusunda, daha önce yapılan ve ilk üç kademesi başarı ile tamamlanan hem deneysel hem de teorik çalışmaları içeren çalışmaların dördüncü ve son kademesini oluşturmaktadır. Bu programın nihai amacı, değişik deprem bölgelerinde yer alan prefabrike, önerilmeli beton ve betonarme yapılara ait yönetmeliklerde yer alması gereken hususlarda yol gösterici bilgileri geliştirmektir.

PRESSS programı kendi içinde üç aşamadan oluşur. [7]

I. Aşama;

Bu aşamada projeler; [6]

a) Fikir geliştirme;

Analiz ve tasarım çalışmalarının; panel ve çerçeve türü yapılarda uygulanabilirliğinin araştırılması ve tanımlanması şeklinde özetlenebilir.

b) Birleşim sınıflandırılması;

Prefabrike elemanlar arasındaki farklı ve olması muhtemel bağlantı sistemleri teknik değerleri için tekrar gözden geçirilmiş ve karşılaştırılmışlardır.

c) Analitik platform oluşturulması;

Rapor; elastik olmayan zaman-tanım aralığında analiz programının (DRAIN 2D)

daha gelişmiş bir versiyonu için kullanıcı el kitabı içermektedir. Üç yeni program geliştirilmiştir. Bu programlardan iki tanesi üç boyutludur. (DRAIN 3D ve DRAIN BUILDING) Bu programlardan bir tanesi döşeme birleşim bölgelerinin rijit-diyafram davranışına göre basitleştirilmesi ile ilgilidir. DRAIN 2D programının geliştirilmiş olan diğer program ise prefabrike yapılarda histerik bir model oluşturulması ile ilgilidir.

d) Tasarım tavsiyeleri;

Sünek prefabrike yapılarda, sismik tasarımların, güvenilir teorilerin kullanımının avantajlarının araştırılması ile ilgilidir.

II. Aşama;

Bu aşama daha çok çeşitli deprem bölgelerinde yer alan prefabrike sistemler için farklı türlerdeki sünek birleşimlerle ilgili deneysel ve analitik davranışlarına ait çalışmalardan oluşmaktadır. Bu çalışma sonucunda hem çerçeve tipi hem de panelli prefabrike sistemlerle ilgili dört farklı birleşim türü geliştirilmiştir.

Bu aşamada şu projeler yer almaktadır.

a) Çerçeve türü sistemlerde sünek bağlantılar;

Bu konuyla ilgili araştırmalar, prefabrike çerçeve türü yapıların sünek bağlantılar kullanılması sonucu sismik tasarımıyla ilgili tavsiyelerden oluşmuştur. Araştırmalar Amerika'da Minnesota ve Texas Üniversiteleri tarafından yapılmış ve birçok seçenek deneysel olarak incelenmiştir. Araştırmalar dört kategori altında yapılmıştır.

1) Lineer olmayan elastik bağlantılar,

2) Çekme ve basınç gerilmeleri altındaki bağlantılar,

3) Kesme etkisi altındaki bağlantılar,

4) Bağlantıların sönüm özellikleri.

b) Panel türü sistemlerde sünek bağlantılar;

Çerçeve türü sistemlere paralel olarak, panel elemanlar arasındaki sünek bağlantılarla ilgili araştırmalar the National Institute of Standards and Technology (NIST) ve Nebraska-Lincoln Üniversitesi tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmalarda paneller arasındaki düşey bağlantılar da incelenmiştir. Bağlantıların panel elemanlardan daha zayıf tasarlanması durumunda sistem enerjiyi sönümleme davranışı sergilemektedir.

c) Öngermeli çerçeve türü sistemler;

Bu çalışma ön gerilmeli çerçeve türü elemanların araştırılması ile ilgilidir. Çalışmalar California Üniversitesi tarafından yürütülmüştür. Çalışmanın asıl amacı prefabrike elemanların yapısal özelliklerini mümkün olduğunca basitleştirmek ve yumuşak çelik donatı miktarını azaltmaktır. Araştırma sonuçlarına göre bu tür elemanlara sahip birleşimlerin aynı ölçü ve dayanıma sahip eşdeğer monolitik mesnetlere göre daha az hasar aldıkları görülmüştür.

d) Prefabrike çerçeve türü sistemler için yüksek performanslı fiber donatılı beton ile enerji yutan birleşimler;

Michigan Üniversitesi tarafından yürütülen bu çalışmada;

1) Plastik mafsallı bölgesinde fiber donatılı beton ile donatı arasındaki kayma-gerilme ilişkisini belirlemek;

2) Monolitik ve periyodik kesme kuvvetleri altında fiber donatılı betonun kayma dayanımını belirlemek;

3) Birleşimlerin moment –dönme histerik ilişkisini tanımlayarak birleşimler için bir model geliştirmek;

konuları incelenmiştir.

e) Çeşitli sismik bölge ve zemin karakteristiklerinde prefabrike sistemlerin sismik davranışlarının belirlenmesi;

Lehigh Üniversitesi tarafından yürütülen bu analitik projenin ve çalışmanın asıl hedefi daha önceden dört temel kategoride tanımlanan bağlantılar için prefabrike panel ve çerçeve türü yapıların elastik olmayan dinamik analizinin sergilenmesidir.

f) PRESS Programı için sismik tasarım tavsiyelerinin geliştirilmesi;

PRESS Programının ilk aşaması ile başlayan tavsiyeler ikinci aşamayla birlikte devam etmiştir. Bu ikinci aşamada Illinois ve California Üniversitelerinin prefabrike yapılarda sağlam birleşimlerle ilgili tavsiyeleri bulunmaktadır.

g) Dinamik ölçekli model testleri;

Farklı bağlantı tiplerindeki prefabrike elemanların küçük ölçekli dinamik bir model test programı ile Illinois Üniversitesi tarafından araştırılması ile ilgili bir programdır. Elde edilen sonuçlar daha önce yapıpı tamamlanmış deneysel sonuçlarla ve zaman tanım analizleri sonuçlarıyla karşılaştırılması planlanmıştır.

PRESSS Programının üçüncü aşaması ise az veya çok katlı prefabrike yapılarla ilgili analitik yöntemlerin geliştirilmesi ile ilgilidir. Bu aşama kuru birleşimlerle oluşturulmuş beş katlı prefabrike iki ofis binasının tasarım ve analizini içermektedir.

Eğer tasarım depremi altında bütün birleşim bölgeleri elastik olarak davranıyor ve birleşim bölgelerinin deformasyonları toplam yapısal deformasyonlara % 10'dan daha az katkıda bulunuyorsa bu tür prefabrike çerçeveler kuvvetli birleşimli sistemler olarak tanımlanır. Eğer birleşim bölgelerinin deformasyonları plastik bölgede kalıyor ve diğer prefabrike elemanların deformasyonları elastik bölgede kalıyorsa bu tür sistemler düktil birleşimli sistemler olarak tanımlanır. Bu davranış şekli için en çok kullanılan ve en uygun sistem birleşimlerde yerinde dökme beton kullanmaktır.

PRESSS Programı yukarıda belirtilen ıslak düktil birleşimlerden çok kuru düktil birleşimler üzerinde yoğunlaşmıştır. Değişik birleşimlere sahip modeller üzerinde yapılan deneyler sonucu, tasarım ötelenmelerinde meydana gelen hasarın benzeri monolitik olarak oluşturulmuş betonarme yapılara göre daha az olduğu gözlenmiştir. Depreme dayanıklı prefabrike yapılar konusuyla ilgili dünyada değişik ülkelerde birçok deneysel ve analitik çalışma yapılmış olmasına rağmen, bu çalışmalar sistemli bir şekilde yapılmadıkları için düzgün bir genelleştirme yapılamamış ve bu ürünlerin sonuçları deprem yönetmeliklerine tam olarak yansıtılamamıştır.

Bunun sonucunda Amerika ve Japonya tarafından yapılan ortaklaşa çalışmaların sonucunda prefabrike yapılarla ilgili en detaylı ve koordineli program olan PRESSS meydana gelmiştir. Bu programın asıl amacı prefabrike yapı tasarımı konusunu mevcut şartnamelere en uygun şekilde dahil etmektir.

3. PREFABRİKE ELEMANLAR

Prefabrike elemanlar, fabrika veya atölye gibi yerlerde önceden hazırlanmış kalıplar yardımıyla koordineli ve seri bir çalışma sonucu projesine uygun olarak üretilen hazır betonarme öngerilmeli beton elemanlardır.

Prefabrike elemanlar;

- 1) Çubuk elemanlar; kiriş, kolon, çerçeve, kemer vb. elemanlar,
- 2) Düzlemsel elemanlar; döşeme ve pano elemanları,
- 3) Kabuk elemanlar;

olarak sınıflandırılabilirler.

Prefabrike elemanlar iç kuvvetleri birleşim bölgelerinde aktarabilecek kapasiteye sahip olacak şekilde tasarlanmalıdırlar.

3.1 Çubuk Elemanlar

3.1.1 Kiriş Elemanlar

Kiriş elemanlar bir basit mütemadi veya çerçeve kirişini teşkil etmek için kullanılan prefabrike elemanlardır. Birleşimleri bağlantı şekillerine göre mafsallı (moment aktarmayan) ve rijit (moment aktaran) şekilde olabilir. Prefabrike kirişler, en kesitleri ve yükseklikleri sabit veya değişken olarak yapılabilirler.

3.1.2 Kolon Elemanlar

Kolon elemanlar prefabrike sistemlerde, döşeme ve kirişlerden gelen düşey veya yatay yükleri temele aktaran elemanlardır. Kolon elemanlar bir, iki veya üç kat yüksekliğinde olabilirler. Kolon-kolon veya kolon-kiriş birleşimleri mafsallı veya rijit olarak oluşturulabilirler. Kolonlar genellikle dikdörtgen en kesitli olmak üzere değişik en kesitlerde de olabilecekleri gibi, kirişlerin oturmaları için, inceltilmiş uçlu konsollar veya kısa konsollar şeklinde yapılabilirler. Mafsallı kolon-kolon birleşim

yerlerini kat yüksekliklerinin yarı hizalarında birleştirmek sistemi kat hizalarında birleştirmekten daha iyidir . Çünkü yatay ve düşey yüklere göre yapılan analizlerde kolonların ortalarında oluşan momentler sıfıra yakındır.

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

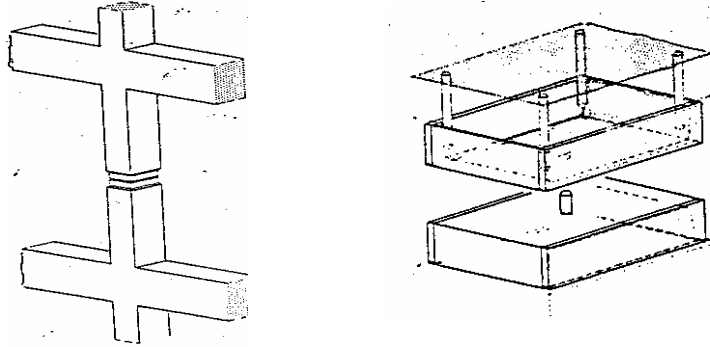
- Dikdörtgen ve benzeri kesitlerde, 20 cm;

- Profilli kesitlerde;

Başlık ve gövde kalınlığı, 7 cm;

Başlık genişliği, 20 cm.

Ayrıca kullanılması gereken minimum boyuna donatı çapı, BÇ I için 14 mm ve BÇ III için 12 mm olmalıdır.

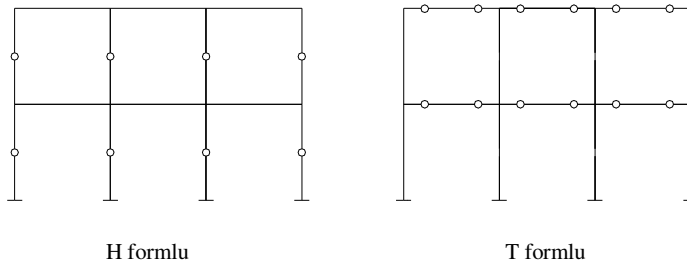


Kesit

Şekil 3.1 Kat Hizasının Yarısında Oluşturulmuş Kaynaklı Kolon-Kolon Birleşimi

3.1.3 Çerçeve Elemanlar

Çerçeve elemanlar, genel olarak T, H ve Λ şeklinde oluşturulabilirler. Birbirleri ve kirişlerle ekleri mafsallı veya rijit olabilir.



H formu

T formu

Şekil 3.2 H ve T Formlu Çerçeveler

3.2 Düzlemsel Elemanlar

3.2.1 Döşeme Panoları

Döşeme panoları genel olarak bir hacmin plan kısmında olan ve bazen de en çok üç tanesi bir hacmin plan alanını kaplayan döşeme elemanlarıdır. Prefabrike sistemlerde döşemeler genel olarak; [8]

- a) Bir hacmi tümüyle kaplayan döşeme panolarının kenarlarından kiriş veya duvar gibi taşıyıcı elemanlara oturtulmasıyla,
- b) Bir doğrultuda çalışan II, TT, T yada 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 panolarının üzerine yerinde dökme beton dökülmesiyle,
- e) II,TT, T veya boşluklu döşeme elemanları üzerine yerinde dökme beton dökülmesi ile oluşturulabilirler.

3.2.1.1 Tekil Panoların Yan Yana Oturtulması ile Oluşturulan Döşemeler

Eğer bu tür döşeme elemanlarının üzerine yerinde dökme beton atılmayacaksa;

- Dinamik etkili düşey yük bulunmamalı,
- Tekerlek yükü 7.5 kN/m^2 yi geçmemeli,
- Varsa, çizgisel veya tekil yüke karşı önlem alınmalıdır.

Deprem etkilerinin, döşeme panoları tarafından mesnetlere diyafram gibi taşındıkları hesapla gösterilirse, beton tabakaya gerek yoktur. Panolardan bir tanesi üzerindeki tekil veya çizgisel yükün komşu panolara dağılımı daha kesin bir hesap yapılmadıkça panolar arası bağlantı mafsallı olarak alınıp, panoların kırılma rijitliği göz önüne alınarak hesaplanır.

3.2.1.2 Nervürlü Döşemeler

Bu tür panoların plak kalınlığı en az 4 cm olmalıdır. Ancak üzerlerine yalnız temizlik amacı ile çıkılan kasetli döşemelerin teçhizatsız plaklarının kalınlığı, nervür aralığı

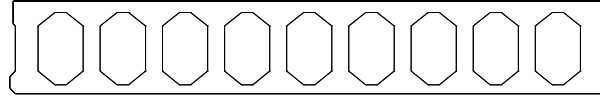
bir doğrultuda en fazla 65 cm, diğer doğrultuda en fazla 100 cm ise, 3 cm olarak yapılabilir.



Şekil 3.3 Nervürlü Döşeme Sistemi

3.2.1.3 Dolu ve Boşluklu Döşemeler

Şekil 3.4’de en kesiti gösterilmiş veya benzer biçimde olan betonarme öngerilmeli beton veya betonarme panolarla oluşturulurlar. Boşluklu olarak oluşturulan döşeme sistemlerinde kullanım durumundayken aşırı yüklerden dolayı kesme kuvvetlerinin artması durumunda boşluklar üzerindeki beton parçası kırılarak boşluklar betonla doldurulabilir.



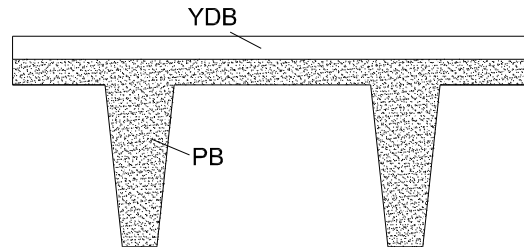
Şekil 3.4 Boşluklu Döşeme Pano Enkesiti

3.2.1.4 Prefabrike İnce Panolarla Yapılan Döşemeler

Bu tür döşemeler yerinde dökme beton içersine teçhizat konarak iki doğrultuda da çalışırlar.

3.2.1.5 Kompozit Döşemeler

Kesitin bir bölümü prefabrike betonarme veya öngerilmeli beton olarak, geri kalan bölümü yerinde dökme beton ile oluşturulan kompozit elemanlarda, ara yüzeyde kayma oluşmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.5 Kompozit Döşeme

3.2.2 Duvar Panoları

Duvar panoları genel olarak bir hacmin yan yüzünü yekpare olarak örten dolu kesitli düzlemsel elemanlardır. Duvar panolarının asıl görevi yapının her iki doğrultuda da rijitleştirilmesini sağlamaktır. Deprem ve rüzgar etkilerinin olmadığı durumlarda ise düşey yüklere karşı dayanım sağlarlar.

Duvar panoları işlevlerine göre 3'e ayrılırlar.

a) Taşıyıcı duvarlar: Döşeme ve döşeme üzerinde bulunan düşey yükleri taşıyan duvarlar ile kolon sayılmayacak kadar geniş düşey kiriş elemanları taşıyıcı duvarlar grubunu oluştururlar.

b) Rijitlik duvarları: Taşıyıcı duvarların burkulmasını önlemek için konulan duvarlar rijitlik duvarlarıdır.

c) Taşıyıcı olmayan duvarlar: Sadece kendi ağırlığını taşıyan ve üzerlerine etkileyen yatay yükleri duvar ve döşeme gibi elemanlara aktarabilen duvarlardır.

Taşıyıcı duvarlar ve rijitlik duvarları kat yüksekliğinden daha az yükseklikte panolar ile yapılamazlar. Ayrıca bu panoların düşey ek yerleri panolara dik bir taşıyıcı duvar veya rijitlik duvarı ile ara kesit çizgisine gelecek şekilde olmalıdır.

Prefabrike duvar panolarında taşıyıcı kısmın minimum kalınlığı, [8]

Dolu kesitli panolarda;

Tek katlı, yüklü hafif binalarda 12 cm ve çok katlı ve yükü ağır binalarda ise 15 cm veya panoların alt ve üst kenarlarındaki yatay mesnetler arasındaki uzaklığın % 4'ü kadar olmalıdır.

Profilli veya boşluklu panolarda;

En dar kesiti 50 mm veya en kısa pano nervür veya kiriş aralığının % 10'u kadar olmalıdır.

Profilli panolarda ayrıca, taşıyıcı bölümün atalet momenti, en az kalınlıktaki dolu pano atalet momentinden daha küçük olmamalıdır. Ayrıca panolarda olması gereken donatı yüzdesi; bina yüksekliğinin ilk 1/3'ünde BÇ I ve BÇ III için % 0.002, BÇ IV için % 0.0015; diğer katlarda ise BÇ I ve BÇ III için % 0.0015, BÇ IV için % 0.0013 olmalıdır. Düşeyde Ø10 ve yatayda Ø6' dan daha küçük çapta donatı kullanılamaz.

3.2.3 Bağ Elemanları

Prefabrike sistemlerin monolitik yapıya yakın bir davranış sağlamaları için yatayda veya düşeyde oluşturulan elemanlara, bağ hatıları ve bağ çubukları denir. Az katlı prefabrike sistemlerde bu elemanların sayısı azaltılabilir veya kaldırılabilir.

3.2.3.1 Bağ Hatıları

Bağ hatıları yatay veya düşey olarak oluşturulabilirler. Yatay bağ hatıları;

- 1- Birden fazla panodan oluşan kat döşemesinin çevresinde,
- 2- Yatay yük taşıyan perdelerin çevresinde,
- 3- Panolu sistemlerde, taşıyıcı duvar ve rijitlik duvarları, çerçeve sistemlerde taşıyıcı ve rijitlik sağlayan kirişler üzerinde düzenlenirler.

Taşıyıcı ve rijitlik panolarının üzerindeki bağ hatılarının genişliği 60 mm' den ve alanı 100 cm²'den daha az olmamalıdır. Bağ hatılı donatısı uç taşıyıcılara aderans boyu kadar saplanmalı ve teçhizatlar arasında kesinti olmamalıdır. Bağ elemanları en az birisi altta ötekisi üstte olmak üzere 2Ø10'luk donatılardan oluşmalıdır.

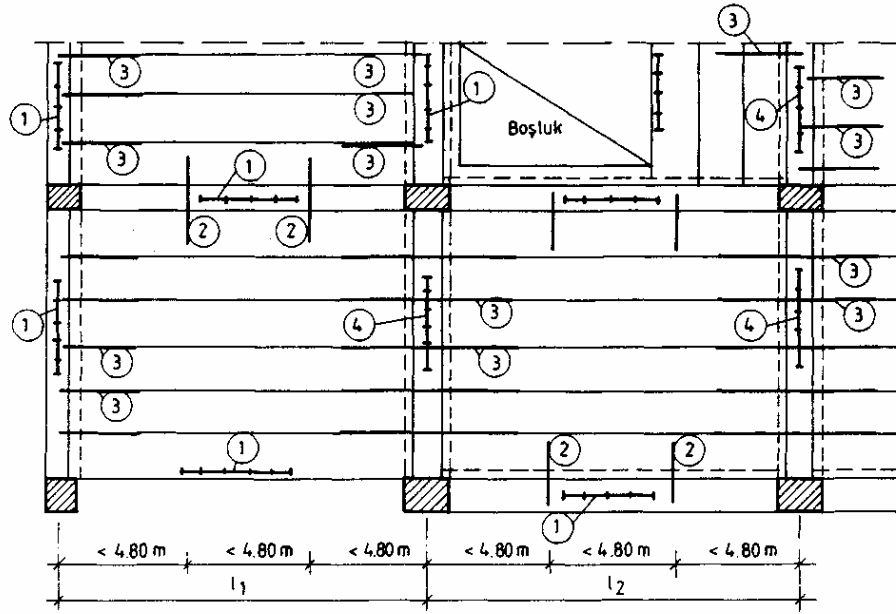
Boşluklu döşemelerin serbest kenarlarında, bağ hatılı teçhizatı, döşeme elemanının en dış boşluğına sokulabilir. Taşıyıcı duvarlar üzerindeki bağ hatılı teçhizatları duvar panolarının yatay yüklere karşı birleşimlerinde gereken yatay teçhizat olarak da kullanılabilir.

3.2.3.2 Bağ Çubukları

Döşeme elemanlarını mesnetlere bağlamak için, çekme kuvvetlerini doğrudan ve kesme kuvvetlerini kesme sürtünmesi ile mesnete aktaran yani panel elemanların bağ hatıları yardımıyla sisteme bağlanmasını sağlayan donatılardır. Bağ çubuğu teçhizatı hesabında çeliğin kopma mukavemeti kullanılır. Kenetlenme boyu mesnet dışından ölçülmelidir. Sünekliği arttırmak için sıcak haddelenmiş çelik kullanılmalıdır.

Şekil 3.6'da bağ elemanlardan oluşmuş bir sistem ve bu sistemde bağ hatıları içinde bulunan bağ çubuklarının taşıması gereken minimum T kuvvetleri gösterilmiştir. Bu T kuvveti için gerekli teçhizat alanı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

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



- 1 Bağ hatılı $T \geq (L_1/2) \cdot 22 \text{ kN} > 70 \text{ kN}$
 2 Enine bağ çubuğu $T \geq 22 \text{ kN}$
 3 Boyuna bağ çubuğu $T \geq 22 \text{ kN}$
 4 Bağ hatılı ara kiriş $T \geq [(L_1+L_2)/2] \cdot 22 \text{ kN} > 70 \text{ kN}$

Şekil 3.6 Bağ Hatılı ve Bağ Çubukları Durumu

3.3 Kabuk Elemanlar

Bu tür elemanların kalınlıkları diğer boyutlarına göre oldukça incedir ve eğrisel yüzeylidirler. Kabuk elemanlar üzerlerine etkiyen yükleri yüzeylerine paralel olarak yönlendirerek taşıma görevinde bulunurlar.

Kabuk elemanların kalınlıkları çok az olduğundan hafiftirler ve malzeme tasarrufu sağlarlar. Ayrıca yapılarından dolayı geniş açıklıkların geçilmesine olanak sağlarlar. Çok değişik biçimlerde oluşturulabilen kabuk elemanlar estetik etkilere sahiptirler.

Bu tür elemanların hesapları oldukça karışıktır. Ayrıca biçimlerinden dolayı kalıpları çubuk ve düzlemsel elemanların kalıplarına göre pahalıdır. Kabuk elemanlarda kenar detaylarının uygulanması zor olabilmektedir.

Kabuk elemanlara sahip yapıların bir ülkede gelişmesi, o ülkenin ekonomik durumu ve teknik olanakları ile yakından ilişkilidir. [3]

4. PREFABRİKE TAŞIYICI SİSTEMLER

4.1 Genel

Prefabrike taşıyıcı sistemler genel olarak çerçeve ve panolu sistemler olmak üzere iki gruba ayrılır. Eğer daha ayrıntılı bir sınıflandırma yapılacaksa prefabrike taşıyıcı sistemler dört ana grup altında toplanırlar.

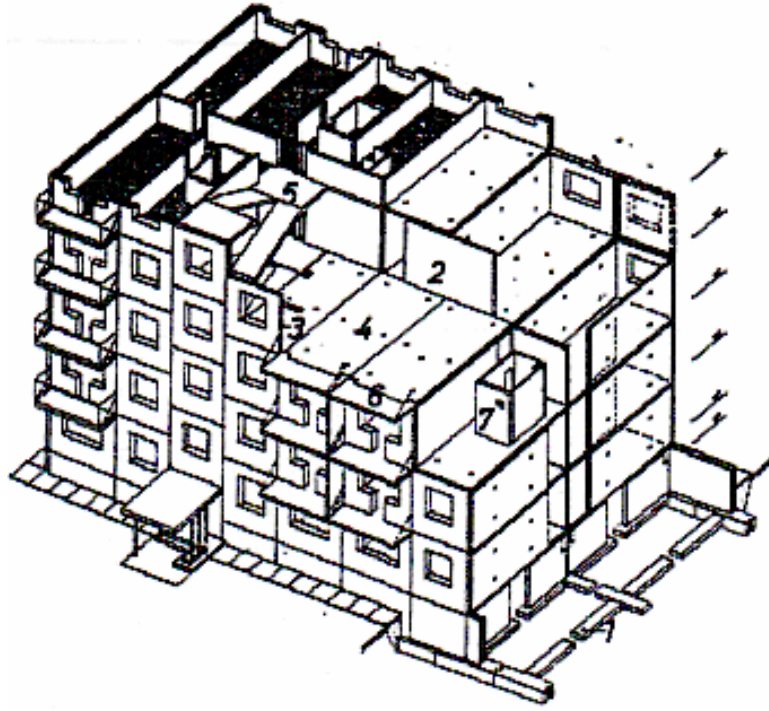
- 1) Panolu (panel) Sistemler,
- 2) İskelet Sistemler,
- 3) Hücre Sistemler,
- 4) Karışık Sistemler.

4.2 Panolu Sistemler

Bu tür sistemler daha çok konut türü yapılarda kullanılırlar. Sistemin ana elemanları taşıyıcı duvar panelleridir. Paneller yükleri yüzeyleri boyunca taşırlar. Taşıyıcı duvar panoları merdiven vb. durumlar hariç kat yüksekliğinde yapılmalıdır.

Panolu sistemler çok katlı prefabrike binaların yapımında daha çok tercih edilirler. Bunun sebebi taşıyıcı sistemin oluşturulması ile birlikte iç bölmelerin ve dış cephe duvarlarının da beraberinde oluşmasıdır. Ayrıca bu tür sistemlerin hızlı bir şekilde oluşturulmaları da tercih sebebidir.

Prefabrike panolu sistemler döşemelerden gelen düşey yükleri yüzeyleri boyunca önce birbirlerine daha sonra temele aktarırlar. Yatay yükler ise panoların birleşim bölgelerinde kesme dayanımı ile karşılanır. Deprem kuvvetleri genel olarak taşıyıcı panoların birleşim bölgelerinde kesme kuvvetleri oluştururlar. Bu yüzden taşıyıcı panoların birleşim bölgeleri oluşacak kesme kuvvetlerine karşı dayanıklı olarak tasarlanmalıdır. Birleşim bölgelerinde teçhizat bulunması ve pano ara yüzeylerinin kenetli olarak yapılması alınacak önlemlerin başında gelmektedir.



1. Temeller, 2. ve 3. İç ve dış duvarlar, 4. Döşeme, 5. Merdiven, 6. Balkon, 7. Tesisat bileşenleri

Şekil 4.1 Büyük Boy Panellerle Oluşturulmuş Yapı Sistemi ve Elemanları

Paneller prefabrike yapılarda üç şekilde düzenlenebilirler,

- 1) Taşıyıcı duvar panellerinin yapının uzun kenarı boyunca düzenlenmesi;

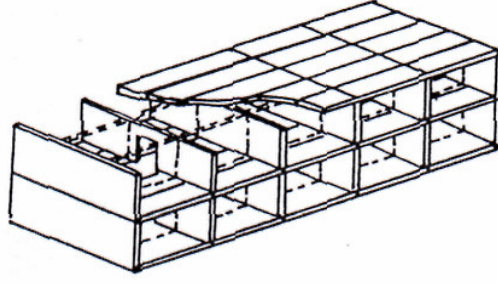
Döşemelerden gelen düşey yükler binanın uzun eksenini boyunca düzenlenen panolar yardımıyla karşılanırlar. Deprem yükleri ise her iki doğrultuda uzanan duvar panoları tarafından karşılanırlar.

- 2) Taşıyıcı duvar panellerinin yapının kısa kenarı boyunca düzenlenmesi;

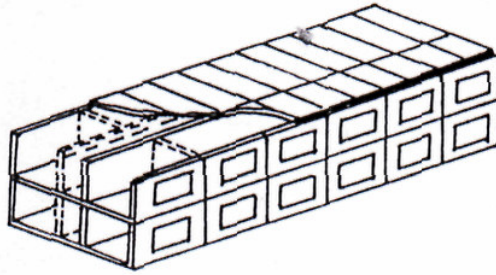
Döşemelerden gelen düşey yükler binanın kısa eksenini boyunca düzenlenen panolar yardımıyla karşılanırlar. Deprem yükleri ise her iki doğrultuda uzanan duvar panoları tarafından karşılanırlar.

- 3) Taşıyıcı duvar panellerinin yapının her iki boyutu boyunca düzenlenmesi;

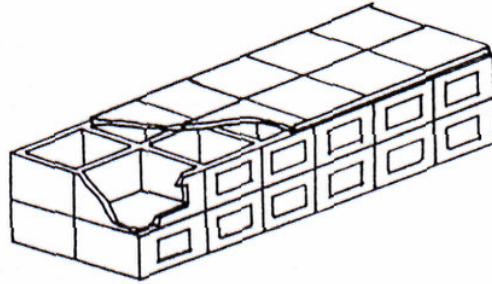
Döşemelerden gelen düşey yükler yapının her iki yönünde de düzenlenen taşıyıcı duvar panoları tarafından karşılanırlar. Yatay yükler de, düşey yükler gibi bu panolar tarafından karşılanırlar.



Kısa doğrultuda düzenlenmiş



Uzun doğrultuda düzenlenmiş



Her iki doğrultuda düzenlenmiş

Şekil 4.2 Panel Elemanlarla Taşıyıcı Sistem Düzenleme

Yapısal özelliklerine göre paneller tek parçalı (monolitik) yapılabildiği gibi çok parçalı (kompozit) olarak da yapılabilmektedir. Sandviç paneller kompozit panellere örnek olarak verilebilir.

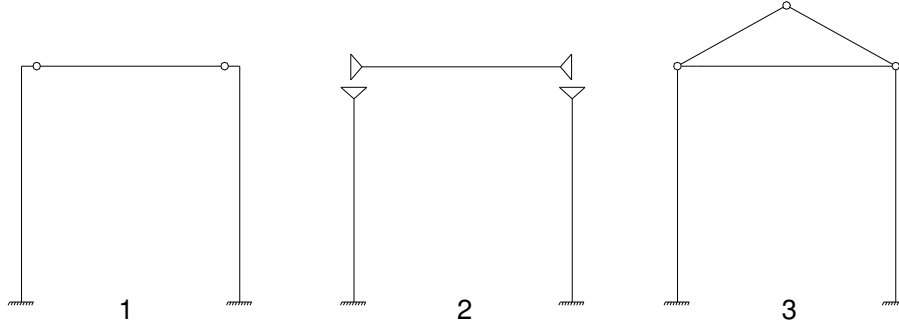
Panolu sistemler ağırlıklarına göre ağır panolu sistemler ve hafif panolu sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ağır panoların kullanıldığı sistemler; pano yüzeyinin 15 m^2 - 30 m^2 arasında, pano ağırlığının ise 3 t-7 t arasında olduğu sistemlerdir. Hafif panoların kullanıldığı sistemler ise pano yüzeyinin 2 m^2 - 5 m^2 arasında ve pano ağırlığının 0.25 t-2 t arasında olduğu sistemlerdir.

4.3 İskelet Sistemler

İskelet sistemler, kolon ve kiriş sistemler, çerçeve sistemler ve mantar sistemlerden oluşurlar. Bu sistemlerin içerisinde en yaygın olarak kullanılanlar, çerçeve sistemler ve kolon kiriş sistemlerdir.

Kolon-kiriş sistemleri statik olarak üç farklı şekilde oluşturulabilirler;

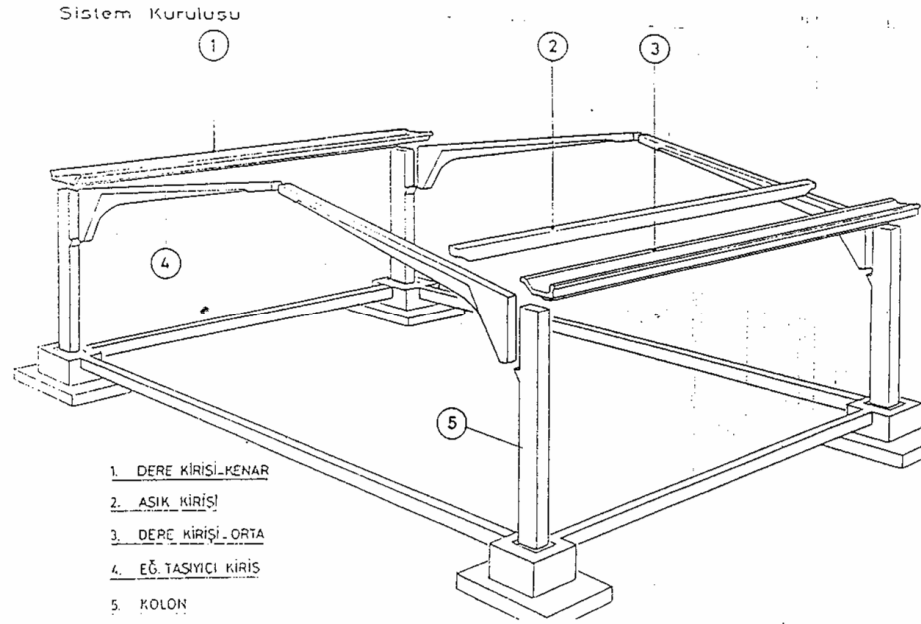
- 1- Ankastre kolonlara oturan sabit mafsallı kirişlerle kurulan sistemler,
- 2- Ankastre kolonlara oturan rijit bağlantılı kirişlerle kurulan sistemler,
- 3- İki kiriş ve bir gergi elemanı ile oluşturulan üçgen kirişli sistemler.



Şekil 4.3 Statik Bakımdan Kolon-Kiriş Sistemler

Çerçeve sistemlerde, yükler zemine bir iskelet vasıtasıyla aktarılırlar. Bu sistemlerde panolu sistemlerden farklı olarak taşıma ve bölme işlevleri ayrı ayrı oluşturulurlar. Bu yüzden bu tür sistemler genellikle endüstri yapılarında tercih edilirler. Çünkü yapılarında bölme duvarları çok az bulunurlar. Bölme duvarları çerçeve sistemlerde bağımsız olarak yapılabilecekleri gibi, yatay kuvvetlere karşı katkıda bulunabilecek şekilde de düzenlenebilirler. Bu tür duvarların yatay yükleri karşılayacak şekilde düzenlenmeleri özellikle deprem bölgelerinde bulunan endüstri yapılarında önemli ölçüde güvenlik ve dayanım sağlar. Çerçeve sistemler T, L, H, T ve L formlarında oluşturulabilirler.

Mantar sistemler daha çok estetik tarzda oluşturulan iskelet sistemlerdir. Bu tür sistemlerde mantar elemanlar döşemeyi tümüyle kapsayabildiği gibi aralıklı olarak oluşturulan mantar elemanlarla da döşemeler oluşturulabilirler. Mantar elemanlar diyagonal olarak da oluşturularak daha estetik bir döşeme elde edilebilir.



Şekil 4.4 Çerçeve Türü İskelet Sistemlerde Kuruluş Şeması

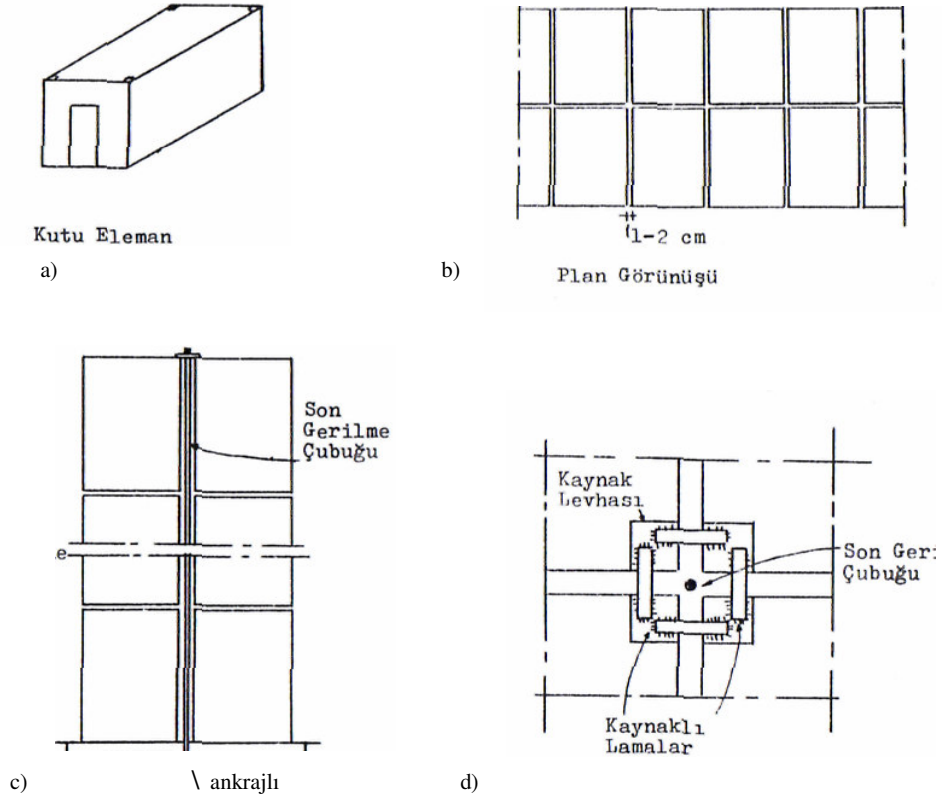
4.4 Hücre Sistemler

Prefabrikasyonun en ileri aşamalarından olan hücre (kutu) sistemlerde taşıyıcı panel ve döşeme elemanlarını ayrı üretip şantiyede birleştirmek yerine monolitik olarak oluşturulan hücrelerin şantiyede birleştirilmesi esasına dayanır. Böylece çalışmalar çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilir.

Hücre (kutu) sistemlerde oda boyutunda üretilmiş hücreler üst üste ve yan yana yerleştirilirler ve beraber çalışmaları için özel detaylarla birbirlerine bağlanırlar. Bu tip hücrelerin ağırlıkları 7 t -50 t arasında değişirler. Kutu sistemlerle yapımda asıl önemli olan aşama fabrikasyon aşamasıdır. En üst düzeyde fabrikada tamamlanmış kutular şantiyede az bir ekiple tamamlanırlar. Hücreler açık (pencere kapı boşlukları) ve kapalı hücreler olarak üretilebilirler.

Hücre sistemler diğer prefabrike elemanlara göre (tekil pano elemanları) daha ağır olduklarından nakliye ve kaldırma problemleri olabilmektedir. Bu tür sistemler diğer prefabrike sistemlere göre daha iyi düşünülerek tasarlanmalıdır. Örneğin bazı hücre

elemanların ağırlıkları vincin kaldırma kapasitesinden daha fazla olabilir veya vincin menziline azaltabilir. Böyle bir durumla karşılaşılması ekonomik açıdan sıkıntılar yaratır. Ayrıca fabrikanın inşaat yerine yakın olmaması nakliyyede problemler yaratır. Bu yüzden hücre sistemlerin seçiminde oldukça dikkatli ve titiz davranılmalıdır.



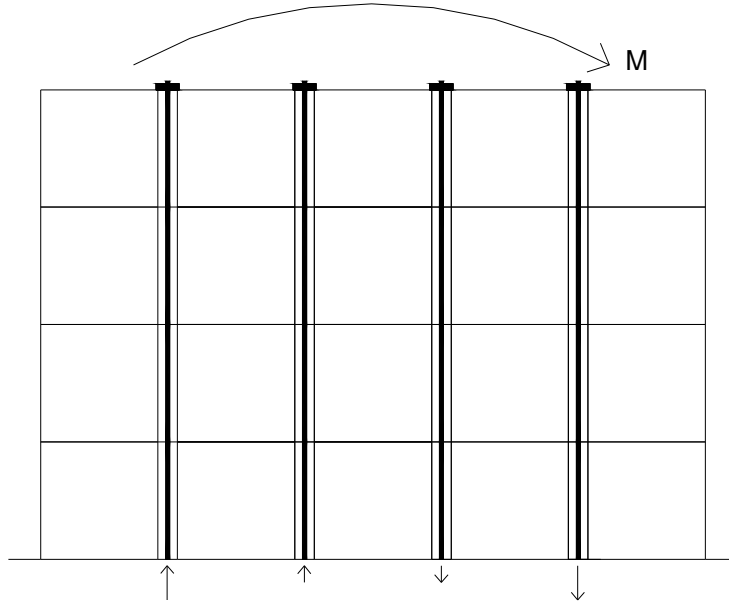
Şekil 4.5 Kutu Prefabrike Sistem Özellikleri

Üst üste konulan kutuların arasında oluşan yatay derzlerde, kutu birimler arasındaki sürtünme dışında yatay deprem yüklerini taşıyacak başka bir güç yoktur. Birçok uygulamada prefabrike kutu elemanlar köşelerinden birbirlerine lamalar yardımıyla kaynaklanırlar.

Kutu sistemlerin deprem anında yatay birleşim bölgelerinden kaymamaları için kutu eleman köşelerinden geçen son gerilme elemanları ile birbirlerine bağlanma yoluna gidilmektedir. (Şekil 4.5, c ve d) Bu tür gerilme çubukları, deprem etkisi altında çekme ve basınç gerilmeleri altında kalmaktadır. (Şekil 4.6) Gerilme çubukları kutu elemanların cidarları tarafından sarıldıkları için basınç gerilmesi altında burkulmaları söz konusu olamaz. Son gerilme çubuklarının çekme gerilmelerinin akma gerilmesini aşmaması konusuna dikkat edilmelidir. Bu yüzden çok sayıda gergi çubuklarının

kullanılması uygun olmaktadır.

Gergi çubuklarının yokluğu şiddetli depremlerde kutu elemanların birbirleri üstünden kayarak devrilmelerine yol açmaktadır. Gergi çubukları aynı zamanda katlar arasında oluşan kesme gerilmelerini de taşıyabilecek en kesitlere sahip olmalıdır. [1,14]



Şekil 4.6 Depremde Gelen Moment Altında Son Gerilme Çubuklarının Durumu

4.5 Karışık Sistemler

En az iki farklı taşıyıcı sistemin çeşitli şekillerde birleştirilmesiyle meydana gelen prefabrike sistemlerdir. Örneğin ana taşıyıcı sistemi iskelet olan (kolon ve kirişler) bir binanın dış cephesi taşıyıcı panellerden, asansör yuvası merdiven boşluğu gibi elemanları da hücrelerden oluşabilir.

Bu tür yapılarda birden fazla sistem kullanıldığı için farklı kapasitelerde birden fazla vinç ve iyi eğitilmiş, tecrübeli şantiye elemanlarına ihtiyaç vardır. Ayrıca tasarım aşamasında eşgüdüm ve planlamanın çok iyi bir şekilde yapılması gerekmektedir.

5. PREFABRİKE PANOLU SİSTEMLERDE BİRLEŞİMLER

Prefabrike panolu sistemler, taşıyıcı duvar ve döşeme panolarından oluştukları için depreme karşı dayanıklı yapılardır. Fakat bu tür yapılarda monolitik olarak çalışan perde-döşeme sistemlerinden beklenen performansı beklemek oldukça güçtür. Çünkü bu tür yapılarda unutulmaması gereken en önemli detay; taşıyıcı duvar panolarının birbirleriyle, döşeme panolarının birbirleriyle, duvar ve döşeme panolarının birbirleri ile ve duvar panolarının temel ile aralarındaki birleşimlerin yeterli düzeyde olmaması olarak ifade edilebilir. Bilindiği üzere bir yapı sisteminin deprem veya rüzgar gibi yatay kuvvetlere güvenli bir şekilde cevap verebilmesi için birleşim bölgelerinin son derece iyi bir şekilde tasarlanması gerekir. Çünkü iç kuvvetlerin aktarımının güvenli bir şekilde yapılması bu bölgelerin iyi bir şekilde tasarlanmasına bağlıdır. Monolitik olarak oluşturulan bir sistemin, bu yüzden prefabrike olarak oluşturulan bir sisteme göre daha üstün olduğu söylenebilir. Bu yüzden, ülkemiz gibi deprem tehlikesinin bulunduğu yerlerde prefabrike yapı tasarımı yaparken, birleşim bölgelerine gereken özen fazlasıyla gösterilmeli, bu bölgeler uygulama kolaylığı açısından iyi bir şekilde detaylandırılmalı ve uygulamada da proje kriterlerine tam olarak uyulmalıdır.

5.1 Birleşim Bölgelerinin Sahip Olması Gereken Özellikler

Tasarımı yapılan ve uygulanması düşünülen birleşim bölgelerinin ilk olarak sahip olması gereken özellik, kullanım ömrü boyunca kendisine etki etmesi beklenen sabit yükler (taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların ağırlıkları), düşey hareketli yükler (yapı üzerinde bulunan eşya ve insan gibi geçici yükler), yatay hareketli yükler (deprem ve rüzgar kuvvetleri) veya olması muhtemel toprak ve su basınçlarından dolayı oluşan yüklere karşı koyabilecek yeterli dayanıma sahip olmasıdır.

Ayrıca, sıcaklık değişimleri sonucu panellerde oluşabilecek farklı deformasyonlardan dolayı oluşabilecek iç kuvvetler, patlama gibi yapı ömründe karşılaşma olasılığı az olan fakat önemli iç kuvvetler doğuracak durumlarında göz önünde bulundurulması

tasarım için dikkat edilmesi gereken hususlardır .(1968 yılında, Canning Town'daki (Londra) Ronan Point binasının 18. katında meydana gelen bir patlama “zincirleme bir çökme” ye yol açmış ve bunun sonucunda çeşitli ülkelerde duvar ve döşeme bağlantılarında ek önlemler alınmasına neden olmuştur.) [4]

Prefabrike yapılarında diğer yapılar gibi yüksek sünekliğe sahip olma durumuna göre tasarlanması oldukça önemlidir. Yüksek sünekliğe göre tasarlanmış olan bir panolu sistemde yapı tarafından, yapıya etki eden deprem kuvvetlerinden dolayı ortaya çıkan enerjinin emilmesi son derece önemlidir. Zaten “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdeler ile taşındığı binaların süneklik düzeyi normal sistemler olarak tasarlanmasına izin vermemektedir.

Prefabrike panolu yapılarda birleşim bölgelerinde dikkat edilecek bir diğer husus ise yüksek durabiliteye göre tasarlanmasıdır. Prefabrike panolu yapılarda duvar ve döşeme panelleri birleşim bölgesindeki betonun sonradan dökülüyor olması ve bu bölgelerin yüksek öneme sahip olması, durabilitenin bu bölgeler için ne kadar önemli olduğunun bir göstergesidir. Bu bölgelerde bulunan çelik elemanların açık havanın olumsuz etkilerine karşı korunması için, bu elemanlar uygun şekilde boyanmalı ve beton ile kaplanırken yeterli pas payının bırakılmasına özen gösterilmelidir.

Prefabrike yapılarda yangına karşı, ekstra önlemler almaya gerek yoktur. Fakat birleşim bölgeleri için bu durum geçerli değildir. Bu bölgelerde yangından dolayı meydana gelecek hasarlar yapının genelini etkileyeceğinden, özellikle pas payının yeterli seviyelerde olmasına dikkat edilmelidir.

Bir diğer husus; birleşim yerleri tasarımını, uygulamada zorluklarla karşılaşmayı engellemek için, sade bir şekilde yapmaktır. Bunun anlamı ekonomik bir tasarım yapılmasıyla eşdeğerdir. Yalnız bu tasarımı yaparken uygun dayanım ve performans şartlarına uyulması zorunludur.

Birleşim bölgeleri tasarlanırken maliyetlerinin de makul ölçülerde kalmasına dikkat edilmelidir. Özellikle daha karmaşık ve maliyetli bir tasarıma sahip olan moment aktaran birleşimlerden zorunlu olmadıkça kaçınılmalıdır.

Bütün bu özellikleri sağlayan birleşim bölgelerinin son olarak estetik tasarlanması da göz önünde bulundurulmalıdır.

Genel olarak, prefabrike elemanlarla yerinde dökme beton arasındaki birleşimlerin projelendirilmesinde kısaca aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. [8]

1) Birleşim bölgeleri, normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momenti gibi zorlamaları güvenli bir şekilde aktarabilecek şekilde tasarlanmalı ve uygulama yerinde proje detaylarına uyulmasına dikkat edilmelidir.

2) Birleşim bölgesinin dönme, yer değiştirme ve deformasyonları kabul edilebilir sınırlar içinde olmalı ve birleşen elemanlarla uyum göstermelidir.

3) Birleşim bölgesi sünek olarak tasarlanmalıdır. Yani birleşimin plastik deformasyon yapabilme kapasitesi sonuna kadar kullanılmalıdır. Bunun sonucunda zemindeki farklı oturmalar sonucunda oluşabilecek farklı deformasyonlara imkan verilebilir.

4) Birleşimlerin sıcaklık değişimi, rötre ve sünme gibi etkilerden doğabilecek iç kuvvetlere karşı dayanıklı olarak tasarlanmaları gereklidir.

5) Tolerans değerleri içerisinde, elemanların farklı boyutlarda olabilme ihtimali göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca belli sınırlar içerisinde bulunan ölçü sapmalarının giderilmesine olanak vermelidir.

6) Yapının montaj süresinin kısa olması için, zaman alıcı ve uğraştırıcı birleşim detaylarından kaçınılmalıdır.

7) Birleşimler kolaylıkla kontrol edilebilmeli ve gerektiğinde düzeltme yapılabilecek esnekliğe sahip olmalıdırlar.

8) Birleşim bölgeleri tasarlanırken maliyetlerinin, toplam maliyetlerin yanında makul ölçülerde kalmasına dikkat edilmelidir.

9) Birleşim bölgeleri ve mesnetler korozyona karşı korunmalı ve yangına karşı önlemler alınmalıdır.

10) Birleşim bölgeleri yeterli bir ses yalıtım özelliğine sahip olmalıdır.

11) Dış ortamda yer alan birleşim bölgeleri su ve hava geçirimsizliği sağlamalı ve ısı kaybı oluşturmamalıdır.

12) Birleşim bölgelerinin uygulama sırasında zorluk çıkarmamaları için gerekli koşul ve önlemler proje safhasında alınmalı ve proje etüdü çok iyi yapılmalıdır.

13) Bütün bu özellikleri sağlayan birleşim bölgelerinin mimari açıdan estetik bir

görünüm elde edilmesi sağlanmalıdır.

5.2 Prefabrike Elemanlarda Toleranslar ve Kontroller

Prefabrike elemanların üretiminde meydana gelen hatalardan kaynaklanan sapmalar şartnamelerde izin verilen değerler arasında olmalıdır. Ayrıca prefabrike elemanlar bu toleranslar dahilinde proje değerlerini de sağlamalıdır. Fakat bu söylenenlerden tolerans değerlerini aşan elemanların kullanılamayacağı anlamı çıkarılmamalıdır. Bu tür elemanlarda, kullanılacakları yer de dikkate alınarak, gerekli düzeltmelerin yapılması koşuluyla kullanılmasına izin verilebilir. Eğer böyle bir olasılık yoksa elemanın kullanılmasından vazgeçilmelidir. [8]

Prefabrike elemanların imalat sonrasında, üretilen elemanların sayısına ve projedeki detayların çokluğuna bağlı olarak, bütün elemanlarda veya örnekleme ile seçilen bazı elemanlarda gerekli kontrolleri yapılmalıdır. Eleman yüzeylerinde bulunan küçük boşluk ve deliklere, kalıpların birleşme noktalarında meydana gelen izlere ve betonda normal seviyede oluşabilecek renk değişikliklerine izin verilir. Ancak bunlar göze hoş gelmeyecek boyutlarda ise, tolerans boyutları dahilinde veya değilse birtakım işlemler sonucunda kullanılmalarına izin verilebilir. Ayrıca önerilmeli elemanlarda ters sehim değerleri uygun araçlarla ölçülerek hesap değerleriyle karşılaştırılmalıdır.

Tablo 5.1 Uzunluk ve Genişlik Ölçülerinin Sınır Tolerans Değerleri

	Anma boyutları (m)							
Yapı Elemanı	p< 1.5	1.5<p<3	3<p<6	6<p<10	10<p<15	15<p<22	22<p<30	p>30
Döşeme plakları ve duvar panolarının uzunluk ve genişlikleri	+8 mm	+8 mm	+10 mm	+12 mm	+16 mm	+20 mm	+20 mm	+20 mm
Öngerilmeli yapı elemanlarının uzunlukları	-	-	-	+16 mm	+16 mm	+20 mm	+25 mm	+30 mm
Cephe panolarının uzunluk ve genişlikleri	+5 mm	+6 mm	+8 mm	+10 mm	-	-	-	-

Tablo 5.2 Kesit Boyutlarının Sınır Tolerans Değerleri

Yapı Elemanı	Anma boyutları (m)					
	t< 0.15	0.15<t<0.3	0.3<t<0.6	0.6<t<1	1<t<1.5	t>1.5
Döşeme plakları kalınlıkları h1,h2,s	+6 mm	+8 mm	+10 mm	-	-	-
Duvar ve cephe panoları kalınlıkları s	+5 mm	+6 mm	+8 mm	-	-	-

5.3 Yük Katsayıları

Prefabrike yapılarda birleşim bölgesine gelen katsayıyla arttırılmış hesap yükü ayrıca en az 4/3 değerindeki bir katsayı ile arttırılmalıdır. Daha güvenli bir hesap yapılmak isteniyorsa bu katsayı daha da arttırılabilir. Neopren gibi mesnet ara malzemelerinin hesabında katsayıyla arttırılmamış yükler kullanılmalıdır. Eğilme etkisinde eleman mesnetlerinde yatay yük varsa ve bu yükün değeri hesapla bulunmamışsa, düşey yük değerinin en az 1/10'u yatay yük olarak hesaba katılabilir. Ayrıca korniyer, kaynak gibi malzemelerle gerçekleştirilen bazı özel birleşimlerde malzeme katsayıları da arttırılmalıdır.

5.4 Kesme Sürtünmesi

Prefabrike panolu yapılarda birleşim bölgesindeki beton sonradan döküldüğü için ve bu dökülen betonun panellerle birleşim bölgesindeki olması muhtemel çatlağın pürüzlü yüzündeki sürtünme kuvvetlerini almak için konulacak “kesme sürtünme” teçhizat alanı (A_{sf}) aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$A_{sf} = V_d / 0.7 f_{yk} \cdot \mu_e, (mm^2) \quad (5.1)$$

Tablo 5.3 Sürtünme Katsayıları

Temas Yüzeyi Durumu	μ	Maks. Hesap Kesme Kuvveti (V_d)
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	$0,25 \lambda^2 f_{ck} A_{cr} < 6,9 \lambda^2 A_{cr}$
Ek sonradan dökülmüş, eski betonun yüzü yeterince pürüzlü değil	0,4	$0,15 \lambda^2 f_{ck} A_{cr} < 4,1 \lambda^2 A_{cr}$
Ek çelik üzerine dökülmüş	0,6	$0,20 \lambda^2 f_{ck} A_{cr} < 5,5 \lambda^2 A_{cr}$

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

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

$\lambda = 1.0$ (Normal betonlar için)

$\lambda = 0.75$ (Hafif betonlar için)

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

$$A_n = H_d / 0.7 f_{yk} \quad (\text{mm}^2) \quad (5.2)$$

teçhizatı da eklenmelidir. H_d her durumda mesnet reaksiyon kuvvetinin % 10'undan küçük olmalıdır.

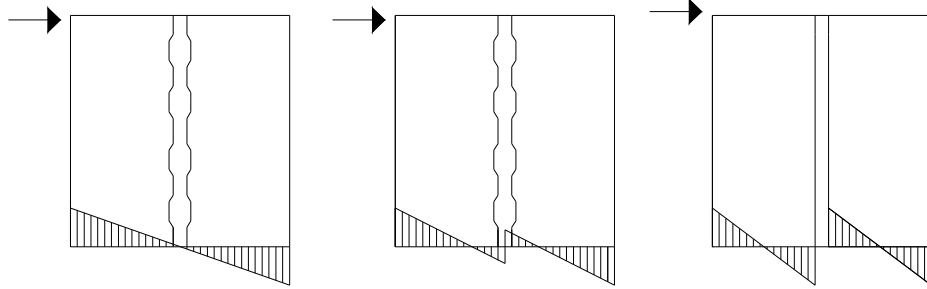
5.5 Taşıyıcı Duvar Panolarının Birleşimleri

Bu tür birleşimlerde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, birleşimlerin kesme etkilerini bir panodan diğerine aktarabilecek nitelikte olmasıdır. Panellerden oluşan ve kesmeye çalışan duvar elemanlarının hem düşey hem de yatay birleşimlerinden beklenen şey, bu elemanların bir bütün olarak hareket edebilmesini sağlamasıdır. Bu tür elemanların yatay ve düşey birleşim bölgelerinin detaylandırılmasında önemli bir husus, bağlantı bölgesine etki edecek kuvvet türünün ve şiddetinin saptanmasıdır. Örneğin bağlantı bölgesine sadece basınç kuvvetleri geliyorsa, mukavemeti iyi olan bir beton tabakası yeterli gelebilmektedir. Eğer çekme kuvvetleri geliyorsa bu tür kuvvetler beton içindeki donatılarla veya ankrajlı çelik plakaların ek öğelerin yardımı ile birbirlerine kaynaklanması suretiyle karşılanabilirler. Birleşim bölgelerine gelen kesme kuvvetleri ise bu bölgelerde bulunan donatılar, kenetli yapılabilen panel ara yüzleri ve kaynaklı plakalar yardımı ile karşılanabilirler. Moment aktaran bir birleşim tasarlamak için ise enlemesine ek donatı düzenlemesine gitmek uygun bir çözüm olabilir.

Taşıyıcı duvar panolarının birleşimlerini düşey bağlantılar ve yatay bağlantılar olarak iki gruba ayırmak mümkündür.

5.5.1 Düşey Birleşimler

Bu tür birleşimler, taşıyıcı duvar panolarının düşey kenarları arasında yapılan bağlantılar olup, duvar panolarının monolitik olarak çalışmasını sağlarlar. Böylece genel olarak yapının rijitliğini arttırlar. Deprem, rüzgar veya farklı oturmalarından kaynaklanan yatay kuvvetler, bu tür bağlantılarda basınç, çekme ve kesme kuvvetleri oluşturur. Bu tür kuvvetleri farklı türde donatı düzenlemelerine giderek veya birleşim yüzeyinin geometrisiyle oynayarak karşılamak mümkündür. Birleşime gelen kesme kuvvetinin iki bileşeninin olduğu düşünülürse, basınç kuvveti bileşeninin kenetler tarafından, basınç kuvvetine göre daha küçük olan çekme kuvveti de birleşimdeki donatı tarafından karşılanmaktadır. Düşey birleşimleri; rijit birleşimler, yarı rijit birleşimler ve açık birleşimler (rijit olmayan birleşimler) olarak 3 gruba ayırmak mümkündür. Rijit birleşimler; birleşim bölgesini panel duvarlarla birlikte monolitik bir davranış gösterdiği yani birleşim bölgesinin kesme deformasyonlarının, panel elemanların kesme deformasyonları ile aynı mertebede olduğu birleşimlerdir. Yarı rijit birleşimler ise birleşim bölgesinin ve panel duvarların tam anlamıyla monolitik bir davranış gösteremediği, yani kesme deformasyonlarının aynı mertebede olmadığı birleşim şeklidir. Açık birleşimler yani rijit olmayan birleşimlerde ise birleşim bölgeleri kesme kuvveti aktarmaz dolayısıyla her bir pano birbirinden bağımsız olarak hareket eder.



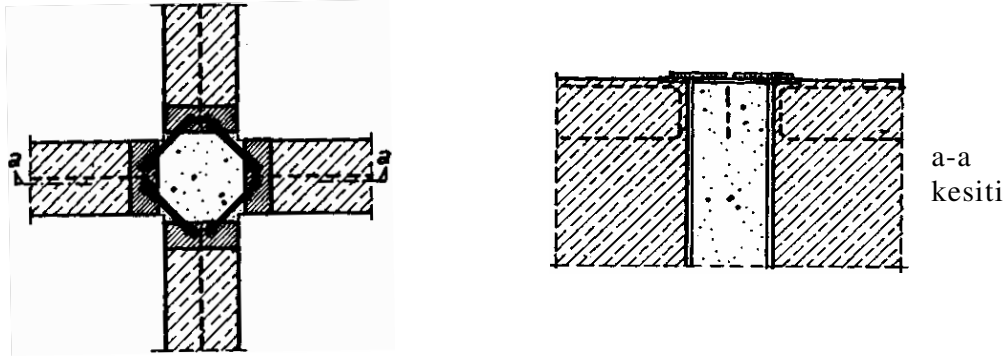
Şekil 5.1 Rijit, Yarı Rijit ve Açık Düşey Birleşimler

5.5.1.1 Mafsallı Birleşimler

Bu tür birleşimler, moment transferini sağlamadıkları için bu şekilde adlandırılırlar. Sadece basınç ve çekme kuvvetlerini aktarabilen bu tür birleşimler genellikle kat seviyesinde döşeme diyaframı boyunca ve bağ çubuklarında oluşturulurlar. Birleşim kat seviyeleri arasında serbest olduğundan yatay yükler panellerin kendi rijitlikleri ile bağımsız olarak karşılanırlar.

5.5.1.2 Mekanik Birleşimler

Bu tür birleşimler, duvar panelleri ara yüzlerine fabrikasyon aşamasında gömülmüş ankraj elemanlarından ve bunların çelik kısımlarından oluşurlar. Birleşim bölgesinin dayanımı genel olarak ankraj elemanının dayanımıyla eşdeğerdir. Ankraj elemanı ile çelik kısımların bağlantısı bulon, kaynak veya yerinde dökme harç ile sağlanır.



Şekil 5.2 Mekanik Birleşim Örneği

5.5.1.3 Harçlı Birleşimler

Ara malzemesi harç olan bu tür birleşimlerde sınırlı bir yatay kuvvetin dışında yalnız basınç kuvvetlerinin aktarıldığı durumlarda kullanılırlar. Ara malzemesinde yüksek dayanımlı bir beton kullanılması basınç kuvvetinin daha iyi aktarılmasında etkili olur.

5.5.1.4 Kenetli Birleşimler

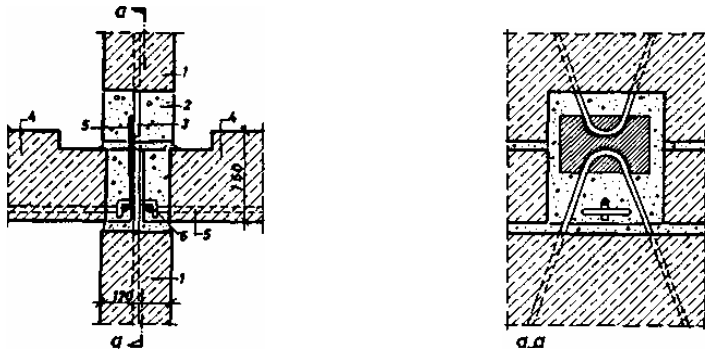
Bu birleşimler hakkında 6. bölümde kapsamlı bilgi verilmiş olduğundan bu kısımda sadece bazı tanımlamalara yer verilecektir.

Kenetli birleşimler, prefabrike taşıyıcı duvar elemanlarının birleşim bölgesindeki kesme kuvvetini daha iyi karşılamak amacıyla taşıyıcı duvar panoların ara yüzlerinde girinti ve çıkıntılar oluşturarak yapılan birleşim türüdür. Donatılı veya donatısız olarak oluşturulabilirler. Deprem riskinin fazla olduğu bölgelerde donatılı olarak oluşturulmaları tavsiye edilir.

5.5.2 Yatay Birleşimler

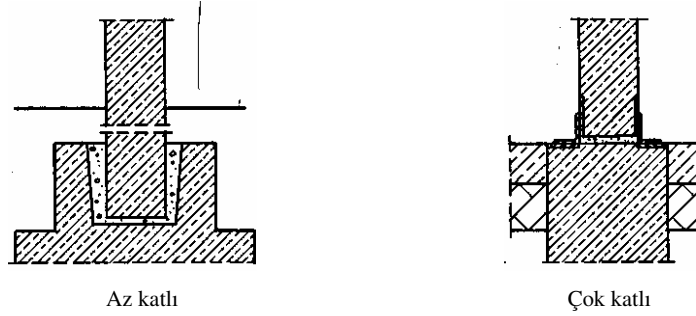
Yatay bağlantılar, yapıya etkiyen düşey yüklerin duvardan duvara aktarılmasını sağlayan ve döşemeye etkiyen yatay kuvvetleri taşıyıcı duvar panellerine aktaran birleşimlerdir.

Genellikle yukarıda anlatılan transfer çeşitlerini bağlantı bölgesinin içinde yer alan hatıllar sağlarlar. Bu hatılların ayrıca; montaj esnasında olası muhtemel hatalar sonucu oluşabilecek gerilmelerin dengelenmesini sağlamak ve duvar panellerinin düşey birleşimlerinde meydana gelebilecek çekme gerilmelerini karşılamak gibi görevleri de vardır. Özellikle deprem bölgesinde bulunan yapılarda üst üste oturan taşıyıcı duvar panelleri arasında büyük çekme kuvvetleri oluşabilmektedir. Bu çekme kuvvetlerini karşılamak amacıyla üst ve alt panellerden çıkan donatıların çelik plaka veya profiller yardımı ile birbirine kaynaklanması yada alt duvarda fabrikasyon sırasında oluşturulmuş ayar bulonlarının ankrajlı plakalara vidalanması gibi çözümler üretilebilir. Başka bir uygulama çeşidi ise üst panelin alt yüzünden çıkan donatıların alt paneldeki harçlı yuvalara geçirilmesi şeklindedir.



Şekil 5.3 Duvar Panellerinin Çelik Plakalar Yardımıyla Birleşimi

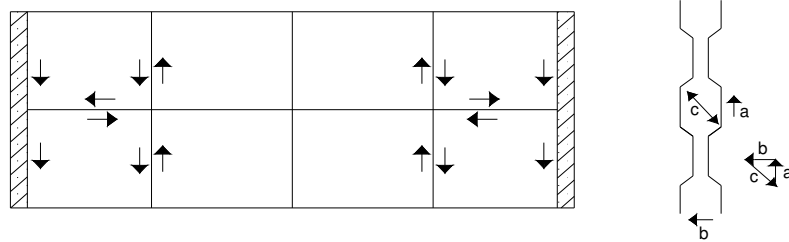
Taşıyıcı duvar panolarının temellerle birleşimi de yatay birleşim sınıfına girer. Bu tür birleşimler, yapıların kat adedine göre değişiklikler gösterebilir. Bir veya iki katlı yapılarda panellerin çanak temellere kamalar yardımıyla yerleştirilmesi ve sonra araya beton dökülmesi ve kamaların geri çıkarılması şeklinde uygulanır. Çok katlı yapılarda ise daha çok kaynaklı birleşimler tercih sebebidir. Fabrikasyon sırasında temelle birleşecek panel elemanın alt yan yüzlerine donatılarla bağlanmış plakalar bırakılması ve bu plakaların korniyerler yardımı ile yine temelde önceden bırakılan plakalara kaynaklanması gibi çözümlemelere gidilebilmektedir.



Şekil 5.4 Az ve Çok Katlı Yapılarda Duvar Paneli-Temel Birleşimi

5.6 Döşeme Panolarının Birleşimleri

Döşeme panoları, yükler yüzeylerine dik doğrultuda geldiklerinden eğilmeye çalışan elemanlardır. Bu panolar ayrıca taşıyıcı duvar panoları arasında rüzgar bağlantısı görevini de üstlenirler. Döşemelerin kat hizalarında rijit bir perde gibi yani diyafram şeklinde davranabilmeleri deprem yüklerini taşıyıcı duvar panolarına iyi bir şekilde aktarabilmeleri için oldukça önemlidir. Bu yüzden döşeme plakalarının birbirleri arasındaki bağlantılar büyük önem arz etmektedirler. Döşeme elemanlarının kendi aralarında oluşan kesme kuvvetlerinin bileşenleri, taşıyıcı duvar panolarındaki gibi, yüzeylerde oluşturulan kenetler ve en az iki noktada düzenlenen donatılar tarafından karşılanırlar.

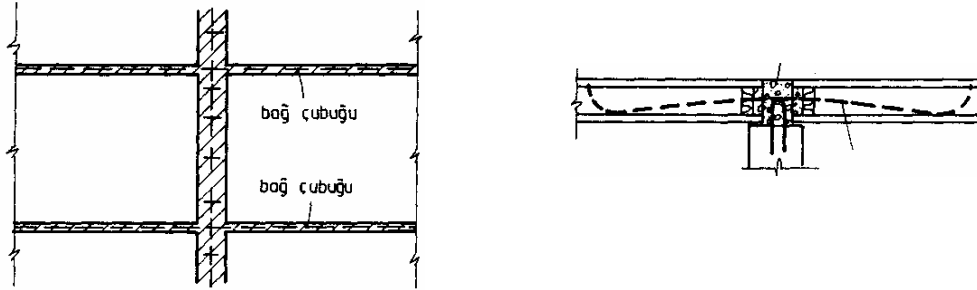


Şekil 5.5 Döşeme Panoları Aralarındaki Kuvvetler

5.6.1 Döşeme Panolarının Birleşim Çeşitleri [8]

5.6.1.1 Pano-Pano Birleşimi

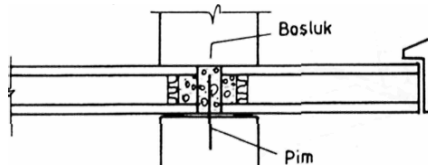
Bu tür birleşimler, moment taşıma kapasitesine sahip olmasalar bile düşey ve yatay kesme kuvvetlerini aktarabilirler. Döşeme panolarının arasına kuvvetli bir dolgu harcının yerleştirilmesiyle oluştururlar. Kat sisteminin birlikte hareket edebilmesi (diyafram davranışı) bu tür birleşim bölgelerinin dayanıklılığı ile eşdeğerdir.



Şekil 5.6 Döşeme Panolarının Bağ Çubuğu Yardımıyla Birleşimi

5.6.1.2 Pano-Ana Taşıyıcı Mesnet Birleşimi

Bu birleşimler, panoların kendi ağırlıkları ile pano üzerinde bulunan diğer yüklerin pano elemanlarından kiriş veya taşıyıcı duvar panolarına aktarıldıkları kesimdir. Rutubet alabilecek veya dinamik dingil yüklere maruz panel mesnetlerinde neopren yastıklar ve buna benzer malzemelerin kullanılması önerilir. Birleşim bölgesinde oluşan boşluğa bağ çubuğu yerleştirilir. Bu tür birleşimlerde konsol uygulamaları da olabilmektedir.



Şekil 5.7 Döşeme Panolarında Konsol Uygulanması

5.6.1.3 Pano-Tali Yön Birleşimi

Pano elemanlarının yüzlerinden birinin hatıl, kiriş veya diğer yönde uzanan başka bir panel ile birleşimidir.

5.7 Taşıyıcı Panolar Arasındaki Kayma Birleşimleri

Taşıyıcı duvar perdeleriyle yapılan birleşimlerde, monolitik davranışın sağlanması için düşey ve yatay birleşimlerde kayma olmamasının sağlanması esastır. Bu tür birleşimlere “pano kayma birleşimi” adı verilir.

Pano kayma birleşimleri kuru birleşim veya ıslak birleşim şeklinde olabilirler. Yalnız kuru birleşimle yerel olarak büyük etkiler doğurabileceklerinden aktarılan kuvvetin küçük olduğu durumlarda kullanılabilirler.

5.7.1 Kuru Birleşimler

Kuru birleşimler, elemanların birleşim kenarlarına hesapça gereken sayıda konulan çelik birleşim parçalarının (genellikle 2 veya 3 yerine) yerleştirilmesi şeklinde teşkil edilirler. Birleşim esnasında yan yana veya üst üste gelen bu parçalar birbirlerine kaynaklanmak suretiyle birleşimin kesme kuvveti aktarması sağlanır.

Çelik birleşim parçalarının aldıkları kesme kuvvetini pano betonlarına emniyetli bir şekilde aktarması temin edilmelidir. Bu elemanlarda kaynak emniyet gerilmesi % 30 oranında azaltılmalıdır. Eğer taşıma gücü yöntemine göre hesap yapılıyorsa malzeme katsayısı 1.5 alınmalıdır.

5.7.2 Islak Birleşimler

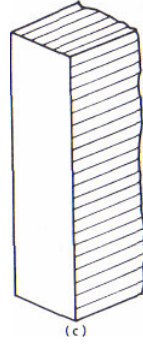
Yerinde dökme betonla uygulanan ıslak birleşimler, Avrupa ülkelerinin birçoğunda geçerliliğini sürdürmektedir. Elemanlardan çıkan donatı filizleri sayesinde çekme ve kesme kuvvetlerini karşılayabilirler. Aralara konulan bu kayma teçhizatları kaynak veya fiyonglu bindirme ile eklenebilir. Kaynaklı ek için aralığın açık olmasına dikkat edilmelidir. İki pano aralığı yerinde dökme betonla doldurularak birleşim tamamlanır. Panoların birleşen kenarları kenetsiz ve kenetli olabilirler.

5.7.2.1 Kenetsiz Birleşimler

Bu birleşimler yalnız yatay birleşimlerde ve arttırılmış kesme kuvvetinin sürtünme kuvvetinden büyük olmadığı durumlarda kullanılırlar.

$$A_{ke} = b_{ke} h_{ke} n \leq 0.2A_j \quad (5.3)$$

olması durumunda birleşim kenetsiz kabul edilmektedir.



AÇIK



KAPALI

Şekil 5.8 Kenetsiz Birleşimler

5.7.2.2 Kenetli Birleşimler

Kenetli kayma birleşimlerinde, 1 m’de bir veya daha az sayıda kenet olması halinde birleşim tekil kenetli, kenet sayısının daha çok olması halinde birleşime yayılı kenetli birleşim denir.

Deprem bölgelerinde düşey ekler daima yayılı kenetli yapılmalıdır. Tekil kenetler ancak aktarılabacak kesme kuvvetinin büyük olmadığı durumlarda yatay birleşimlerde kullanılmalıdır.

Kenetli ekin geometrisi,

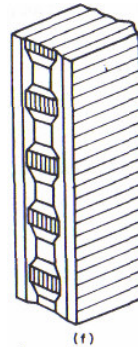
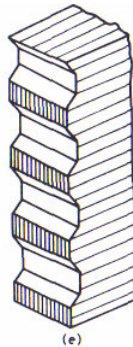
$$h_{ke} \geq 50 \text{ mm}$$

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

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

$$\alpha_{ke} \leq 30^\circ$$

şartlarını sağlamalıdır.



Şekil 5.9 Kenetli Birleşimler

5.7.3 Panolar Arasındaki Düşey Kayma Güvenliğinin Sağlanması

Düşey birleşimlerde kayma güvenliğinin sağlanması için; [8]

$$V_{res} > \alpha_{er} V_d \quad \text{olmalıdır.} \quad (5.4)$$

$$\omega_s = A_s f_{yk} / A_j f_{cd} \quad (5.5)$$

$\omega_s \leq 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 A_s f_{yk} \quad (5.6)$$

$\omega_s > 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 (A_{ke} + 0.02 A_j) f_{cd} + \beta_3 A_s f_{yk} \quad (5.7)$$

olarak hesaplanır.

Panolar arasındaki düşey kayma kapasitesi

$$V_{res} < 0.30 A_j f_{cd} \quad (5.8)$$

Tablo 5.4 β değerleri

	Yayıllı 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 da sağlanmalıdır.

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

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

Yalnız basınç etkisindeki düşey bir birleşimde kayma teçhizatı oranı,

$$\omega_s \geq 0.01 \quad \text{olmalıdır.} \quad (5.9)$$

A_s kayma teçhizatı birleşim boyunca eşit olarak dağıtılmalıdır. Ancak, arttırılmış kesme kuvvetinin küçük olması durumunda kayma teçhizatı, bu panolara oturan döşemeler arasındaki yatay birleşimin içine de konulabilir.

Kayma teçhizatı sürekli olmalı, ekleri TS 500’de verilen esaslara uygun yapılmalı ve kenetlenme bozulmadan teçhizat akma sınırına erişmelidir.

5.7.4 Panolar Arasındaki Yatay Kayma Güvenliğinin Sağlanması

Panolar arası yatay birleşimlere gelen etkiler; [8]

- Düşey yüklerden gelen basınç kuvveti,
- Yatay yüklerden gelen kesme kuvveti ve normal kuvvet,
- Yatay yüklerden gelen eğilme momentidir.

Bu nedenle yatay birleşimlerinin hesabı,

- Yalnız basınç gerilmelerine veya,
- Yalnız çekme gerilmelerine veya,
- Hem basınç hem çekme gerilmelerine,

göre yapılmalıdır.

Birleşimdeki pano yatay kesitleri, enine dışmerkezlilikler de göz önüne alınarak taşıma gücü metodu ile hesaplanmalıdır.

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 için teçhizat,

$$A_s > 0.0005 I_w t_w \quad (5.10)$$

olmalıdır.

5.7.4.1 Basınç Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimler

Yalnız basınç etkisindeki birleşimlerde, yatay yüklerden gelen N_d normal yükünün oluşturduğu sürtünme kuvveti, kayma güvenliğinin sağlanmasında hesaba katılmalıdır. [8]

Birleşimin kayma taşıma kapasitesi,

$$V_{res} < 0.30 A_j f_{cd} \quad (5.11)$$

olmalıdır.

$$\omega_s = (A_s f_{yk} + N_d) / A_j f_{cd} \quad (5.12)$$

$\omega_s \leq 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 (A_s f_{yk} + N_d) \quad (5.13)$$

$\omega_s > 0.15$ iken,

$$V_{res} = (\beta_1 A_{ke} + 0.02 A_j) f_{cd} + \beta_3 (A_s f_{yk} + N_d) \quad (5.14)$$

olarak hesaplanır.

$$V_d < \mu_s N_d \text{ ise} \quad (5.15)$$

$\beta_1 = 0$ alınabilir.

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ değerleri Tablo 5.4' den alınmalıdır.

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

$$V_{res} = 0.6 A_j f_{cd} - 0.5 N_d \text{ ' dir.} \quad (5.16)$$

Yalnız basınç etkisindeki düşey bir birleşimde kayma teçhizatı oranı,

$$\omega_s > 0.01 \text{ olmalıdır.} \quad (5.17)$$

A_s kayma teçhizatı birleşim boyunca eşit olarak dağıtılmalıdır. Ancak, arttırılmış kesme kuvvetinin küçük olması durumunda kayma teçhizatı, bu panolara oturan döşemeler arasındaki yatay birleşimin içine de konulabilir.

5.7.4.2 Çekme Gerilmeleri Etkisindeki Birleşimler

$$N_d \text{ 'nin çekme } N_d < A_s f_{yk} \quad (5.18)$$

olduğu yatay birleşimlerde, [8]

$$V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 (A_s f_{yk} - N_d) * [1 - N_d / A_s f_{yk}] \quad (5.19)$$

Çekme gerilmeleri etkisindeki yatay pano birleşimleri mutlaka kenetli yapılmalıdır.

5.7.4.3 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. [8]

$$N_m = t_w \sigma_m a_{jm} \quad (m = 0.1.2....) \quad (5.20)$$

N_m değerleriyle, duruma uygun V_{res} 'ler Den. (5.13), (5.14) ve (5.19) no'lu formüller kullanılarak hesaplanır.

Buna göre, birleşimin kayma mukavemeti,

$$V_{res} = \sum_{m=0}^m V_{res, m} \text{ 'dir} \quad (5.21)$$

Kayma güvenliğinin sağlanması için,

$$V_{res} > \alpha_{er} V_d \quad (5.22)$$

koşulu gerçekleşmelidir. Bu durumda $\alpha_{er} = 4/3$ alınmalıdır.

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

$$1) A_{sç} = N_d / f_{yk} \quad (5.23)$$

$$2) A_{sç} = 0.0005 I_w t_w \quad (5.24)$$

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

5.8 Panolar Arasındaki Basınc Birleşimleri

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

Böyle bir birleşim, panolar arası basınç birleşimi veya kısaca “pano basınç birleşimi” olarak adlandırılır.

Pano basınç birleşimleri, duvar üstüne oturan döşemelerin üst duvar altına girme boyu a_t ’nin değerine göre; [8]

- a) $a_t \geq 20$ mm iken dar birleşimler,
 - b) $a_t < 20$ mm iken geniş birleşimler,
- olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

5.8.1 Pano Basınc Birleşim Çeşitleri

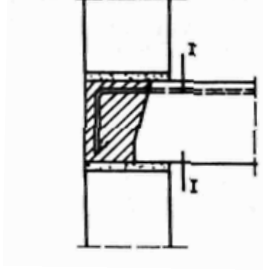
Pano basınç birleşimleri, birleşimdeki döşeme panosu mesnedinin dönmeye karşı gösterdiği rijitliğe bağlı olarak,

- Sürekli
- Kısmen sürekli
- Serbest

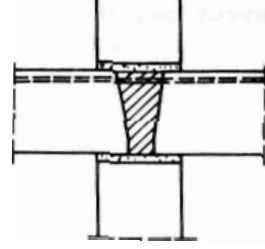
birleşim olarak sınıflandırılırlar.

Mesnet momenti için gerekli teçhizatı olan Şekil 5.10’da a ve b birleşimleri sürekli birleşimlerdir. Özel helisel teçhizat ile belirli bir oranda dönmeye karşı kısmen rijitliği sağlanmış, dolayısıyla sınırlı mesnet momenti taşıyabilen ve Şekil 5.10 c’de gösterilmiş birleşim, kısmen sürekli ve mesnet momenti teçhizatı olmayan, Şekil 5.10 d’de gösterilmiş birleşim ise serbest birleşimi göstermektedir.

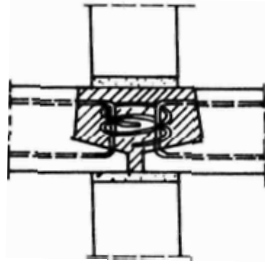
a)



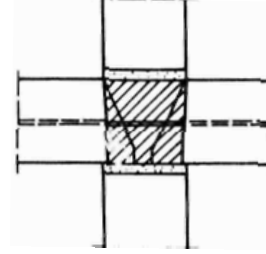
b)



c)



d)



Şekil 5.10 Birleşim Kontrol Sistemleri

5.8.2 Pano Basınç Birleşimlerinde Sınırlamalar

Döşeme alt teçhizatının a_s aderans boyu, hasır teçhizat halinde kayma teçhizatı yoksa $4\phi'$ den az olmamalıdır. Döşeme panosunun duvar panosuna oturma boyu olan a_b (Şekil 5.11) döşemenin bu doğrultudaki açıklığına bağlı olarak, $l \leq 6$ m ise en az;

a) İki kenarından sürekli kabul edilebilir şekilde mesnetli döşeme panolarında,

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

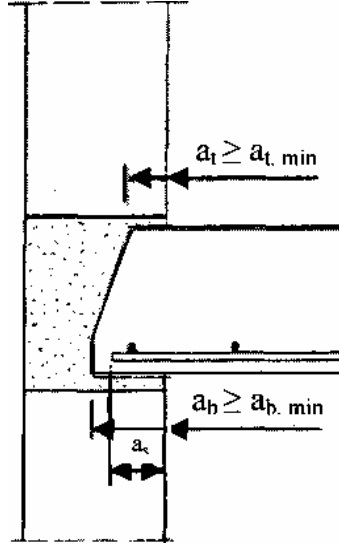
b) İki kenarından serbestçe oturan döşeme panolarında,

$$a_{b, \min} = 60 \text{ mm}$$

c) 3 veya 4 kenarından oturan döşeme panolarında,

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

$l > 6$ m ise a_b en az, $l \leq 6$ m olan değerlerin “1/6” değeri ile çarpımı kadar olmalıdır.



Şekil 5.11 Kenetlenme Boyu İçin Kesit

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

$$V_{fd} \leq 0.25 f_{ctd} \chi (1+50\rho) bd \quad (5.25)$$

ise, mesnette kayma teçhizatına gerek yoktur.

Döşeme panosu üst kenarının duvar panosunun altına girdiği durumlarda, birleşim sürekli değilse, a_c en az:

Duvar panolarının enine teçhizatı yoksa,

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

Duvar panolarının enine teçhizatı varsa,

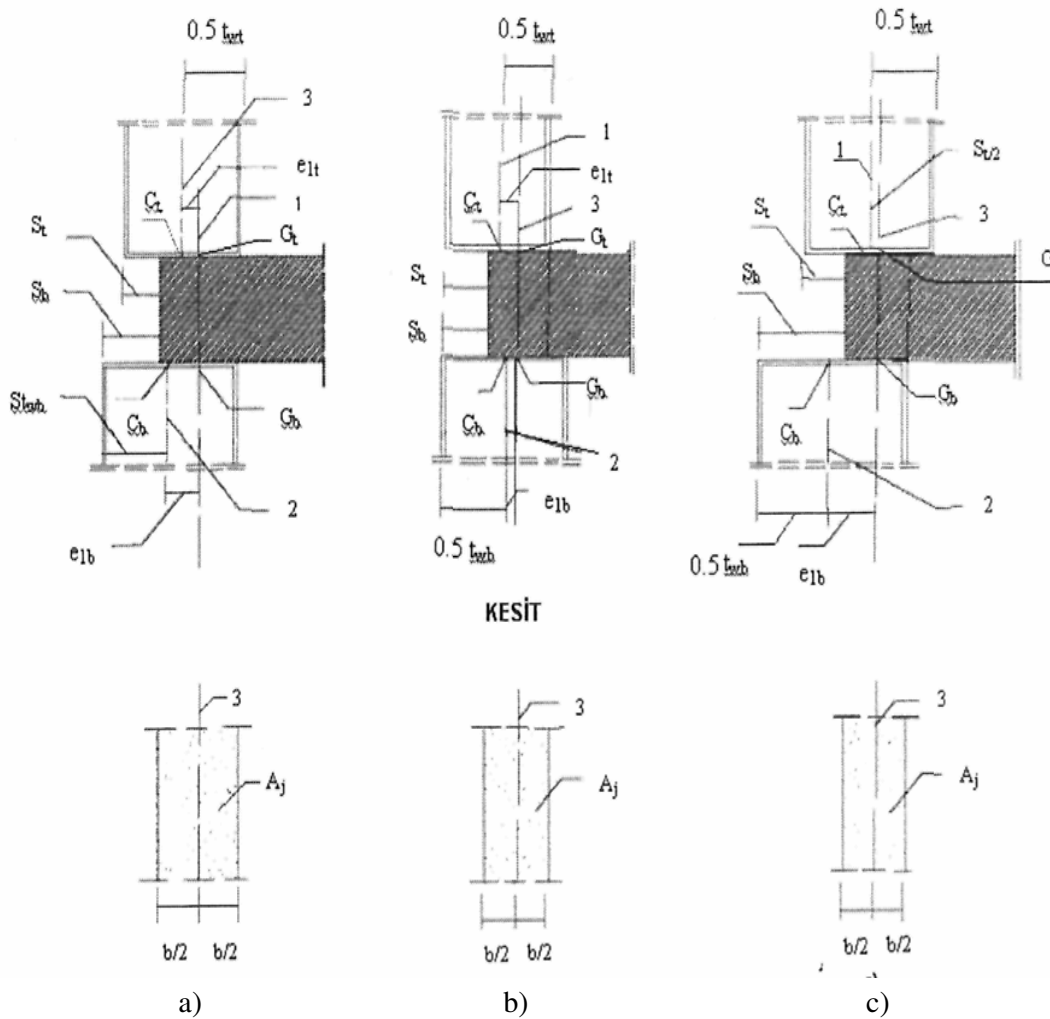
$$a_{t, min} = 30 \text{ mm olmalıdır.}$$

Döşeme panolarının, üst teçhizat için filizleri varsa a_c , bu filizlerin sonuna kadar olan boy olarak kabul edilebilir.

Serbest birleşim durumunda a_t sıfır olarak kabul edilmelidir.

5.8.3 Panonun Kendisinde ve Birleşimdeki Dışmerkezlik

Pano basınç birleşimlerinde, döşeme panosunun üst duvar panosundan alt duvar düşey yük aktaran kısmı, tabanı, duvar panolarının taşıyıcı tabakaları ile döşeme panosu kenarlarının yatay bir düzlemde belirttikleri ortak alan ve yüksekliği döşeme panosunun yüksekliği olan prizma olarak kabul edilebilir. Böyle bir prizma şekli şekil 5.12’de görülmektedir.



Şekil 5.12 Birleşimdeki ve Duvar Panosundaki Dış Merkezlikler

5.9 Taşıyıcı Duvarlar ile Rijitlik Duvarları Arasındaki Düşey Birleşim

Duvarlar, kenarlarının duvar düzlemine dik yer değiştirmelerine engel olmak için döşemeler, ara taşıyıcı duvarlar, rijitlik duvarları veya yeterli rijitliğe sahip benzer yapı elemanlarıyla iki, üç veya dört kenarlarından tutturulmalıdır. [8]

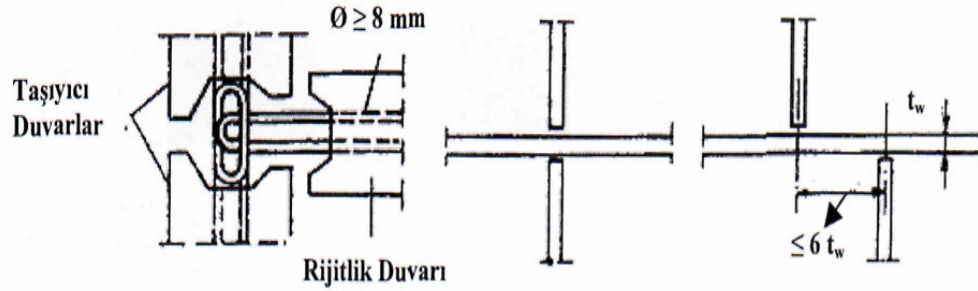
Taşıyıcı duvarlar, kendilerini rijitleştiren duvarlara, kuru veya ıslak bağlantıyla, $h/3$ $2h/3$ 'de olmak üzere en az iki noktada bağlanmalıdır. Her bir bağlantı;

$$T = N_r \cdot h / 30 \quad (5.26)$$

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 rijitlik duvarı veya aralıkları taşıyıcı duvar kalınlığının en az 6 katı olan şaşırtılmış rijitlik duvarları ile tutulduğu yerlerde, derzlere teçhizat konmayabilir.



Şekil 5.13 Taşıyıcı Duvar-Rijitlik Duvarı Birleşimi

6. PREFABRİKE PANOLU YAPILARDA KENETLİ BİRLEŞİMLER

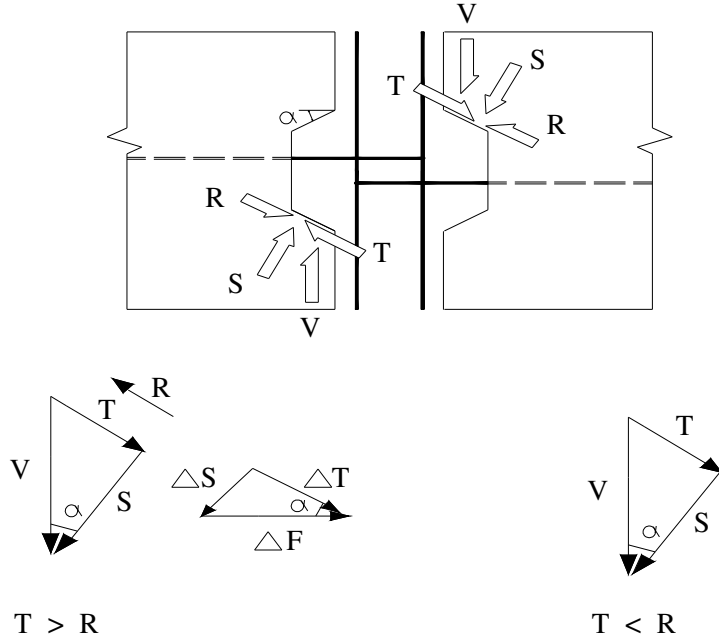
6.1 Genel

Prefabrike panolu yapılarda kesme kuvvetinin etkili bir biçimde karşılanması için taşıyıcı duvar panoları kenarlarına cepler oluşturmak kaydıyla yapılan birleşimlere kenetli birleşimler adı verilir.

Bu tür birleşimlere gelen kesme kuvvetinin iki bileşeni olduğu düşünülürse, büyük olan bileşen yani basınç kuvveti bileşeni, bu cepler vasıtası ile karşılanır. Küçük olan yatay yöndeki çekme kuvveti bileşeni ise birleşim bölgesindeki donatılar yardımı ile karşılanır. Bu tür birleşimler donatısız olarak da yapılabilirler. Donatılı ve donatısız birleşimler üzerinde yapılan deneyler sonucunda, her iki birleşimin yük-deformasyon eğrilerinin benzer sonuçları göstermesine rağmen, donatılı olarak oluşturulan kenetli birleşimlerin yüksek süneklik özelliğine sahip olmalarından dolayı, deprem riskinin yüksek olduğu yerlerde uygulanmaları tavsiye edilmektedir.

Kenetli birleşimler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ışığında genel olarak kenetli panolar arasındaki hasar, elemanlar üzerindeki kenetler ile taşıyıcı panolar arasındaki betonun arasındaki kayma problemleridir. Panel betonunun ve birleşim bölgesindeki betonun kalitesi yani kesme kuvveti taşıma kapasitesi ve birleşim yerini saran düşey donatı oranının birleşimin sınır kapasitesi üzerinde etkileri büyüktür. Burada önemli olan asıl nokta, birleşim bölgesine dökülen betonla, panel elemanların kenarlarında bulunan kenetlerin arasındaki aderansın iyi bir şekilde sağlanmasıdır. Taşıyıcı duvar panoları arasındaki beton sonradan döküldüğü için döküm sırasında oluşan hava kabarcıkları aderansın azalmasında önemli bir etkidir. Ayrıca yapılan bu deneyler sonucunda kenetlerin dizilim şeklinin taşıma kapasitesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Panel betonunun ve birleşim bölgesine dökülen betonun kalitesinin birleşim yerinin davranışı üzerinde büyük etkisi vardır ve hasarın yerini kontrol eder. Panel kenarlarında oluşturulan kenet boyutlarının kapasite üzerindeki etkisi vardır. Büyük kenet boyutlarına sahip panellerin kapasitesi, küçük kenet boyutlarına sahip panellere göre % 20 daha fazladır. [20]

6.2 Kenetli Birleşimlerde Oluşan İç Kuvvetler



Şekil 6.1 Kenetli Birleşimde Oluşan İç Kuvvetler

Yukarıdaki şekilde, düşey kesme kuvvetinin her bir kenette ortaya çıkan bileşenleri gösterilmiştir. Bu bileşenler, kenet eğimli yüzeyine paralel olan kayma bileşeni “T” ve kenet eğimli yüzeyine dik oluşan “S” kuvvetleridir. Bu kuvvetlerin düşey kesme kuvvetine bağlı karşılıkları aşağıda gösterilmiştir.

$$T = V \sin \alpha \quad (6.1)$$

$$S = V \cos \alpha \quad (6.2)$$

Burada, “S” kuvveti kenet eğimli yüzeyi tarafından karşılanır. Diğer “T” kuvveti ise kenet eğimli yüzeyi ile araya dökülen beton arasındaki aderans sayesinde karşılanır. Bu aderans yani kesme sürtünmesi kuvveti “R”;

$$R = S \tan \Phi \quad (6.3)$$

şeklinde ifade edilir.

$\tan \Phi = 0.60$ olarak varsayılırsa, “R” ve “T” arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde oluşur;

$$R = 0.60 T \cos \alpha / \sin \alpha = 0.60 T \cot \alpha \quad (6.4)$$

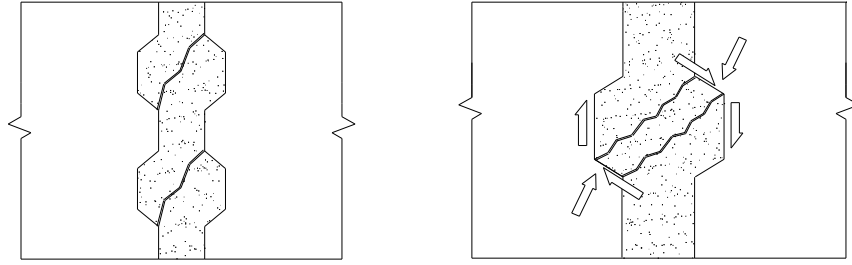
Kenet ara yüzeyinde kayma oluşmaması için “6.4” formülünde ifade edilen “R” değerinin “T” değerinden büyük olması gereklidir. Bunun içinde $0.60 \cot \alpha$ değerinin 1’ den büyük bir sayı olması gereklidir. Bu da ancak α açısının 30 dereceden küçük değerleri için mümkündür.

$$R > T \text{ ise } \alpha \leq 30^\circ$$

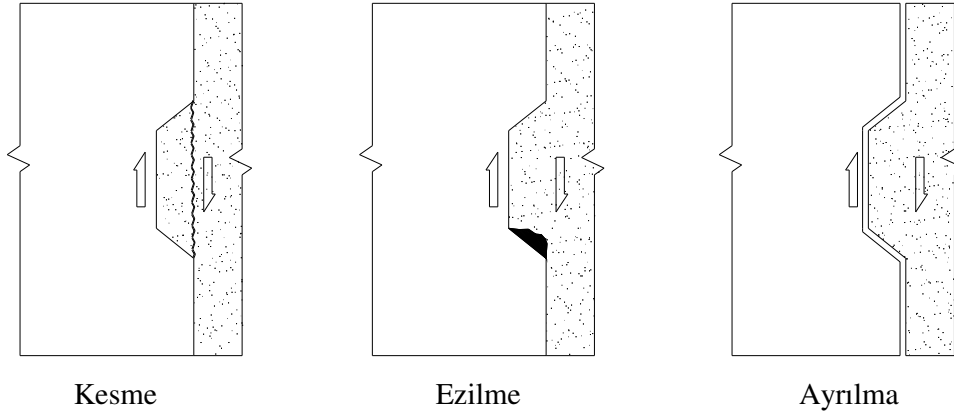
α değerinin 30 dereceden büyük olması durumunda ise $T > R$ olur ve bunun sonucu olarak “Şekil 6.1” de gösterilen ΔF çekme kuvveti oluşur.

$$\Delta F = V (\tan \alpha - \tan \Phi) \quad (6.5)$$

Oluşan bu çekme kuvveti birleşimdeki yatay donatılar tarafından karşılanmalıdır. [2]



Diagonal Çatlaklar



Şekil 6.2 Kenetli Birleşimlerde Oluşan Hasar Çeşitleri

6.3 Yatay ve Düşey Birleşimlerin Davranışları [17]

Kenetli birleşimlerin tasarım ilkelerine geçmeden önce konunun daha iyi anlaşılması için, birleşimlerin davranış biçimleri üzerinde durmak faydalı olacaktır.

6.3.1 Yatay Birleşimlerin Davranışları

Yatay birleşimler yapılarına bağlı olarak, yükler uygulandığında çeşitli şekillerde davranış biçimlerinde bulunabilirler.

6.3.1.1 Elastik Süreklilik Modeli

Dayanımın sınır durumunun birinci davranış biçimi olan elastik süreklilik modelinde, göçme birbirleriyle temas eden panel ara yüzeylerinin boyuna çatlaması veya birleşim malzemesinde oluşan basınç kırılması şeklinde olur. Birleşim bölgesi ve panelde sınır duruma ulaşıncaya kadar hasar oluşmaz. Sınır durumu, küçük deformasyonlar başlamasının hemen öncesine kadardır ve elastik bölgeyi ayırır.

Özellikle panel elemanların uç bölgelerinde katı etkileyecek kadar fark edilecek dönmeler yoktur. Bu yüzden bu davranış, döşeme ve duvarlar arasındaki elastik süreklilik varsayımına karşın davranış modeli ilkesine göre analiz edilebilir. Bunun sonucunda eğilme momentleri panel içinde meydana gelecektir.

6.3.1.2 Mafsallı Birleşim Modeli

Sınır durumu davranışının diğer modlarında fark edilecek derecede deformasyonlar oluşur. Bu deformasyonlar çeşitli malzemelerle oluşturulmuş birleşim bölgesinin temas yüzeylerinin deplasmanlarıyla uygunluk gösterir. Bütün durumlarda oluşan son dönmeler, elastik bölgelerde oluşan dönmelerden daha büyüktür. Yani birleşim bölgesi rahatlıkla hareket edebilir. Bunun sonucunda panel uçlarında küçük süreklilik momentleri oluşur ve bu momentler yapının geri kalan kısmına iletilir. Yani birleşim bölgesi kenar boyunca bir mafsal gibi davranır.

6.3.2 Düşey Birleşimlerin Davranışları

Yatay birleşimler için yukarıda açıklanan davranış türleri düşey birleşimler için de geçerlidir. Düşey birleşimler; kenetsiz (düz) birleşimler, basit kenetli birleşimler ve kenetli (özel) birleşimler olarak 3'e ayrılırlar. Bu birleşimlerin davranış biçimleri ayrı ayrı incelenecektir.

6.3.2.1 Kenetsiz (Düz) Birleşimler

Bazı tip düşey birleşimler kesme kuvvetlerinin panelden panele aktarmak için yetersizdirler. Bu tip birleşimler kesme kuvvetlerini iletmek için üzerlerinde hiçbir düzenlemenin olmadığı birleşimlerdir.

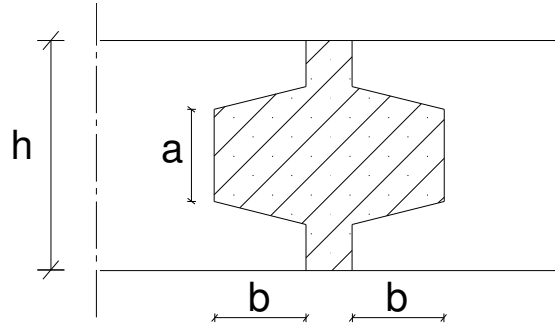
6.3.2.2 Basit Kenetli Birleşimler

Taşıyıcı paneller arasındaki düşey birleşimlerin temas yüzeyleri mesnetler arasındaki mekanik sürekliliği sağlamak için normal yapı mesnetleri gibi tasarlanırlar. Bu tür mesnetlerde çekmeden dolayı panel betonu panellerden ayrılmaya çalışır. Bunun sebebi temas yüzeyindeki pürüzsüzlüktür. Uygun mesnetlerde (monolitik dökülmüş) böyle bir problem olmadığı için buna izin verilemez.

Bu tür birleşimler kenetsiz birleşimlerin tolere edilen deformasyonları geçmesi sonucu kullanılabilirler. Bu birleşimlerde yüksek güvenlik faktörlerinin kullanılması bu birleşimlerden endişe edilmesini haklı çıkarır yöndedir.

Bu tür birleşimlerin uygun bir şekilde tasarlanmaları için aşağıdaki kurallara riayet edilmesi önerilir.

a) Birbirine bitişik panellerin düşey birleşim bölgelerindeki kenetlerin; genişlik ve derinlikleri panel genişliğinin 1/3' ü olması tavsiye edilir.

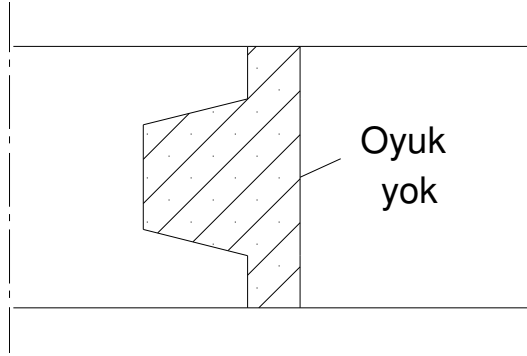


$$a > h/3$$

$$b > h/3$$

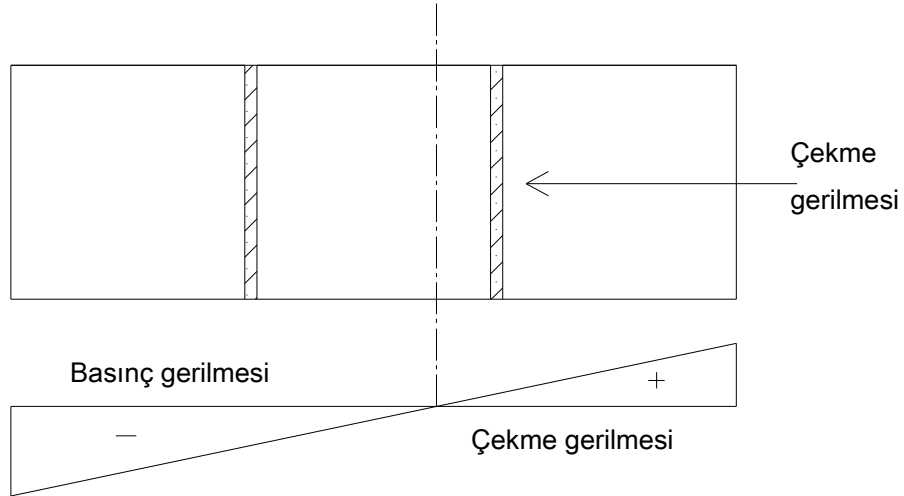
Şekil 6.3 Basit Kenetli Birleşimde Panel Kalınlığı, Kenet Genişlik-Derinlik İlişkisi

b) Birleşimlerin aşağıdaki şekilde olmaları tavsiye edilmez.



Şekil 6.4 Bir Tarafında Oyuk Olmayan Birleşim

c) Bu tür mesnetler panellerin birlikte hareket etmesi durumunda, çekme gerilmeleri oluşan bölgelerde kullanılmamalıdır. Böyle bir durumda farklı tür bir mesnet tipi seçilmeli veya bu mesnet göz önünde bulundurulmamalıdır.



Şekil 6.5 Panel Birleşim Bölgesinde Çekme Gerilmesi Oluşması Durumu

6.3.2.3 Kenetli (Özel) Birleşimler

Birçok durumda elemanlar, düşey kenarları sayesinde büyük kesme kuvvetlerini birbirlerine aktarabilirler. Bu durumun gerçekleşmesi için birleşim bölgelerinde özel yollara başvurmak gerekir. Sadece donatı kullanarak bu kuvvetleri karşılamak yeterli olmayabilir. Bununla beraber, panellerin temas yüzeylerine özel işlemler uygulamak kaydı ile görelî kaymanın önüne geçilebilir.

Bu tip mesnetler, basit kenetli birleşimlerden farklı olarak düşey yüzeylerindeki kabartmalar ve uygun çıkıntıları ile etkili bir şekilde kuvvet transferini sağlarlar. Bu tür mesnetler tasarım durumlarına göre iki farklı davranış biçim gösterebilirler.

1) Bu tür birleşimler sınır durumun üzerinde elastik davranış sergileyebilirler. Bu durum, birleşim bölgesindeki beton ve panel ara yüzeyinde hiçbir görelî kayma olmaksızın ve bu arada donatılar plastik özellik göstermeksizin, göçme moduna ulaşılması anlamına gelir.

Elastik davranış sonucu küçük deformasyonlar oluşur. Panel elemanlar arasında monolitik bir denge oluşur ve göçme gevrek kırılma şeklinde olur. (Elastic-Brittle Joints)

2) Eğer göçme modundan önce büyük miktarlarda görelî kayma meydana gelirse plastik sınır durumu davranışı gerçekleşir. Böyle bir durumda panel elemanların deformasyonları elastik bölgede kalır. Böylece bu durum, mesnetlerle birbirine bağlanmış ve biraz deforme olmuş panel elemanlardan oluşmuş bir sisteme benzer. Bu durumda mesnetler artık plastik bölgededir ve göçme birleşim bölgesindeki donatıların plastik özellik göstermesiyle oluşur.

Bunun gerçekleşmesi için yapı güvenlik derecesi öyle bir şekilde seçilmelidir ki; göçme sınır durumunda panel elemanlar rijit şeklini koruyabilmeli ve elastik bölgede kalmalı, düşey birleşim bölgesi ise plastik bağlantı şeklinde olmalıdır.

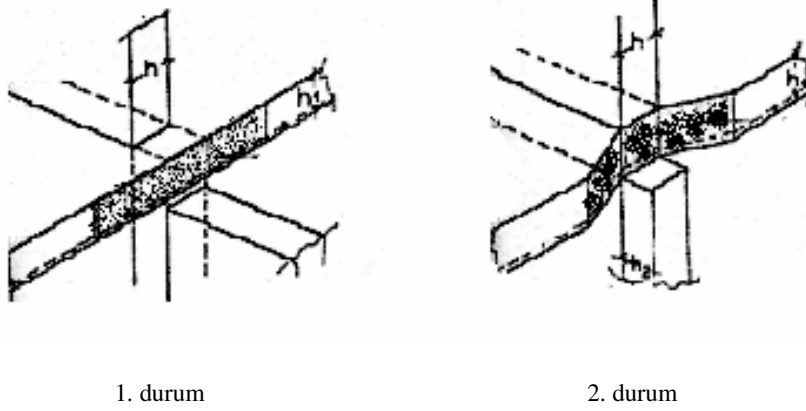
Limit durumu rijit-plastik davranış olan bu sistemin hesapları plastik teori tarafından göz önüne alınmalıdır. (Elastic-Plastic Joints)

6.4 Düşey Birleşimlerin Dayanımları

6.4.1 Kenetsiz (Düz) Birleşimlerin Dayanımı

Bu durumda yatay mesnetler (yatay bağ hatılları) ve döşemeler tarafından bağlanan elemanlarda kesme kuvvetleri kat seviyelerinde yoğunlaşırlar.

Kesme taşıma gücünün hesabı için 2 durum söz konusudur.



Şekil 6.6 Kilit Parçaları (Elemanları) Hayali Kesitleri (Taraflı Bölgeler)

1. durumda kilit parçası 2 eleman arasındadır. Kesme taşıma gücü aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$T^* \leq 0.6 (h+4h_1) h_1 \Gamma_b^* \quad (6.6)$$

2. durumda kilit parçası bir eleman ve düşey bağ elemanı arasındadır. Kesme taşıma gücü aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$T^* \leq 0.6 (h+3h_2) h_1 \Gamma_b^* \quad (6.7)$$

Burada;

T^* ; kilit elemanına etkiyen tasarım kesme kuvveti değeri,

Γ_b^* ; betonun çekme dayanım tasarım değeri,

h ; duvar panel kalınlığı,

h_1 ; döşeme paneli etkili kalınlığı,

h_2 ; bağ elemanının duvar paneline paralel kalınlığı,

değerlerini ifade etmektedirler.

6.4.2 Basit Kenetli Birleşimlerin Dayanımı

Kesme takviyesi, birleşim bölgesinin yüksekliği boyunca yayılı yapılacağı gibi üst ve alt bağ seviyelerinde tekil olarak da yapılabilir.

Γ_a^* ifadesi çeliğin tasarım dayanımını, s^* ifadesi kesme kuvvetinin birim yükseklik için belirli bir seviyedeki tasarım değerini gösterirse, panelin birim yüksekliğinde bulunması gereken donatı miktarı A , aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$A = s^* / \Gamma_a^* \quad (6.8)$$

Güvenlik katsayısı, her iki panelde de oyuk olması halinde 2.00, diğer tip birleşimler için ise 2.65 alınması tavsiye edilmektedir. Güvenlik katsayılarının yüksek olması bu tip birleşimlerin çok fazla güvenilir olmadığına bir göstergesidir.

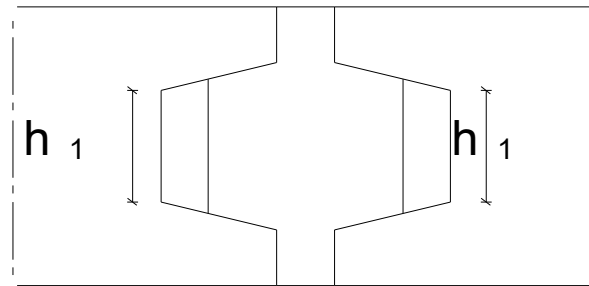
6.4.3 Kenetli (Özel) Birleşimlerin Dayanımı

Bu tip birleşimlerin dayanımını, basınç ve kayma dayanımı olarak 2 kısma ayırmak faydalı olacaktır. Tek bir kenede etkiyen kesme kuvveti değerini (birim) q^* ile, betonun tasarım dayanımı Γ_b^* ile, birleşimin etkili genişliği (kenedin oturduğu yüzeyin genişliği) h_1 (Şekil 6.7) ile ifade edilirse, birim kesme kuvveti değeri q^* ;

$$q^* \leq (h_1 \Gamma_b^*) / 3 \quad (6.9)$$

ifadesini sağlamalıdır.

Birleşimlerin kayma dayanımları ise panel ara yüzlerinde yeterli sıklıkta açılan oyuk veya çentikler yardımı ile sağlanır. Bu oyuk ve çentiklerin yüzeylerinin yeterli derecede pürüzlü olmalarına dikkat edilmelidir.



Şekil 6.7 Kenetli Birleşim Kesiti

6.5 Panolu Sistemlerde Birleşim Bölgeleri Üzerinde Yapılan Deneyler

Prefabrike sistemlerin sismik yükler altında nasıl davranacaklarını anlamak amacıyla yapılan deneysel çalışmalar, depremi en az zararla atlatmak için oldukça önemlidir. Yapılan deneysel çalışmalar ışığında iyileştirici önlemler almak, özellikle deprem gerçeğiyle yaşayan ve prefabrike yapıların yaygın bir biçimde uygulandığı ülkelerde büyük bir önem arz eder.

İlk olarak düz ve basit kenetli bir birleşim üzerinde yapılan deney çalışmasından bahsedilecektir. Daha sonra kenetli bir birleşim üzerinde yapılan deney çalışması anlatıldıktan sonra yapılan diğer deneysel çalışmalar hakkında bilgiler verilecektir.

6.5.1 Düz ve Basit Kenetli Birleşimler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışma

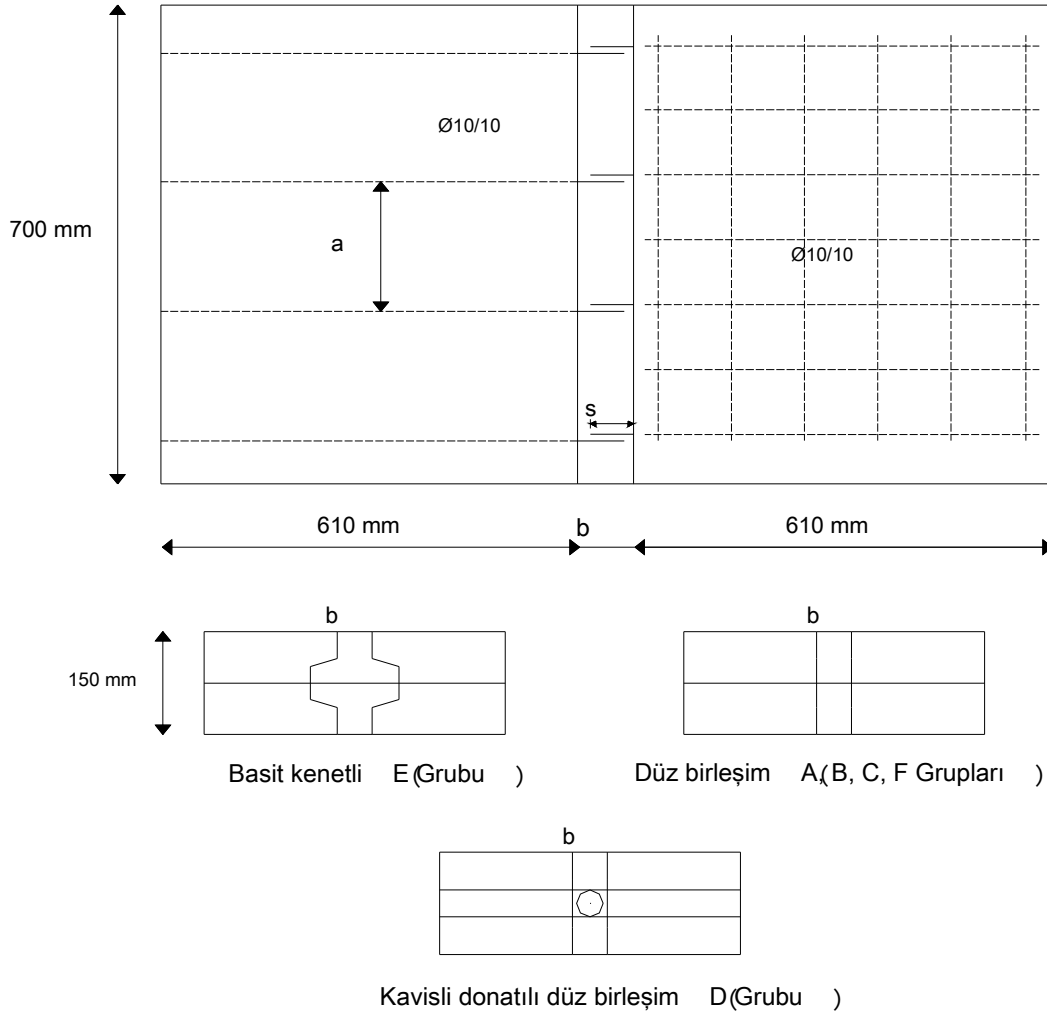
Bu çalışmada, panelli sistemlerin arasındaki düz ve basit kenetli düşey birleşimlerin kesme dayanımı deneysel olarak araştırılmıştır. 18 örnek üzerinde yapılan bu çalışma farklı mesnet genişlikleri, mesnet içindeki donatıların şekil ve sayısı ve farklı kesit şekilleri altında kesme, kesme ve basınç, kesme ve eğilme altında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, ACI ve BS 8110 yönetmeliklerinin tasarım koşulları ile teorik olarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca birleşim bölgesinin genişliklerinin kayma dayanımı üzerinde önemli etkileri olduğunu ve tasarım aşamasında bunun ihmal edilmemesi gerektiği sonucuna varılmıştır. [18]

6.5.1.1 Deneysel Program

18 örnek üzerinde yapılan bu çalışmada, düşey birleşim bölgesi farklı şekillerdeki yüklemelere maruz bırakılmışlardır. Her bir numune prefabrike iki panel ve düşey birleşimine dökülen betondan oluşmuştur.

Bu çalışmada parametre değişimleri;

- 1) Birleşimin genişliği,
- 2) Birleşimdeki donatı adedi,
- 3) Birleşimdeki donatının şekli (Düz veya kavisli)
- 4) Yükler
- 5) Mesnet şekli (Düz veya basit kenetli)

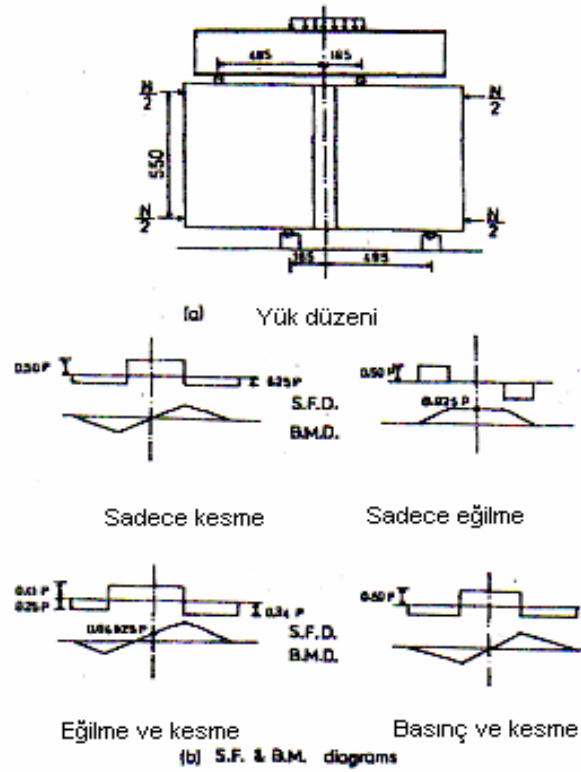


Şekil 6.8 Deney Numunelerinin Özellikleri

Panel ve birleşim bölgesinde kullanılan donatı 10 mm çapında ve akma dayanımı 350 MPa olan inşaat çeliğidir. Mesnet içindeki donatıların binme boyları mesnet genişliklerine göre sınırlandırılmışlardır. Diğer bütün faktörler, örneğin panel veya birleşimde kullanılan betonun kalitesi gibi, sağlıklı sonuçların alınması için mümkün olduğunca birbirine yakın tutulmaya çalışılmıştır. Bütün numuneler panel betonunun 28 günlük, birleşimde kullanılan betonun 21 günlük zamanlarında test edilmişlerdir. Beton karışım oranları 1:1.5:3 (çimento: kum:çakıl) şeklindedir. Kullanılan çimento Portland çimentosu olup maksimum agrega çapı 19 mm'dir. Karışımdaki su/çimento oranı 0.5'dir.

Tablo 6.1 Deney Numunelerinin Detayları

Numune	a (mm)	b (mm)	s (mm)	Yük Şekli	Donatı Şekli	Mesnet Şekli
A1	600	100	80	Kesme	Düz	Düz
A2	300	100	80	Kesme	Düz	Düz
A3	200	100	80	Kesme	Düz	Düz
A4	150	100	80	Kesme	Düz	Düz
B1	200	60	60	Kesme	Düz	Düz
B2	200	80	70	Kesme	Düz	Düz
B3	200	120	90	Kesme	Düz	Düz
C1	200	100	80	Eğilme	Düz	Düz
C2	200	100	80	Kesme+Eğilme	Düz	Düz
C3	200	100	80	Kesme+Basınç	Düz	Düz
D1	200	100	80	Kesme	Kavisli	Düz
D2	200	100	80	Eğilme	Kavisli	Düz
D3	200	100	80	Kesme+Eğilme	Kavisli	Düz
D4	200	100	80	Kesme+Basınç	Kavisli	Düz
E1	200	100	80	Kesme	Düz	Basit Kenetli
F1	300	60	60	Kesme	Düz	Düz
F2	300	80	70	Kesme	Düz	Düz
F3	300	120	90	Kesme	Düz	Düz

**Şekil 6.9** Yük Tipleri [18]

6.5.1.2 Deney Sonuçları

Deney neticesinden elde edilen sonuçlara göre, sadece kesme kuvveti altında yapılan deneylerde, kayma deformasyonu lineer olarak artmaya devam ederken, bütün numunelerde ilk çatlak oluşuktan sonra aniden göçme meydana gelmiştir. Şekil 6.10'da gösterilen A, B ve F gruplarına ait yük deplasman eğrilerine göre, birleşim bölgesinin genişliklerinin ve birleşim bölgesindeki donatı miktarlarının, birleşimin maksimum kayma deformasyon değeri ve birleşimin sünekliği üzerinde etkisinin olduğu açıkça görülmektedir. Bütün numunelerin göçme modunda beklendiği gibi diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Farklı yük tiplerinde oluşan hasar çeşitleri Şekil 6.11' de görülmektedir.

Ayrıca deneysel çalışmalardan, birleşim bölgesinde bulunan donatı sayısının kesme dayanımı üzerinde direk etkisinin olduğu kanıtlanmıştır. (Şekil 6.12) Ayrıca mesnet genişliğinin artması ile birleşimin kesme dayanımında önemli azalmalar meydana geldiği açıkça görülmektedir. (Şekil 6.13)

Düz birleşimlerde (kenetsiz) mesnet genişliğinin dayanıma etkisi, kenetli olarak oluşturulan mesnetlere olan etkisinden tamamen farklıdır. Mesnet genişliğinin kenetli birleşimlerin kesme dayanımına etkisi yoktur.

Birleşim bölgelerinde farklı yük tipleri altında denenilen numunelerde düz donatı yerine (tek), kavisli olarak oluşturulan donatı tipinin (çift) seçilmesi ile birleşimin kayma kapasitesinin arttığı görülmüştür. (Şekil 6.14)

Birleşimin düz veya basit kenetli seçilmesinin yani mesnet şeklinin kesme dayanımı üzerindeki etkisi üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre, daha fazla temas yüzeyine sahip basit kenetli birleşimlerin düz olarak yapılan birleşimlere göre daha fazla taşıma kapasitesine sahip oldukları görülmüştür. (Şekil 6.15)

Basit kenetli birleşimler ile ilgili, dayanımlarının ve davranışlarının çok daha iyi belirlenmesi için daha fazla araştırma yapılmasına ihtiyaç duyulabilir.

Deney sonuçları çeşitli standartlarda, bazı kişisel çalışmalarda ve bu çalışma sonucu teorik olarak oluşturulmuş formüllerle karşılaştırılmıştır. Bu formüllerin verilmesi ile karşılaştırmalar daha iyi anlaşılacaktır.

İngiliz Standartına göre (BS 8110);

$$V_u = 0.6 \cdot 0.87 f_{yk} A_s \tan_{af} \quad (6.10)$$

$\tan_{af}$ 0.7 (düz birleşim) ile 1.4 (kenetli birleşim) arasında değişen değerlerdir.

ACI 313-83'e göre (tavsiye);

$$V_u = A_s f_{yk} \mu \quad (6.11)$$

μ sürtünme katsayısı değeri (0.6)

Bennett & Banerjee' e göre;

Moment yoksa;

$$V_u = \alpha v_c A_c + \eta N + 1.4 A_s \sqrt{f_{yk} / f_{cu}} \quad (6.12)$$

α düz birleşimler için 0.5 ve kenetli birleşimler için 0.75,

v_c 0.4 MPa (düz birleşim) ile 1 MPa (pürüzlü veya kenetli birleşim) arasında değişir,

η düz birleşimler için 0.6 MPa ve pürüzlü veya kenetli birleşimler için 0.80 MPa.

Moment varsa;

$$V_u = (\alpha v_c f_{yk} A_c + 1.48 \sqrt{f_{yk} / f_{cu}}) z / (z - \eta a') \quad (6.13)$$

z manivela kolu değeri (0.62H, yüksek kirişler), a' mesnet reaksiyon hattı ile mesnet yüzeyi arasındaki dik mesafedir.

Tavsiye edilen teorik formüller;

$$V_u = \lambda_1 A_c v_c + n \lambda_2 \delta \Phi \sqrt{f_{yk} / f'_c} + \eta N \quad (6.14)$$

Moment varsa;

$$V_u = (\lambda_1 A_c v_c + n \lambda_2 \delta \Phi^2 \sqrt{f_{yk} / f'_c}) z / (z - \eta a') \quad (6.15)$$

$$\lambda_1 = 1 - (2b/H) \quad (6.16)$$

$$\lambda_2 = 100 \text{ (mm)} / b \text{ (mm)} \quad (6.17)$$

b birleşim bölgesinin genişliği,

H panel yüksekliği,

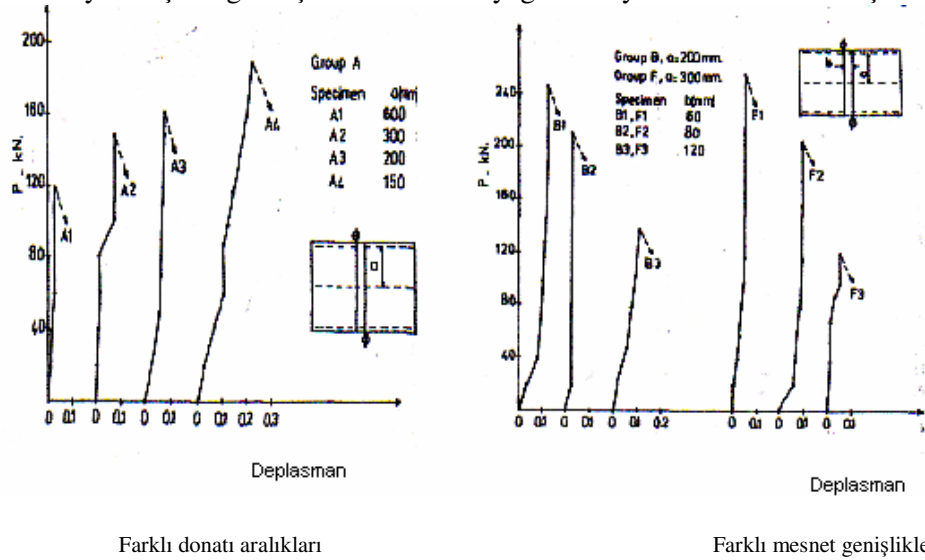
v_c yükleme tipine bağlı bir katsayı (BS 8110, Kısım 1)

Yukarıdaki formüllerde Φ donatı çapı, A_c birleşim bölgesi boyuna kesiti, n donatı adedi, f_y donatı akma dayanımı, f'_c beton basınç dayanımı ($f'_c = 0.78 f_{cu}$), A_s ise birleşimdeki donatı alanını göstermektedir.

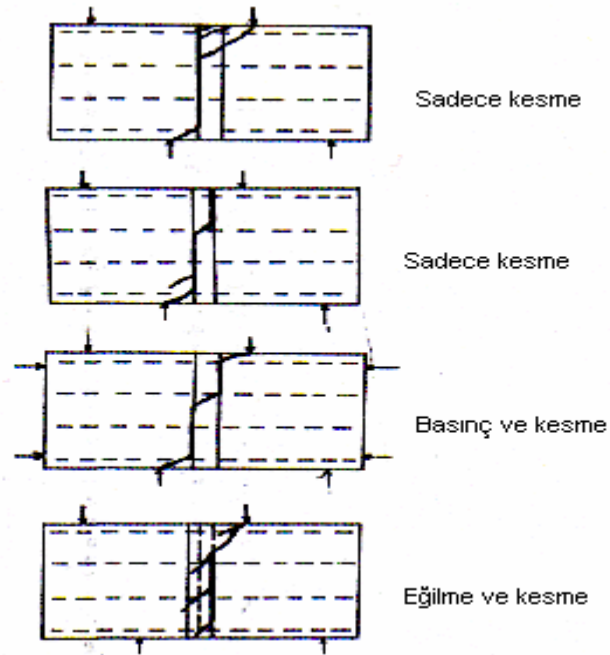
Tablo 6.2 Deneysel ve Teorik Sonuçların Karşılaştırılması

Numune	f'_c (Mpa)	v_c (Mpa)	Göçme yükü (kN)	*Deneysel taşıma gücü	Moment	Teorik taşıma gücü
A1	22,315	0,355	122,50	61,25	-	49,58
A2	20,610	0,388	147,00	73,50	-	62,20
A3	19,830	0,422	156,80	78,40	-	74,95
A4	20,050	0,452	188,16	94,08	-	88,33
B1	20,860	0,429	245,00	122,50	-	111,35
B2	20,350	0,425	211,19	105,60	-	89,25
B3	20,140	0,424	137,20	68,60	-	65,61
C1	19,800	-	410,62	-	37,98	-
C2	19,750	0,421	214,62	88,10	9,90	88,63
C3	20,940	0,429	275,38	137,69	-	100,88
D1	21,670	0,546	264,60	132,30	-	131,50
D2	22,630	-	559,70	-	47,14	-
D3	20,370	0,535	384,16	157,70	17,18	151,16
D4	24,900	0,572	371,43	185,71	-	184,15
E1	27,110	0,468	362,60	181,30	-	88,07
F1	33,950	0,446	254,80	127,40	-	109,64
F2	33,950	0,446	205,80	102,90	-	88,80
F3	33,950	0,446	119,59	59,78	-	66,17

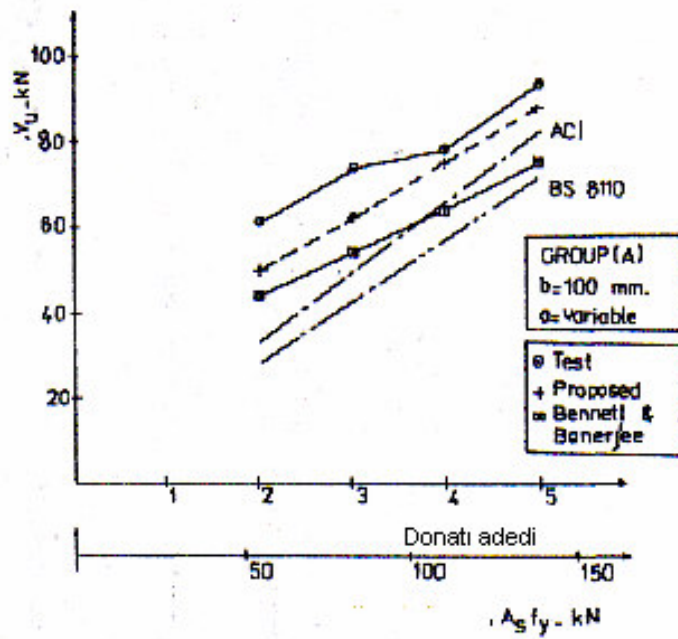
* Deneysel taşıma gücü Şekil 6.9'daki diyagramlar yardımı ile bulunmuştur.



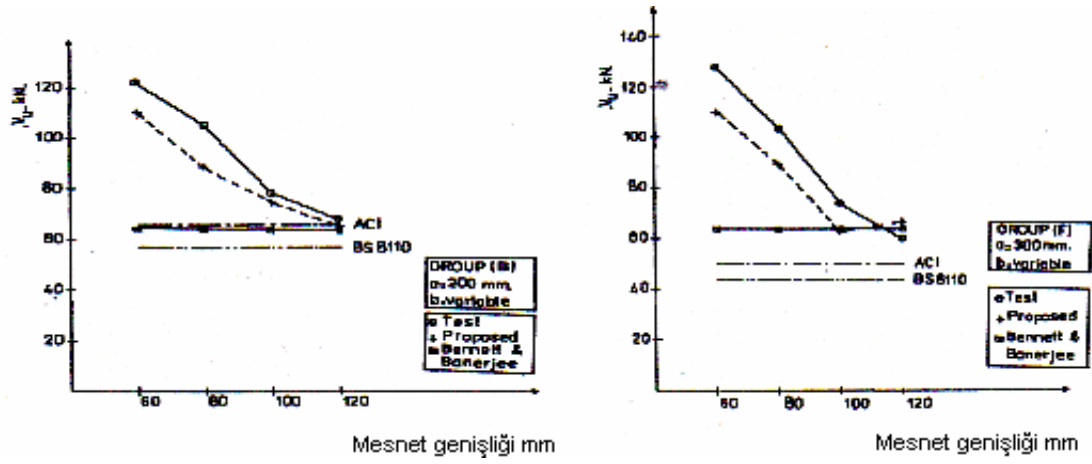
Şekil 6.10 Farklı Donatı Aralıkları ve Mesnet Genişlikleri Olması Halinde Yük ve Kayma Deformasyonları Arasındaki İlişki [18]



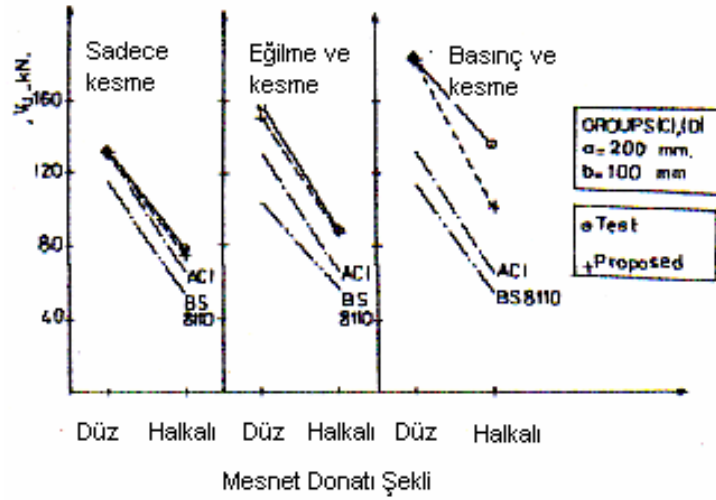
Şekil 6.11 Farklı Yük Tiplerindeki Hasar Çeşitleri [18]



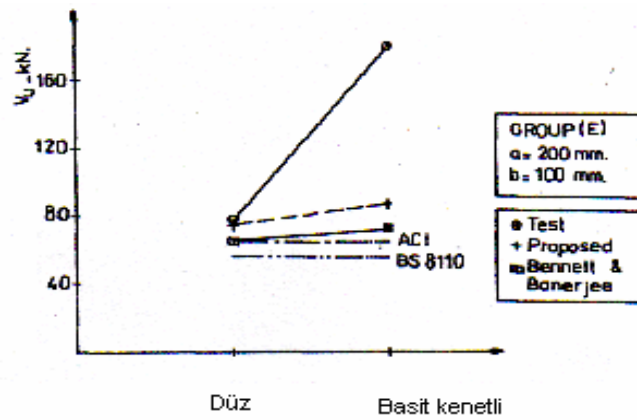
Şekil 6.12 Farklı Donatı Sayılarına Ait Kayma Dayanımları [18]



Şekil 6.13 Farklı Mesnet Genişliklerine Ait Kayma Dayanımları [18]



Şekil 6.14 Donatı Şekillerinin Dayanım Üzerindeki Etkileri [18]



Şekil 6.15 Mesnet Şekillerinin Dayanım Üzerindeki Etkileri [18]

6.5.1.3 Sonuçlar

Yapılan bu deneyler sonucunda, çeşitli yönetmelikler ve teorik formüllerle yapılan karşılaştırmalar ışığında aşağıdaki sonuçlara varılabilir.

1) Düz birleşimlerde birleşim bölgesinin genişliğinin, birleşimin kesme dayanımı üzerinde oldukça büyük etkileri vardır. Birleşim bölgesinin genişliği 60 mm'den 120 mm'ye çıktığında kesme dayanımındaki azalma % 44 ve birleşimdeki donatılar arasındaki mesafe % 50 arttığında, aynı mesnet genişliği değişimi için , kesme dayanımındaki azalma % 53 olmaktadır.

2) Birleşimdeki donatılar arasındaki mesafe 600 mm'den 150 mm'ye düştüğünde kayma dayanımındaki artış % 54 olmaktadır.

3) Düz (tek) donatı kullanmak yerine kavisli (çift) donatı kullanmak birleşimin kayma dayanımını arttırdığı gibi 2 panelin birbirinden ayrılmasını da önler.

4) Basit kenetli birleşimler temas yüzeyini arttırdıkları için düz birleşimlere göre daha yüksek kayma dayanımına sahiptirler.

5) Tavsiye edilen 6.14 ve 6.15 formülleri, deneysel çalışmalardan çıkan değerlere diğer yönetmeliklerin (BS 8110, ACI) vermiş oldukları formüllere göre daha yakın sonuç vermektedirler. (Güvenlik katsayısı 1.15)

Aşağıda kesme kuvveti değerlerinin teorik ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş değerlerinin oranları ve standart sapmaları görülmektedir. Görüleceği gibi deneysel değerlere en yakın sonuçlar Denklem 6.14 ve Denklem 6.15' da verilen formüllerde elde edilmişlerdir. En uzak sonuçların ise İngiliz standardı BS 8110'da verilen formüllerde elde edildiği görülmüştür. Bu durumdan BS 8110'un oldukça güvenli tarafta kaldığı söylenebilir.

	$(V_{\text{hesap}}/V_{\text{deney}})$	Standart Sapma
Denklem 6.10 (BS 8110)	0.573	0.329
Denklem 6.11 (ACI Code)	0.659	0.229
Denklem 6.12, 6.13 (Bennett & Banerjee)	0.707	0.269
Denklem 6.14, 6.15 (Tavsiye edilen)	0.872	0.137

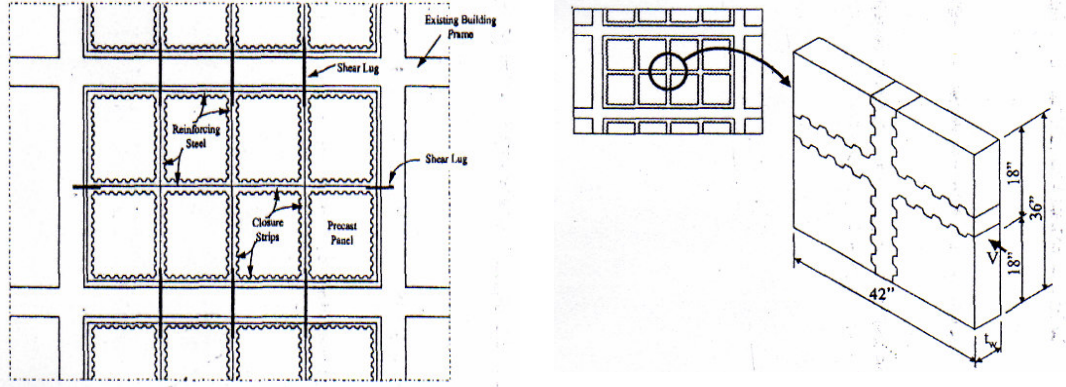
6.5.2 Kenetli Birleşimler Üzerinde Yapılan Deneysel Çalışma

6.5.2.1 Genel

İki ayrı beton elemanın birbirleriyle birleşimlerine, prefabrike inşaatlarda ve mevcut yapıların rehabilitasyonunda gereksinim duyulmuştur. Bağlantı şeklinin uygun bir şekilde seçilmesi yapım süresini kısaltabileceği gibi, maliyetleri de azaltabilir.

Bu çalışmada, tatmin edici bir bağlantı performansının sağlanması için minimum detayları belirlemek ve bitişik duvar panelleri arasındaki bağlantıları değerlendirmek için 14 numune üzerinde test yapılmıştır. Numuneler bağlantı ara yüzeyi boyunca periyodik kesme altında test edilmişlerdir. Test sonuçları analiz edilmiş ve tasarım için bir mantık geliştirilmiştir.[20]

Bu çalışma daha çok mevcut betonarme çerçeve türü binalarda boşluklar arasına kenetli prefabrike panellerin yerleştirilerek rehabilite edilmesi ile ilgilidir. Şekil 6.16 böyle bir sistemi göstermektedir.



Şekil 6.16 Çerçeve Boşluklarına Prefabrike Panolar Yerleştirilmiş Bir Sistem [20]

Panel kenarları fabrikasyon kolaylığı sayesinde ve yeterli kuvvet transferini düzenli bir şekilde sağlamaları için kenetli olarak tasarlanmışlardır. Bu kenetler panelin bütün çevresinde bulunmaktadır. Bu kenetler, panel kenarlarının ezilmesini önlediği gibi birleşimin birbirlerinden ayrılmasını (çekme gerilmeleri oluşmayacak şekilde) önleyecek şekilde tasarlanmışlardır.

Yapılan deneyde değişken parametreler;

- 1) Kenetlerin karşılıklı olarak simetrik veya basamaklı olarak yerleştirilmesi ;



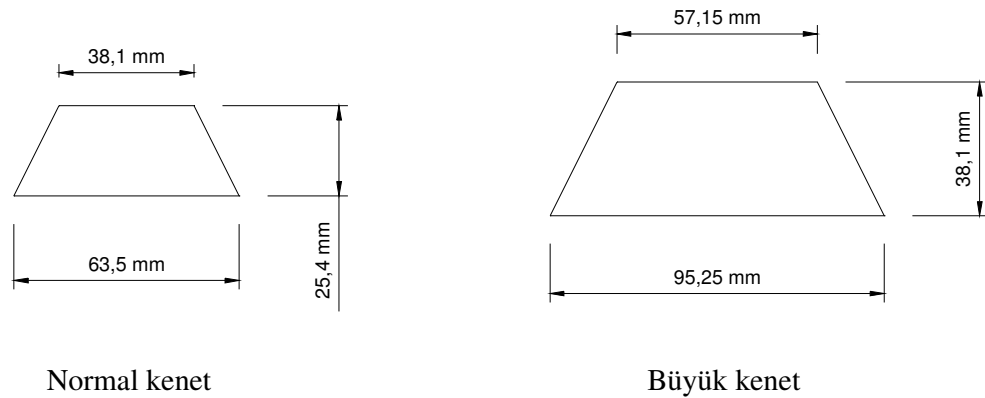
Şekil 6.17 Simetrik ve Basamaklı Olarak Yapılan Kenetler

- 2) Kenetler arasındaki mesafe değişimi;



Şekil 6.18 Kenetler Arasındaki Mesafeler

- 3) Kenet boyutlarındaki değişim;



Şekil 6.19 Kenet Boyutları

4) Panel ara mesafelerindeki değişim: 5.08 cm ve 10.16 cm'lik iki farklı değer kullanılmıştır.

5) Birleşimde kullanılan düşey donatılar: 2 #3 ile 6 #5 arasında değişen donatılar kullanılmıştır. (#3= 9.5 mm, #4= 12.8 mm, #5= 15.8 mm)

6) Panel elemanlarda ve birleşim bölgesinde kullanılan betonun kalitesinin değişimi sonucu meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. 2 durum söz konusudur. Birleşim bölgesindeki betonun panel betonundan daha yüksek dayanıma sahip olması ve daha düşük dayanıma sahip olması.

7) Panel kalınlığının değişimi: 10.16 cm ve 15.24 cm'lik iki farklı değer üzerinde deney yapılmıştır.

Tablo 6.3 Deney Numunelerinin Detayları

Seri PC	Örnek	Panel			Kenet			Birleşim				
		Kalınlık (cm)	Test yaşı (gün)	Beton dayanımı (Mpa)	Mesnet şekli	Kenet mesafeleri	Kenet boyutları	Mesnet genişliği	Donatı	Çelik dayanımı (Mpa)	Test yaşı (gün)	Beton dayanımı (Mpa)
I	PC1	15,24	136	35,16	Simetrik	1,00	Normal	5,08	2#3	438,50	81	49,64
	PC2	15,24	125	35,16	Simetrik	1,50	Normal	5,08	2#3	438,50	71	49,64
	PC3	15,24	119	35,16	Basamaklı	1,00	Normal	5,08	2#3	438,50	65	49,64
	PC4	15,24	111	35,16	Basamaklı	1,50	Normal	5,08	2#3	438,50	57	49,64
II	PC5	15,24	64	27,60	Simetrik	1,00	Normal	10,16	2#3	426,11	37	44,13
	PC6	15,24	188	29,65	Simetrik	1,00	Normal	10,16	4#4	503,33	161	47,58
	PC7	15,24	162	29,65	Simetrik	1,00	Normal	10,16	4#4	503,33	125	18,27
	PC8	15,24	170	29,65	Simetrik	1,00	Büyük	10,16	4#4	503,33	143	47,58
	PC12	15,24	184	29,65	Simetrik	1,00	Normal	10,16	6#5	426,80	163	47,58
III	PC9	15,24	190	29,65	Simetrik	1,00	Normal	10,16	4#3	426,11	27	41,37
	PC10	15,24	175	29,65	Simetrik	1,00	Normal	10,16	2#4	503,33	33	41,37
	PC11	15,24	181	29,65	Simetrik	1,00	Büyük	10,16	4#3	426,11	36	41,37
IV	PC13	10,16	41	31,03	Simetrik	1,00	Normal	10,16	2#3	451,62	24	45,50
	PC14	10,16	42	31,03	Simetrik	1,00	Normal	10,16	4#3	451,62	25	45,50

Seri 1; Kesme kenedi şekli,

Seri 2; Donatı miktarı, birleşim ve panel beton dayanımı, kenet boyutları,

Seri 3; Donatı miktarı, kenet boyutları,

Seri 4; Panel kalınlığı, değişimlerinin dayanıma etkilerini temsil etmektedirler.

6.5.2.2 Deney Sonuçları

Şekil 6.20’de gösterilen yük deplasman eğrisinden görüleceği gibi, deney numunesi ilk başta oldukça dayanıklı gözükmekte ve monolitik olarak davranmaktadır. Bu davranış kesme kenetleri ile birleşim bölgesinde bulunan beton arasındaki aderansın kaybolmasına kadar devam etmektedir. Aderans kaybolduğu zaman, kesme düzlemi göçme moduna ulaşana kadar yüklemeye devam edilebilir. Maksimum kapasiteye ulaşıldığı zaman, birleşim bölgesinde bulunan düşey donatılar akma sınırını aşmıştır. Maksimum kapasiteye varılmasıyla düşük yük platosuna veya artık kapasiteye geçiş başlamaktadır. Sonuçlar Tablo 6.4’de gösterilmiştir.

6.5.2.3 Aderans Kapasitesi

Numunelerin monolitik davranışı, kesme kenetleri ve birleşim bölgesindeki beton arasındaki aderans kaybolduğu zaman sona ermiştir. Aderans kapasitesi, beton dökümü sırasında meydana gelen hava kabarcıkları nedeniyle çok değişkendir. Aderans kapasitesine bu yüzden güvenilemeyeceği için tasarım esnasında ihmal edilmelidir.

6.5.2.4 Maksimum Kapasite

Kayma sürtünmesi, maksimum kapasitenin değerinin hesaplanması için kullanılır. Kayma sürtünmesi, kayma düzlemi boyunca uzanan donatıların kayma ara kesitinde basınca neden olması ve bununda kayma dayanımı arttırdığı ifadesi anlamına gelir. Sürtünme katsayıları donatının gerçek akma dayanımı kullanılarak her bir test için hesaplanmış olup Tablo 6.5’de gösterilmiştir. A_s düşey donatı kesit alanı, f_y donatı akma dayanımı ile ifade edilecek olursa taşıma kapasitesi μ sürtünme katsayısına bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$V_{maks} = \mu_{maks} A_s f_{yk}$$

(6.18)

6.5.2.5 Artık Kapasite

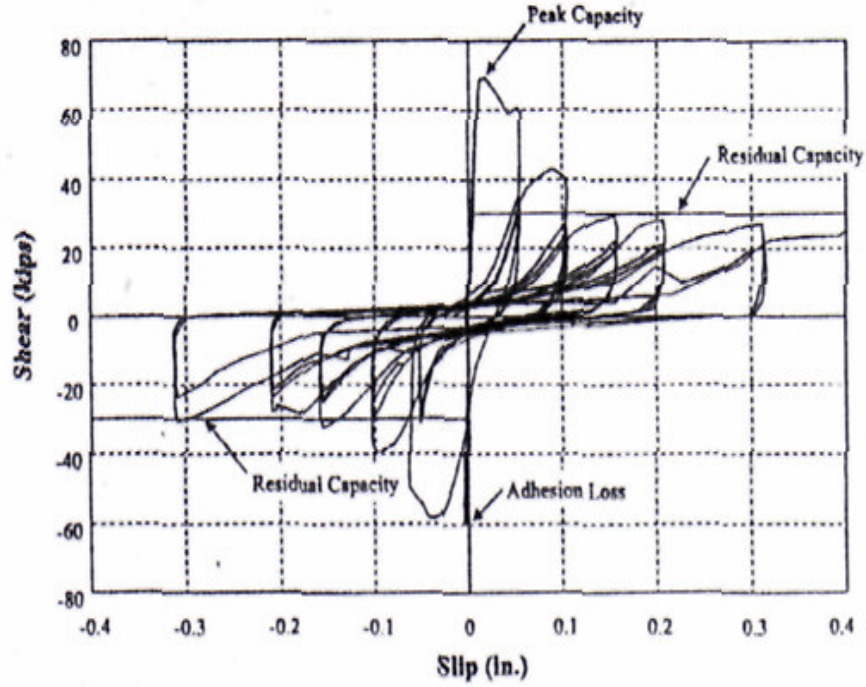
Artık kapasite kesme sürtünmesi tarafından sürdürülür ve birleşimdeki düşey donatı miktarına bağlıdır. Düşey donatılar ara yüzeyde basınca neden olurlar ve bu kesme dayanımını artırır. Sürtünme katsayıları her bir test için Tablo 6.5’de gösterilmiştir. Görüleceği gibi, test sonuçlarındaki ve sürtünme katsayılarındaki büyük değişiklikler düşey donatı oranının kapasite üzerindeki etkisini açık bir şekilde göstermektedir.

$$V_{art} = \mu_{art} A_s f_{yk} \quad (6.19)$$

Tablo 6.4 Panel Bağlantıları Test Sonuçları

Numune	Kaydedilmiş			Düzeltilmiş	
	Aderans kapasitesi (kN)	Maksimum kapasite (kN)	Artık kapasite (kN)	Maksimum kapasite (kN)	Artık kapasite (kN)
PC1	360	374	133	-	-
PC2	262	276	133	-	-
PC3	307	329	133	-	-
PC4	222	311	133	-	-
PC5	267	311	133	-	-
PC6*	267	796	-	605	-
PC7	178	454	258	-	-
PC8	178	681	222	-	-
PC9	356	458	178	-	-
PC10	356	485	258	400	231
PC11	374	698	240	552	191
PC12*	311	898	-	605	-
PC13	245	280	89	-	-
PC14	111	329	111	329	111

* Göçme kesme ara yüzeyinde değil panelde meydana gelmiştir. (PC6, PC12)



Şekil 6.20 Yük-Deformasyon İlişkisi [20]

Tablo 6.5 Maksimum ve Artık Kapasite Sonuçları

Numune	Maksimum kapasite (kN)	$A_s f_y$ (kN)	μ_{maks}	Aderans Kapasitesi (kN)	$A_s f_y$ (kN)	μ_{art}
PC1	374	62	6,00	133	62	2,14
PC2	276	62	4,43	133	62	2,14
PC3	329	62	5,29	133	62	2,14
PC4	311	62	5,00	133	62	2,14
PC5	311	60	5,15	133	60	2,21
PC6*	-	-	-	-	-	-
PC7	454	260	1,75	258	260	0,99
PC8	681	259	2,62	222	259	0,86
PC9	458	121	3,79	178	121	1,47
PC10	400	130	3,08	231	130	1,78
PC11	552	121	4,56	191	121	1,58
PC12*	-	-	-	-	-	-
PC13	280	64	4,38	89	64	1,39
PC14	329	128	2,57	111	128	0,87
		Ortalama	4,05		Ortalama	1,64

6.5.2.6 Özet ve Sonuçlar

Bu çalışmada prefabrike paneller arasındaki bağlantı metotlarını araştırmak için 14 numune üzerinde testler yapılmıştır. Testler bağlantı bölgesine periyodik kesme uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Genel olarak göçme panel elemanları ile birleşim bölgesindeki betonun ara yüzeyinde kaymadan meydana gelmiştir. Panel elemanları beton kalitesi, birleşim bölgesindeki beton kalitesi ve düşey donatı miktarı bağlantı bölgesinin kapasitesini belirleyen unsurlardır. Maksimum kapasiteye varılmasından sonra daha düşük bir yük platosuna veya artık kapasiteye geçiş olmuştur. Artık kapasite kayma sürtünmesi tarafından sürdürülür ki bu büyük ölçüde birleşimdeki düşey donatı miktarına bağlıdır. Bu araştırmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

- 1) Birleşimin göçmesi bütün durumlarda yatay harç ara yüzeyinin üst kısmında meydana gelmiştir. Bu sonuç beton döküm esnasında oluşan hava kabarcıklarının harç ve panel arasındaki aderansın kaybolmasındaki etkisine bağlanabilir.
- 2) Kenet şeklinin (simetrik veya basamaklı, s veya 1.5 s aralıklı) maksimum ve artık kapasite üzerinde önemli bir etkisi yoktur.
- 3) Kenet büyüklüğünün maksimum kapasite üzerinde makul bir etkisi vardır. Büyük kenetlerin taşıma kapasitesi % 20 daha fazladır. Kenet büyüklüğünün artık kapasite üzerinde etkisi yoktur. Çünkü artık kapasite birleşimdeki düşey donatı miktarı ile ilgilidir.
- 4) Panel ara mesafesinin maksimum ve artık kapasite üzerinde bir etkisi yoktur.

5) Birleşim ve panel betonları arasındaki görelî dayanımın, birleşim bölgesinin davranışı üzerinde etkisi vardır. Birleşimde panele göre daha düşük dayanımlı beton kullanılmasının maksimum kapasite ve göçme yüzeyi konumu üzerinde etkisi vardır. Artık kapasite bundan etkilenmez.

6) Panel kalınlığı azaldıkça maksimum ve artık kapasite de azalmaktadır.

7) Birleşimdeki düşey donatı miktarının azalması numunelerin maksimum ve artık kapasitelerinin azalmasına neden olmaktadır.

Sonuç olarak birleşimin taşıma kapasitesi ACT’da (318-95 kısım 11.7) verilen formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$V_n = \mu A_{vf} f_{yk} \quad (6.20)$$

Burada;

V_n birleşimin kesme dayanımı

A_{vf} düşey birleşimdeki donatı kesit alanı;

f_{yk} çelik akma dayanımı;

$\mu = 1$ (sürtünme katsayısı).

6.5.3 Ek Yerleri Üzerinde Yapılan Diğer Deneyler

Bu kısımda çeşitli yabancı ülkelerde panolu sistemlerin yatay ve düşey ek yerleri üzerinde yapılmış diğer yükleme deneylerinden bahsedilecektir. Bazı deneylerde statik bazı deneylerde dinamik yükleme yapılarak ek yerinin taşıyabileceği kayma gerilmesi veya kesme kuvvetinin kenetli, düz, donatılı veya donatısız olma, donatının bağlanma biçimi gibi değişik parametreler altındaki değişimleri incelenmiştir. Bu deneyler sonucu ek yerlerinin statik ve dinamik yükler altındaki davranış biçimleri çıkarılmaya çalışılmıştır. İncelenen her bir sistemin ayrı özelliklerde oluşu sonuçların bütün prefabrike sistemler için genelleştirilmesini güçleştirmektedir. Bununla beraber sonuçlar ek yerlerinin değişik parametreler altında kesme dayanımı ve deformasyon özellikleri hakkında bilgiler vermektedir. [14]

6.5.3.1 Ek Yerleri Üzerinde Yapılan Statik Deneyler

Hashim M.S. ve Abdul Wahab tarafından yapılan bir dizi deneyler ile prefabrike beton panolar arasındaki kenetli birleşimler incelenmiştir. Farklı mesnet özellikleri kenet biçimleri altında 23 numune test edilmiştir. Deney sonuçları mevcut teorik

sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. [19]

Bu deneyde birleşim bölgesinde bulunan donatıların kama etkisi ve kenetlerin kesme kuvveti taşıma gücü araştırılmıştır. Deney sonuçları mevcut teorik sonuçlara yaklaşık değerler vermiştir.

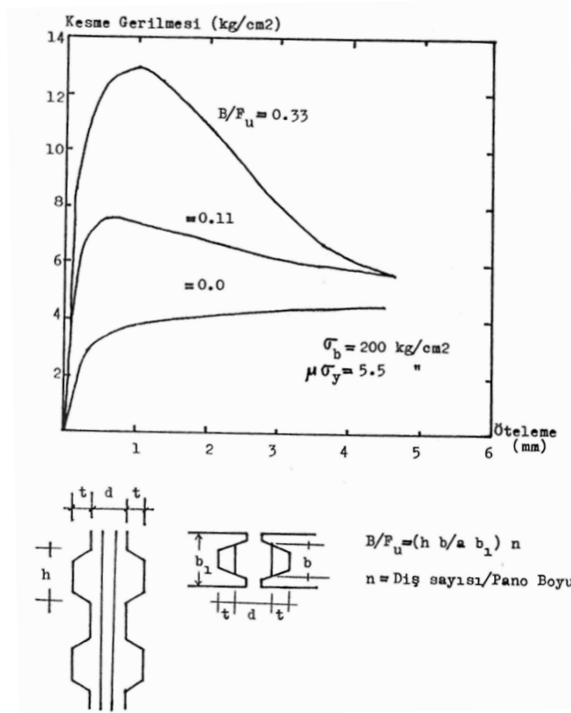
Elde edilen deney sonuçlarına göre birleşim kenet genişliğinin ve birleşim bölgesinin genişliğinin, birleşimin kesme kuvveti taşıma gücü üzerinde etkisinin olmadığı fakat kenet derinliğinin ve kenet sayısının birleşimin taşıma kapasitesi üzerinde direk etkilerinin olduğu görülmüştür.

Tablo 6.6 M.S Hashim ve Abdul Wahab Tarafından Yapılan Deneyin Detayları

Numune adı	Ak,cm2	As,mm2	Fy (Mpa)	Donatı apı mm	fcu (Mpa)	Kenet sayısı	Vu, deney (kN)	Vu hes/ Vu test	
								ACI 318-83	BS 8110
A1	286,5	393	386	Ø 10	27,02	5	103,8	1,46	1,227
A2	286,5	393	386	Ø 10	27,02	5	104,8	1,445	1,215
A3	286,5	393	386	Ø 10	28,55	5	116,6	1,299	1,092
A4	286,5	393	386	Ø 10	28,55	5	116,6	1,299	1,092
A5	286,5	393	386	Ø 10	32,12	5	118,5	1,278	1,075
A6	286,5	393	386	Ø 10	32,12	5	132,3	1,145	0,463
B1	343,8	471	386	Ø 10	25,86	6	122,7	1,482	1,245
B2	229,2	314	386	Ø 10	25,86	4	84,2	1,439	1,209
B3	171,9	235	386	Ø 10	25,86	3	62,2	1,463	1,229
B4	114,6	157	386	Ø 10	25,86	2	30,3	2,002	1,68
C1	171,9	235	386	Ø 10	29,76	3	67,6	1,346	1,131
C2	171,9	235	386	Ø 10	29,76	3	68,6	1,326	1,114
C3	171,9	235	386	Ø 10	29,76	3	58,6	1,553	1,304
D1	171,9	232	386	Ø 10	29,56	3	40,6	2,241	1,883
D2	171,9	232	386	Ø 10	29,56	3	74,9	1,215	1,02
D3	171,9	232	386	Ø 10	29,56	3	40,6	1,004	0,84
S1	232,9	339	423	Ø 12	31,46	3	111,6	1,287	1,08
S2	232,9	339	423	Ø 12	31,46	3	105,5	1,362	1,143
S3	232,9	339	423	Ø 12	33,62	3	102,8	1,397	1,173
S4	232,9	339	423	Ø 12	33,62	3	104	1,381	1,159

Melhorn ve Scwhing (1974) tarafından birlikte yapılan deneylerde ek yerlerinde diş olup olmaması, ek yerinde boyuna donatı olması halinde ek yerlerinde oluşan

kesme gerilmeleri ve ek yerinin deformasyonları ile ilgili Şekil 6.21’de gösterilen ilişkiyi bulmuşlardır.



Şekil 6.21 Kenetlerin Kesme Gerilmesi Taşıma Gücüne Etkisi

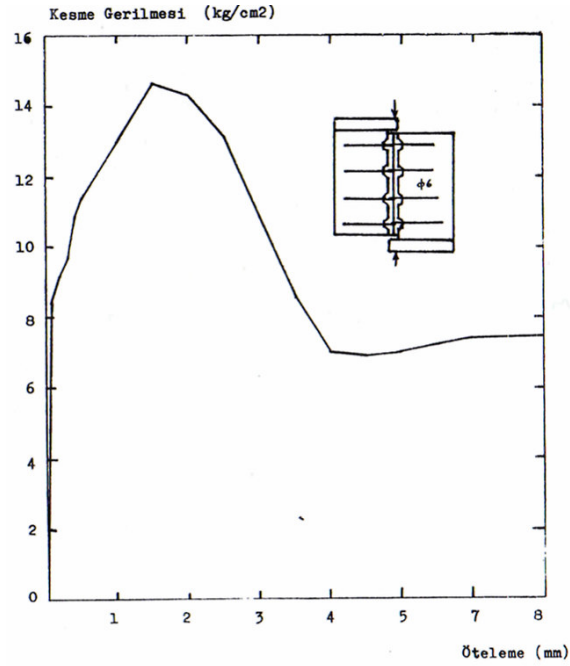
Burada B/F_u birleşim bölgesinde bulunan kenetlerin boyunun toplam birleşim bölgesi boyuna oranıdır. Şekilden görüleceği gibi yüklemenin başında kesme kenetleriyle oluşturulmuş birleşimin kesme gerilmesi kapasitesinin düz (kenetsiz) bir birleşime göre daha fazla olduğu görülmektedir. Fakat kenetli birleşimlerin maksimum taşıma kapasiteye ulaşmaları ile birlikte kesme kenetlerinde meydana gelen hasar ile birlikte dayanımları kenetsiz bir birleşim sahip olduğu dayanıma doğru azalmaktadır. Kenetli birleşimlerde dayanım büyük ölçüde yüzeyler arasındaki sürtünmeye ve ek yerinden geçen donatıların kama etkisi'ne (dowel action effect) bağlanmaktadır. Burada σ_b ek yerinin beton basınç dayanımını $\mu \sigma_y$ ise ek yerinin donatı yüzdesi ile donatı akma dayanımının çarpımını ifade etmektedir.

Tassios ve Tsoukantas (1983) tarafından yapılan çalışmada birleşim bölgelerinin statik yükleme altında kesme dayanımını-öteleme arasındaki ilişkiyi çıkarmışlardır. Bu ilişki de Mehlhorn ve Scwhing (1974) tarafından çıkarılan ilişkiyle benzerlik göstermektedir. Tablo 6.7’de yapılan deneyin detayları ve sonuçları, Şekil 6.22’de

ise kesme gerilmesi-öteleme ilişkisi gösterilmiştir.

Tablo 6.7 Tassios ve Tsoukantas (1983) tarafından yapılan deneyin detayları

Numune adı	A_k, cm^2	A_s, mm^2	F_y (Mpa)	Donatı çapı, mm	F_{cu} (Mpa)	Kenet sayısı	V_u , deney (kN)	$V_{u,hes}/V_{u,test}$	
								ACI 318-83	BS 8110
E4	560	113	320	Ø 6	12,5	4	357,6	1,1	0,924
E5	560	616	320	Ø 14	16	4	355,2	1,108	0,931
E6	560	616	320	Ø 14	15,8	4	168	0,43	0,361
E7	560	616	320	Ø 14	13	4	324	1,214	1,02
E8	560	113	320	Ø 6	16	4	181,2	0,344	0,335
E9	560	113	320	Ø 6	16,5	4	186	0,389	0,336



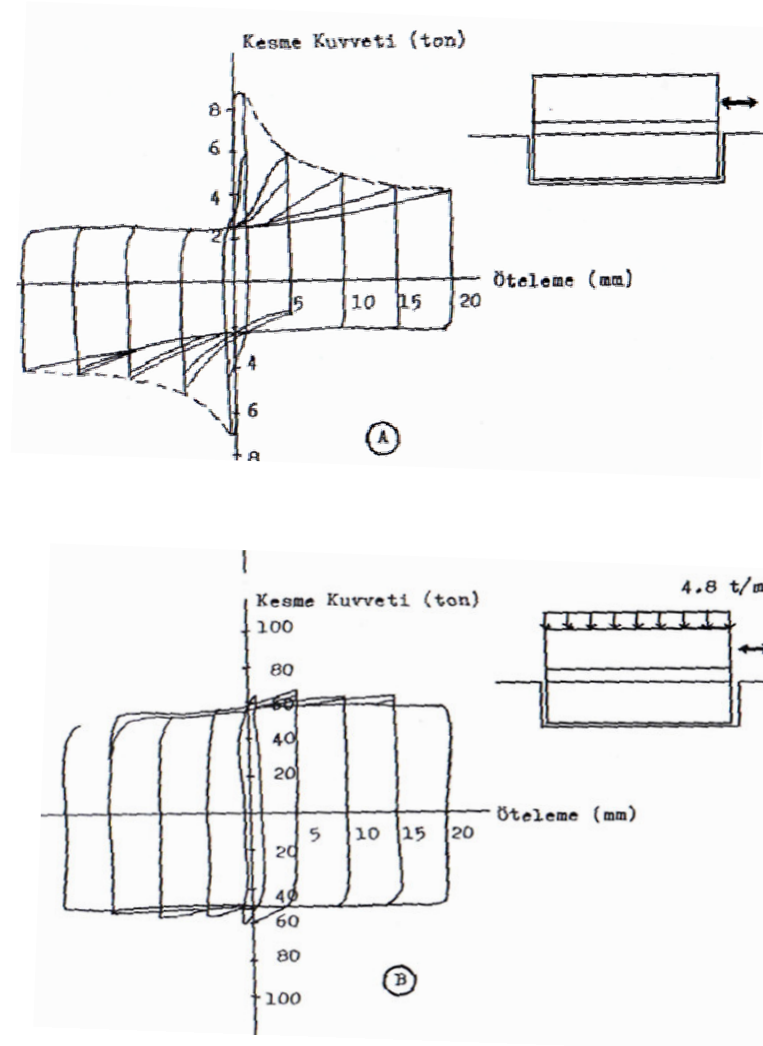
Şekil 6.22 Donatılı Birleşimlerin Kesme Dayanımı (Tassios ve Tsoukantas (1983))

6.5.3.2 Ek Yerleri Üzerinde Yapılan Dinamik Yükleme Deneyleri

Farklı türlerdeki pano birleşim bölgeleri üzerinde Verbic ve Terzic (1978) tarafından dinamik-tersinir yükleme deneyleri yapılmıştır. Şekil 6.23 birinci durumda gösterilen sistemde iki düşey pano arasında yalnızca harç bulunmaktadır. İkinci durumdaki sistemde ise birinci durumdan farklı olarak 4.8 ton/m'lik bir düşey yük mevcuttur. Her iki durumun yük-deformasyon eğrileri karşılaştırıldığında donatısız ve kenetsiz olarak oluşturulan bir yatay ek yerinde düşey basıncın kesme dayanımını ne ölçüde

arttırdığı görülmektedir. Düşey basıncın olmadığı durumda kesme dayanımı birkaç devresel yükleme sonrasında maksimum dayanıma göre % 50 azalmaktadır.

Ayrıca her bir yüklemede yükün yönünün değişmesi ile kesme dayanımı sürekli azalmaktadır. Sistem maksimum kapasiteye ulaştıktan sonra tersinir yükleme ile maksimum kapasiteden daha az bir değere sahip olan aderans kapasitesine ulaşmış ve daha sonra yatay bir plato şeklinde olan artık kapasiteyle devam etmiştir. Düşey yük altında ise aynı tür ek yerinde devresel yüklerin artmasıyla meydana gelen kesme kapasitesindeki azalma daha az olmaktadır. Sistem üzerinde bulunan düşey basınç sistemin daha dengeli davranmasını sağlamaktadır. Bu iki deney sonucundan pano birleşim bölgesinde bulunan basıncın (yatayda veya düşeyde) taşıma kapasitesine ve dengeli davranışa olumlu bir katkısı olduğu anlaşılmaktadır. [14]



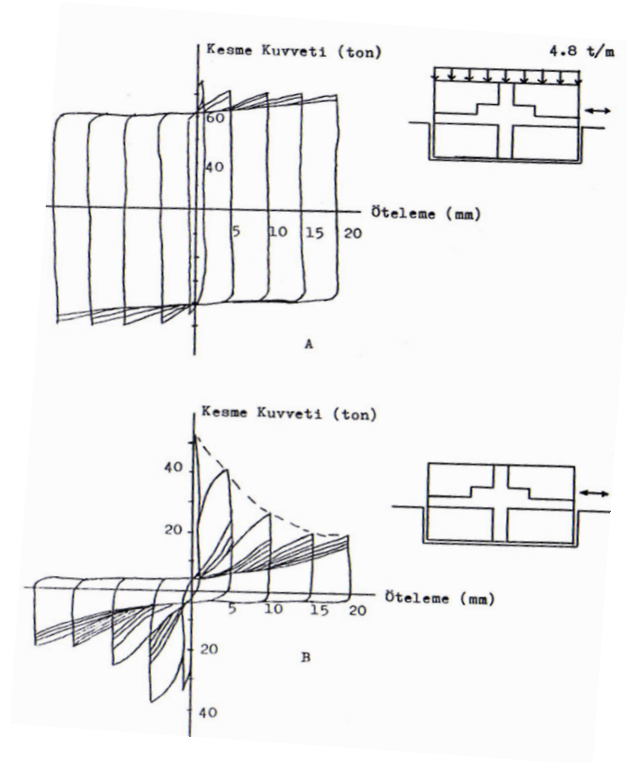
Şekil 6.23 Basıncı Kuvvetinin Kayma Dayanımı Üzerindeki Etkisi (Verbic ve Terzic)

Verbic ve Terzic tarafından yapılan diğ er bir deneyde birleşim bölgesinde bulunan donatıların taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Donatıların kaynaklı olarak bağlandığı sistemde birleşim bölgesinin düşey yüklü ve yüksüz durumda devresel yüklemeler altındaki davranışları şekil 6.24' de gösterilmiştir. Birleşim bölgesinde donatı bulunması halinde kesme dayanımı önemli ölçüde artmaktadır. (Bk. şekil 6.23 A, şekil 6.24 B) Ancak her iki durumda da (donatılı veya donatısız) kesme dayanımı başlangıç durumuna göre yaklaşık olarak % 60 azalmaktadır. Ek yerinin üzerinde düşey bir basınç bulunması halinde ise kayma direncindeki kayıp maksimum kapasiteye göre % 10-20 oranında olmaktadır.

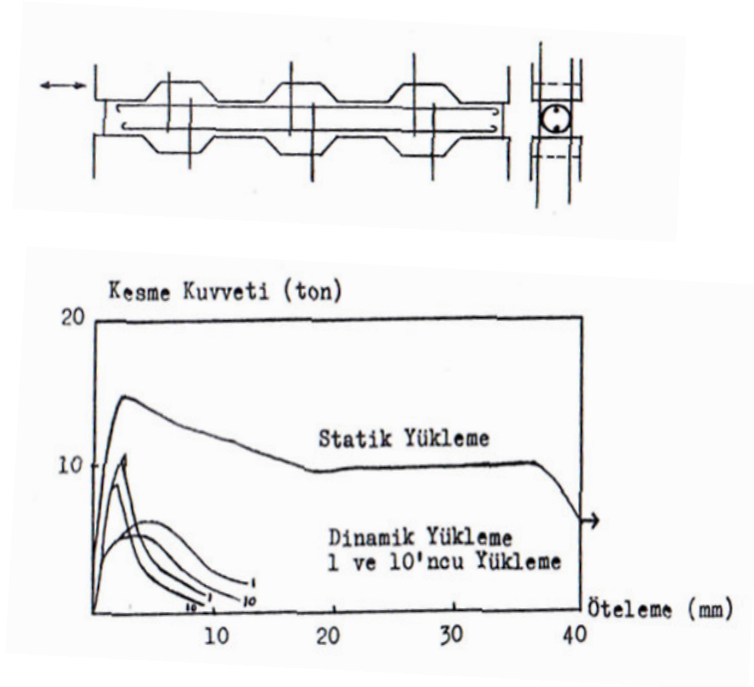
Verbic ve Terzic tarafından yapılan bu deneylerden, düşey yüklerin bulunması halinde birleşimin kesme kapasitesine büyük katkıların sağladığı söylenebilir. Ayrıca birleşim bölgesinde bulunan donatıların da taşıma kapasitesi üzerinde önemli katkıda bulundukları görülmektedir. Düşey basıncın sistemin dengeli bir kuvvet deformasyon ilişkisi yapmasındaki katkısı da deney sonuçlarından anlaşılmaktadır.

Bir başka deney de Maio (1980) tarafından yapılmıştır. Bu deneyde kullanılan sistem ve sonuçlar şekil 6.25'de görülmektedir. Bu deneyde birleşim bölgesi ayrıca statik yüklemeye de maruz bırakılmıştır. Statik yükleme halinde meydana gelen maksimum kesme kuvveti kapasitesi, dinamik yüklemede yaklaşık % 70 azalmıştır. Statik deney sonucunda göçme anında kesme kenetlerindeki öteleme 3-4 mm civarındayken bu değerler dinamik yükleme halinde 1.4-3.9 mm değerleri arasında kalmıştır. Deneyler bir ve üç kenetli birleşimler üzerinde yapılmıştır. Tek kenede sahip birleşim yerinde meydana gelen dayanım değerleri,    kenede sahip birleşim yerinde meydana gelen dayanım değerlerine göre daha düşüktür.    kenetli birleşimde kenetlerin kırılması ile kesme dayanımı azalmış ve kopma anında deformasyon daha az olmuştur.

Bu deneylerin sonucunda birleşim bölgesinin kesme dayanımı için şöyle bir model geliştirilebilir. Yüklemenin başında meydana gelen direnç, birleşim bölgesindeki beton ile pano arasındaki aderanstan ve birleşim bölgesinde bulunan kenetlerden kaynaklanmaktadır. Birleşim bölgesine gelen kuvvetin artışı ile birlikte ani olarak kenetlerde meydana gelen hasar neticesinde kesme dayanımı azalmaktadır. Üstelik bu aşamada yüklemenin yönü değişen devresel y k olması halinde kesme dayanımında sürekli bir azalma daha olmaktadır. Bu aşamada dayanım ara yüzeydeki sürtünme ile sağlanmaktadır. Birleşim bölgesinin basın a maruz kalması halinde kayma dayanımında büyük artışlar gözlenmektedir.



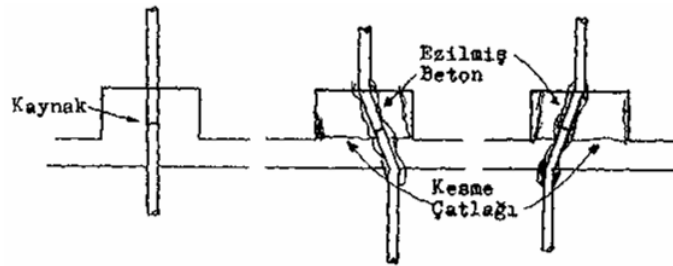
Şekil 6.24 Donatıların Kayma Dayanımı Üzerindeki Etkisi (Verbic ve Terzic)



Şekil 6.25 Donatılı ve Kenetli Ek Yerine Sahip Birleşimin Kayma Dayanımı (Maio)

Donatıların katkıları ise daha sonraki aşamalarda meydana gelmektedir. Donatıların kayma kapasitesine katkısı, birleşim bölgesinde bir miktar kayma olduktan sonra olmaktadır. Birleşim bölgesinde meydana gelen kayma ile birlikte ek yerinde donatı çevresindeki beton ezilmekte ve bu sırada donatılar devreye girerek sonraki yükleme durumlarında sistem serbest eğilme davranışı göstermektedir. Bu aşamada birleşim bölgesinde bulunan donatıların bükülmeden yorulma direnci gösterebilmeleri büyük önem taşımaktadır. Donatı ile oluşturulmuş birleşim bölgelerinde kayma meydana geldikten sonra betonda oluşan çatlağın yüzeyi bir pano ile hatıl arasındaki yüzeyden daha çok pürüzlü olduğu için sürtünme için gereken yük daha fazladır.

Donatıların katkısı panoların çok büyük öteleme yaptığı durumlarda (5 cm'den fazla) sürtünmeye göre daha çok önemli olmaya başlar. Çünkü bu durumda donatı o kadar çok bükülmüştür ki donatının eğilme rijitliği ve kama etkisinden daha çok çekme dayanımı önem kazanmaktadır. Bu durumlardan panolu yapılarda donatıya bağlı olmaksızın büyük bir enerji yutma kapasitesi olduğu görülmektedir. Birleşim yerinin davranışı rijit-plastik davranış olmaktadır. (Bk. 6.3.2.3)

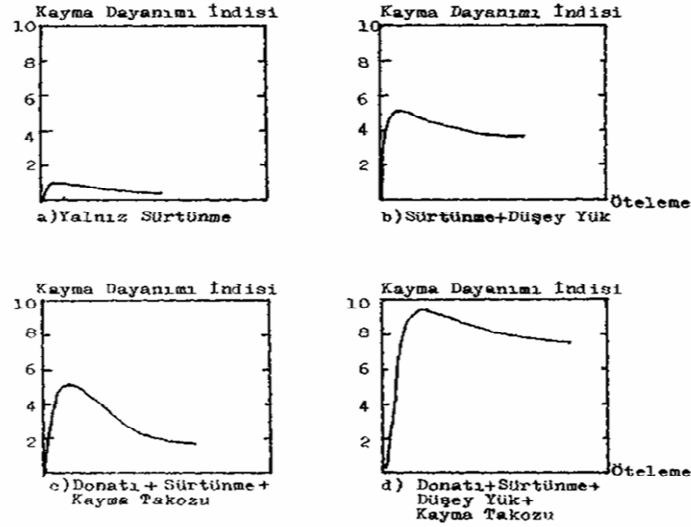


Şekil 6.26 Birleşim Bölgesinde Bulunan Donatının Davranışı

Farklı türlerdeki ek yerlerinin kesme dayanımları ve deformasyon davranışları Şekil 6.27'de şematik olarak görülmektedir. Kenetli ve donatılı olarak düzenlenen birleşim bölgelerinin taşıma kapasitesinde deformasyon artışı ile birlikte büyük azalmalar meydana gelmektedir. Eğer birleşim bölgesi düzlemine dik yönde bir basınç olması halinde deformasyon artışı ile taşıma kapasitesinde meydana gelen azalma yavaş ve dengeli bir şekilde meydana gelmektedir. Sadece sürtünmenin olduğu ek yerlerinde deformasyon artması ile kesme dayanımında fazla bir değişiklik olmamaktadır.

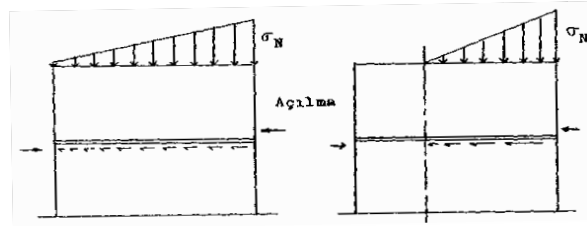
Kenetlerle düzenlenmiş bir birleşim bölgesinin başlangıç kesme direncini arttırdığı şekilden görülmektedir. Kenetlerin gücünü yitirmesi birlikte taşıma kapasitesi artık

sürtünmeye bağlı olarak devam etmektedir. Ancak kenetlerin kırılma yüzeyleri arasındaki pürüzlülük, birleşim bölgesi betonu ile panolar arasındaki pürüzlülükten daha fazla olduğu için sürtünme direnci kenetli birleşimlerde kenetsiz birleşimlere göre biraz daha fazla olmaktadır.



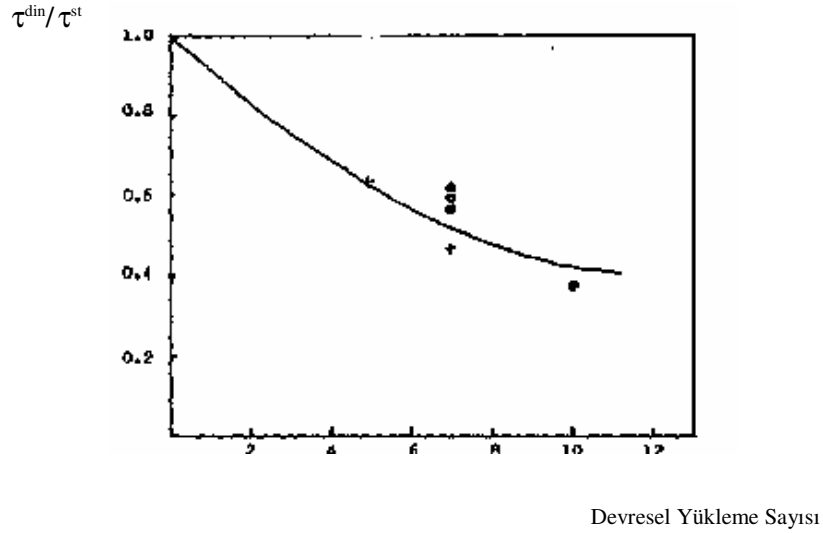
Şekil 6.27 Değişik Türdeki Birleşim Bölgelerinin Davranışları

Panoların birleşim bölgelerindeki kesme dayanım deneyleri eşit yayılı düşey yükler altında yapılmaktadır. Bu durum depremlerdeki gerçek durumu yansıtmaktan uzaktır. Çünkü deprem esnasında taşıyıcı duvar panolarında eğilme momentleri de meydana gelecektir. Bu durumda birleşim bölgesindeki düşey kuvvet dağılımı düzgün yayılı olmaktan çok trapezoid şeklinde olacaktır. Hatta bazı durumlarda ek yerinde negatif basınç (çekme) olması da muhtemeldir. Bu durumda bitişik panolar birbirlerinden ayrılmaya çalışacaklarından, sürtünme yüzeyinin azalmasıyla birlikte kesme kuvveti taşıma kapasitesi de azalacaktır. Pano birleşim bölgelerinde yalnızca düzgün yayılı yük altında değil, üçgen yayılı düşey yük altında da deneyler yapılarak kesme taşıma kapasitesinin bulunması gerekir.



Şekil 6.28 Düzgün Yayılı Olmayan Düşey Basınç Altında Yatay Birleşim Yerinde Gelişen Kesme Dayanımı

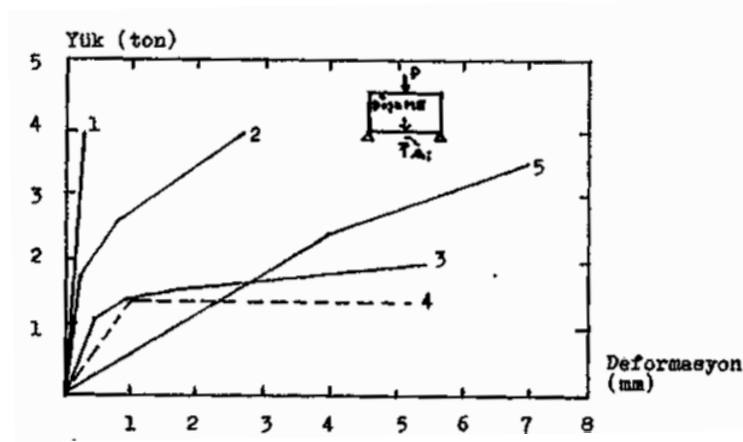
Devresel yüklemeler sonucu pano birleşim bölgesinde kalan kesme dayanımı Şekil 6.29’da görülmektedir. Görüleceği gibi 8-10 devresel yükleme sonucunda birleşim yerinin kesme dayanımı başlangıç dayanımının % 40’ı civarında oldukça dengeli bir biçimde kalmaktadır. Şiddetli bir depremde birleşim bölgelerinde % 50’ye yakın kesme dayanımı azalmaları meydana gelebilmektedir.



Şekil 6.29 Kalan Kesme Dayanımının Başlangıç Dayanımına Oranı

6.5.4 Döşeme Plaklarının Ek Yerleri Üzerindeki Deneyler

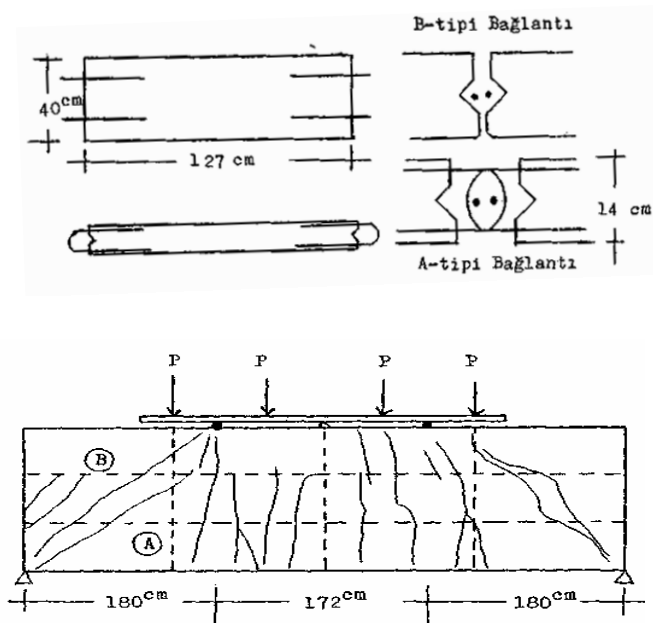
Depreme dayanıklı yapı tasarımında katın bir bütün halinde hareket etmesi yani diyafram davranışı istenilen bir olaydır. Dolayısıyla yatay yükler altında bulunan kat sistemini oluşturan döşemeler, rijitlikleri doğrultusunda bu yükleri kolon ve perde gibi düşey elemanlara aktarabileceklerdir. Yerinde dökme betonarme yapılarda kat sistemini oluşturan plak elemanlar ve kirişler, üzerlerine gelen yatay yükleri düşey elemanlara aktaracak yeterli rijitliğe sahiptirler. Prefabrike yapılarda ise birbirlerine çeşitli yöntemlerle bağlanmış plak elemanlardan oluşmuş döşemelerin rijitliğinin nasıl olduğunun bilinmesi gerekir. Şekil 6.30’de değişik türde oluşturulan döşeme sistemlerinin düzlemleri içinde etkiyen kuvvetler altındaki yük-deformasyon eğrileri görülmektedir. Şekilden görüleceği gibi aynı yük altında prefabrike elemanlarla oluşturulmuş döşeme sistemin deformasyonlarının, yerinde dökme betonarme plak döşemelerin deformasyonlarından daha fazla olmaktadır. (Poyakov 1974) [14]



- 1) Yerinde dökme betonarme plak döşeme
- 2) Prefabrike plak elemanlardan oluşan, çevresinde bağ elemanı olan kenetsiz döşeme
- 3) Kenetli plak elemanlardan oluşmuş çevresinde bağ elemanı olmayan, ek yerleri harçlı döşeme
- 4) Aynı 3 gibi, yalnız ek yerleri harçla doldurulmamış döşeme
- 5) Ahşap döşeme

Şekil 6.30 Çeşitli Tip Döşemelerin Yatay Yük Altındaki Davranışları

Yapılan başka bir deneyde (Penelis, 1984) yükleme yönüne dik kenarları geçmeli ve yükleme yönüne paralel kenarları halkalı donatılı ve betonlu olarak bağlanmış ve çevresinde gergi elemanları bulunan bir döşeme sistemi düzlemi içinde yüklenerek davranışları incelenmiş ve sonuçta monolitik olarak oluşturulmuş döşemelerden farklı davranmadıkları görülmüştür.



Şekil 6.31 Penelis Tarafından Denenen Döşeme Sistemi ve Oluşan Çatlakların Şekli

İlk çatlak $P= 4.25$ tonda oluşmuş ve kırılma $P= 8$ tonda meydana gelmiştir. Kırılma anındaki yükün Amerikan Betonarme yönetmeliğine göre hesaplanan yükten farklı olmadığı görülmüştür. Gerçek yapılarda düşey yüklerin de olduğu ve bu yüklerin de sistemde eğilme momentleri meydana getirerek açılmalara ve çatlaklara yol açacağı düşünülürse yapılan deneyin gerçek prefabrike yapıların döşeme sistemlerini temsil ettiğini söylemek güçtür.

Gerçekte prefabrike bir sistemde döşeme elemanların birleşim bölgelerinde çeşitli nedenlerden dolayı çatlaklar meydana gelebilir. Böyle bir döşemede düşey yüklerden dolayı kayma oluşma ihtimali daha yüksektir. Prefabrike döşemelerden oluşmuş kat sistemleri gerçekte, yerinde dökme betonarme döşemeler kadar rijit olamayacakları göz önünde tutulursa bu durumun tasarım aşamasında dikkate alınması yerinde bir davranış olacaktır.

6.6 Düz ve Kenetli Birleşimlerin Tasarımında Dikkat Edilecek Hususlar

Duvar panellerinin birleşimlerinde dikkat edilecek en önemli nokta, meydana gelen kesme kuvvetlerini bir panelden diğerine etkili bir şekilde transferini sağlayacak biçimde tasarlanabilmeleridir. Bu durum da panel betonuyla, yerinde dökme beton arasındaki kayma dayanımı (aderans) ile birleşim bölgesinde bulunan donatıların kama etkisi ile sağlanabilir. Panel ara yüzeyinin şekli kayma dayanımının sağlanması için oldukça önemlidir. Bu ara yüz, kenetsiz (düz), basit kenetli ve kenetli olmak üzere 3 şekilde oluşturulabilir. Birçok literatür ve araştırma sonuçlarına göre kenetli birleşimlerin, kilit etkisinden dolayı, yüksek süneklik ve dayanıma sahip oldukları ve kesme kuvvetlerini en etkili aktaran birleşim tipi oldukları kabul edilmektedir. Bununla beraber kenetsiz (düz) birleşimlerin de üretimi kolay olmaları ve süneklik özelliğine sahip olmalarından dolayı az ve orta katlı binalarda kullanılmaları tavsiye edilebilir.

Düz birleşimlerin tasarımında aşağıdaki hususların göz önünde tutulması tavsiye edilir:

- 1) Birleşim bölgelerinin genişliklerinin kesme dayanımı üzerinde büyük etkisi vardır. Birleşim bölgesinin genişliği arttıkça kesme kuvveti taşıma kapasitesi azalmaktadır.
- 2) Birleşim bölgesinde bulunan donatıların sayısının artması kama etkisinden dolayı kesme kuvveti taşıma kapasitesini arttırmaktadır.

3) Birleşim bölgelerine uygulanan basınç kuvvetleri aderansı arttırmaları nedeniyle birleşimin taşıma kapasitesinin artmasına büyük fayda sağlamaktadır. Kenetsiz (düz) birleşim bölgelerinin çekme gerilmelerine maruz birleşim bölgelerinde kullanılmaları kesinlikle tavsiye edilmez.

4) Birleşimde düz yerine kavisli donatı kullanılması, kama etkisini arttırdığı ve iki panelin birbirinden ayrılmasını engellediği için büyük fayda sağlar.

5) Basit kenetli birleşimler daha fazla temas yüzeyine sahip oldukları için kenetsiz birleşimlere göre daha fazla kesme dayanımına sahiptirler.

Kenetli birleşimlerin tasarımında aşağıdaki hususların göz önünde tutulması tavsiye edilir:

1) Birleşim bölgesinde bulunan betondaki hava kabarcıkları ara yüzeydeki aderansı azalttukları için beton dökümü sırasında özel önlemler alınmalıdır.

2) Kenet açılarının 30°'den daha küçük yapılması, birleşim bölgelerinde çekme kuvvetlerinin oluşmaması için önemlidir.

3) Kenet boyutlarının büyük yapılması sürtünme alanını ve kilit etkisini arttıracakları için taşıma kapasitesi üzerinde olumlu etkileri vardır.

4) Birleşimdeki kenetler arası mesafe arttıkça taşıma kapasitesi azalmaktadır. Ancak bu azalma miktarları önemli derecede fazla değildir.

5) Birleşim bölgesindeki kenet sayısı arttıkça birleşimin kesme taşıma kapasitesi artmaktadır.

6) Birleşim bölgesinin genişliğinin taşıma kapasitesi üzerinde önemli etkileri yoktur.

7) Birleşim bölgesindeki betonun mukavemetinin panel beton mukavemetinden daha yüksek olması taşıma kapasitesini arttırmaktadır.

8) Panel kalınlığının azalması kesme kuvveti taşıma kapasitesini de beraberinde azaltmaktadır.

9) Birleşim bölgesinde bulunan düşey donatı miktarı azaldıkça taşıma kapasitesinde azalmalar meydana gelmektedir. Birleşim bölgesinde yeterli sayıda düşey donatılar kullanılmalıdır.

10) Birleşim bölgesinde bulunan yatay donatılar kesme kuvveti taşıma gücünü büyük oranda arttırmaktadırlar. (Kama etkisi)

6.7 Sayısal Örnek

Bu bölümde Şekil 6.32’de görülen kenetli birleşime sahip sistemin kesme kuvveti taşıma kapasitesi çeşitli araştırmacılar ve standartlar tarafından verilmiş formüller yardımı ile hesaplanmıştır. Aşağıda bu formüller gösterilmiştir. [19]

TS 9967 (Türk Standardı)

$$\omega_s = A_s f_{yk} / A_j f_{cd} \quad (6.21)$$

$\omega_s \leq 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 A_{ke} f_{cd} + \beta_2 A_s f_{yk} \quad (6.22)$$

$\omega_s > 0.15$ iken,

$$V_{res} = \beta_1 (A_{ke} + 0.02 A_j) f_{cd} + \beta_3 A_s f_{yk} \quad (6.23)$$

(β değerleri Tablo 5.4’den alınabilir.)

BS 8110-85 (İngiliz Standardı)

$$V_u = 0.6 A_s f_{yk} \tan a_f \quad (6.24)$$

$\tan a_f = 0.7$ (düz birleşimler)

$\tan a_f = 1.4$ (kenetli birleşimler)

ACI 318-83 (Amerikan Beton Enstitüsü)

$$V_u = \mu A_s f_{yk}$$

(6.25)

$\mu = 0.6$ (düz birleşimler)

$\mu = 1.0$ (kenetli birleşimler)

Cholewicki

$$V_u = 0.7 A_k f_{ctk} \text{ (donatısız birleşimler)} \quad (6.21)$$

$$V_u = 0.9 A_k f_{ctk} + 98.1 A_s / 1000 \text{ (donatılı birleşimler)} \quad (6.26)$$

Hansen

$$V_u = 0.09 A_k f'_c + A_s f_{yk} \text{ (} f'_c = 0.8 f_{cu} \text{)}$$

Nimityongsul ve Lin (6.27)

$$V_u = 0.073 A_k f_{cu} + 0.82 A_s f_{yk} \quad (6.28)$$

Chakarabati, Bhise ve Sarma

$$V_u = 0.291 A_k \sqrt{f_{cu}} + 0.291 * 392 * A_s / 1000 \quad (6.29)$$

Abdul Wahab

$$V_u = 0.3 A_k \sqrt{f'_c} + V_d \quad (f'_c = 0.8 f_{cu}) \quad (6.30)$$

$$V_d = n S_d f'_c \quad (6.31)$$

$$V_d = 1.3 n d^2 \sqrt{f'_c f_{yk}} \quad (6.32)$$

(6.26) ifadesindeki V_d yerine yukarıdaki iki ifadenin küçük olanı kullanılacaktır.

Tassios ve Tsoukantas

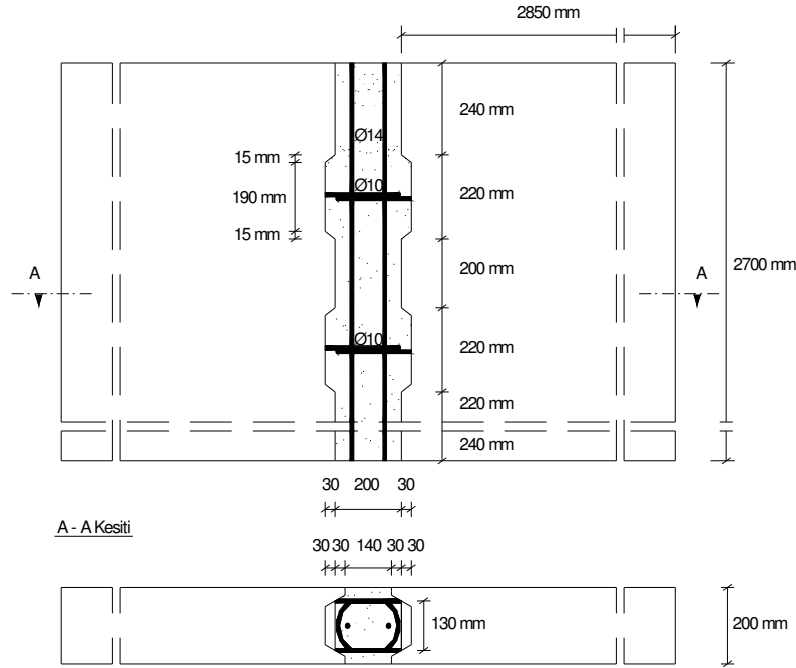
$$V_u = 0.15 A_k f'_c + 0.8 A_s f_{yk} + 1.8 f_{ctk} \sqrt{f_{yk}} \quad (f'_c = 0.8 f_{cu}) \quad (6.33)$$

Chakarabati, Nayak ve Paul

$$V_u = 0.0963 A_k f_{cu} + 0.5324 A_s f_{yk} \quad (\eta_k \geq 0.104) \quad (6.34)$$

$$V_u = A_k f_{cu} \sqrt{((0.37 - 0.76 \eta_k) 0.76 \eta_k)} \quad (\eta_k \geq 0.104) \quad (6.35)$$

$$\eta_k = A_s f_{yk} / A_k f_{cu} \quad (6.36)$$



Şekil 6.32 Sistem Şeması

Pano geometrik değerleri;

$$b_j = 200 \text{ mm},$$

$$l_w = 2850 \text{ mm}$$

$$l_j = 2700 \text{ mm}$$

$$A_j = b_j l_j = 200 * 2700 = 540000 \text{ mm}^2$$

$$b_{ke} = 130 \text{ mm}$$

$$h_{ke} = 220 \text{ mm}$$

$$n = 6 \text{ (Kenet sayısı)}$$

$$A_{ke} = b_{ke} h_{ke} n = 130 \cdot 220 \cdot 6 = 171600 \text{ mm}^2$$

$$t_{ke} = 30 \text{ mm}$$

Beton sınıfı;

$$\text{Ara malzemesi} = \text{BS 25} (f_{cd} = 19 \text{ MPa}, f_{ctk} = 1.75 \text{ MPa}, \gamma_c = 1.3)$$

Çelik sınıfı;

$$\text{Firkete donatıları} = \text{BÇ I} (f_{yk} = 220 \text{ MPa})$$

$$\text{Firkete donatıları} = 2 \cdot 6\text{Ø}10 (A_s = 942 \text{ mm}^2)$$

1) TS9967'ye göre çözüm;

Birleşimin kenetli sayılıp sayılmayacağının kontrolü;

$$A_{ke} = 171600 > 0.2 A_j = 0.2 \cdot 540000 = 108000 \text{ mm}^2$$

$$h_{ke} = 220 \text{ mm} > 50 \text{ mm}; 220 \text{ mm} < 500 \text{ mm}$$

$$t_{ke} = 30 \text{ mm} > 10 \text{ mm}$$

$$h_{ke} / t_{ke} = 220/30 = 7.3 < 8$$

$$\alpha_{ke} = 26.56^\circ < 30^\circ$$

Birleşimin kesme kuvveti taşıma gücü;

$$\omega_s = (1020 \cdot 420 + 942 \cdot 220) / (540000 \cdot 19) = 0.062 < 0.15$$

Tablo 5.4'den $\beta_1 = 0.07$, $\beta_2 = 0.9$ seçilir.

$$V_{res} = 0.07 \cdot 171600 \cdot 19 + 0.9 \cdot 942 \cdot 220 = 414.744 \text{ kN}$$

2) BS 8110-85'e göre çözüm;

$$V_u = 0.6 \cdot 942 \cdot 220 \cdot 1.4 = 261.122 \text{ kN}$$

3) ACI 318-83'e göre çözüm;

$$V_u = 1 \cdot 942 \cdot 220 = 207.240 \text{ kN}$$

4) Cholewicki'ye göre çözüm;

$$V_u = 0.9 \cdot 171.6 \cdot 1.75 + 98.1 \cdot 942 / 1000 = 362.68 \text{ kN}$$

5) Hansen'e göre çözüm;

$$V_u = 0.09 * 171600 * 0.8 * 25 + 942 * 220 = 516.120 \text{ kN}$$

6) Nimityongsul ve Lin'e göre çözüm;

$$V_u = 0.073 * 171600 * 25 + 0.82 * 942 * 220 = 483.1 \text{ kN}$$

7) Chakarabati, Bhise ve Sarma'ya göre çözüm;

$$V_u = 0.291 * 171.6 * \sqrt{25} + 0.291 * 392 * 942 / 1000 = 357.134 \text{ kN}$$

8) Abdul Wahab'a göre çözüm;

$$V_{d1} = 6 * 230 * 10 * 0.8 * 25 / 1000 = 276 \text{ kN}$$

$$V_{d2} = 1.3 * 6 * 10^2 * \sqrt{(0.8 * 25 * 220)} / 1000 = 51.74 \text{ kN}$$

$$V_u = 0.3 * 171.6 * \sqrt{(0.8 * 25)} + 51.74 = 281.97 \text{ kN}$$

9) Tassios ve Tsoukantas'a göre çözüm;

$$V_u = 0.15 * 171.6 * 0.8 * 25 + 0.8 * 942 * 220 / 1000 + 1.8 * 1.75 * (\sqrt{220}) / 1000 = 680.64 \text{ kN}$$

10) Chakarabati, Nayak ve Paul'a göre çözüm;

$$\eta_k = 942 * 220 / 171600 * 25 = 0.048 < 0.104$$

$$V_u = 171.6 * 25 * \sqrt{((0.37 - 0.76 * 0.048) * 0.76 * 0.048)} = 473.2 \text{ kN}$$

7. PANOLU YAPILARIN DEPREME DAYANIKLI TASARIMI

7.1 Genel

Herhangi bir yapım sistemini depreme dayanıklı tasarlamak, sadece hesap sonucu bulunmuş yatay yüklere dayanabilen bir sistem oluşturmak anlamına gelmez. Yapım sisteminin aynı zamanda rijitlik ve sağlamlığının yanında süneklik ve enerji yutma kapasitesi gibi olguları da sağlaması gerekmektedir. Bu tür bir tasarım sonucunda sistem orta şiddetteki depremleri çok az hasarla atlattırken, şiddetli depremleri de can ve mal kaybı yaşanmaksızın ve stabilite problemi oluşmaksızın atlatabilecektir.

Depreme dayanıklı yapı kavramında önemli olan iki husus vardır. Bu hususların ilki deprem sırasında yapıya hangi boyutta yüklerin gelebileceğinin tahminidir. İkinci husus ise yapıların deprem yükleri altında davranışının bilinmesidir. Bir sistemi depreme dayanıklı olarak tasarlarken ekonomi ile emniyet arasındaki optimum nokta en uygun olanıdır. Yani gerekenden fazla yüklerle yapıyı tasarlamak kullanılan malzeme miktarını arttırırken, daha az yüklerle yapıyı tasarlamak ise depremde meydana gelen hasar miktarını arttıracaktır.

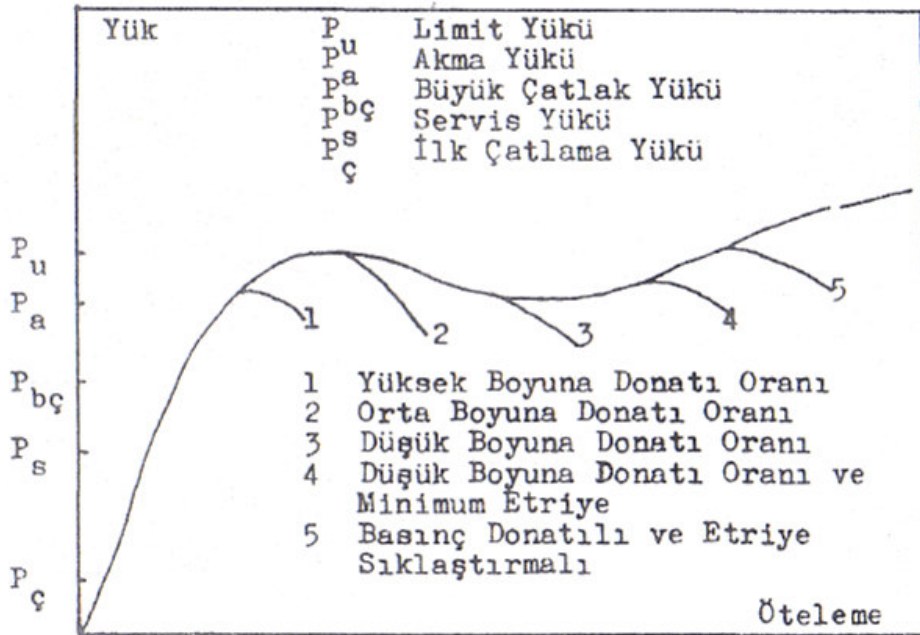
Tasarım sonucu bulunmuş yatay yükler, depremlerde meydana gelen yatay yüklere göre daha küçüktür. Bunun nedenleri arasında maksimum yer ivmesinin dinamik nitelikte oluşu ve plastik teoriye göre hesap yapılmamasından kaynaklanmaktadır. Gerçekte yapılar, sağlanan süneklikleri dolayısıyla şiddetli depremlerin etkilerine karşı kalıcı deformasyonlar yaparak karşı koyabilirler.

Yönetmeliklerdeki yatay yüklere göre tasarlanmış bir yapının, yapılan deneyler ve deprem sonrasında gözlenen hasarlardan elde edilen deneyimlere göre, şiddetli bir depreme dayanabilmesi ancak yüksek enerji tüketme kapasitesine sahip olması ile mümkün olmaktadır. Bu durum ise yapıda kalıcı deformasyonlar meydana gelmesi ile mümkündür. Ayrıca yapıda meydana gelen sönümünde enerji tüketimine önemli katkıları bulunmaktadır. Sistem kalıcı deformasyonlar yaparken aynı zamanda yük taşıma gücünde azalmalar olmaması sünek bir yapı olması ile eşdeğer anlamdadır.

Şiddetli depremlerde yükler, tasarım aşamasında hesaplanmış elastik yüklerden daha fazla olmaktadır. Bunun sonucunda elastik hesap yükünün aşılması ile birlikte kalıcı deformasyonlar başlamaktadır. Bu durumda yapı depremden meydana gelen enerjiyi tüketebilmekte ve yıkılmamaktadır.

Yapı sistemleri yukarıda anlatılan sünek davranışın yanı sıra, tasarım yükleri deprem sırasında oluşan yüklerle aynı seviyeye çıkartılarak elastik olarak da tasarlanabilirler. Bu durumda şiddetli depremlerde bile yapı elemanlarında kalıcı deformasyonlar oluşmayacaktır. Ancak böyle bir tasarım sonucunda yapı maliyetlerinin artması kaçınılmaz olacaktır.

Depreme dayanıklı yapı kavramı kısaca; yapıya sınırlı bir elastik yüke dayanma gücü verilerek, hafif ve orta şiddetli depremlerde zararın önlenmesi ve şiddetli depremler altında, yük taşıma gücü azalmadan kalıcı deformasyonlar yapılması sonucu deprem enerjisinin tüketilerek can ve mal kaybının önüne geçilmesi olarak belirtilebilir. [14]



Şekil 7.1 Farklı Özelliklere Sahip Betonarme Elemanların Yük-Deformasyon İlişkisi

7.2 Prefabrike Panolu Yapıların Depreme Dayanıklı Tasarımı

Depreme dayanıklı yapı kavramının bir sonucu olan sünek yapı tasarımı ve enerji tüketme kapasitesi prefabrike panolu yapılar için de geçerlidir. Ancak sözü edilen durumların prefabrike panolu yapılar için sağlanması monolitik betonarme yapılar kadar kolay değildir. Çünkü prefabrike panolu yapıların yatay ve düşey birleşim bölgeleri yerinde dökme betonarme yapılar kadar rijit olamamaktadır. Prefabrike panolu yapılarda yatay ve düşey birleşim bölgeleri sismik açıdan en problemli noktalardır. Birleşim bölgelerinde sismik etkiler altında rijitlik azalmaları meydana gelebileceğinden oluşan deformasyonlar yerinde dökme betonarme yapılara göre daha fazla olacağından yapı genelinde stabilite problemleri yaşanabilir.

Yerinde dökme betonarme yapılarda deprem sırasında rijit birleşim bölgelerinin mafsallaşması sonucu enerji tüketilmesi sağlanabilir. Bu durum prefabrike panolu yapılarda panolar arasındaki düşey ek yerlerinin mafsallaşması ile gerçekleşir. Yeteri kadar rijit olamayan birleşim bölgeleri yerinde dökme yapılar kadar enerji tüketme özelliğine sahip olamayacaklarından dolayı mafsallaşmanın ek yerinden prefabrike elemanlara doğru kaymasını gerektirebilir. Bu durum ancak birleşim bölgelerinin prefabrike elemanlardan daha fazla taşıma gücüne sahip olmaları ile mümkündür. Ek yerlerinin daha fazla taşıma gücüne sahip olması tasarım aşamasında kullanılan yatay yüklerin eleman tasarım yüklerine göre daha büyük seçilmesiyle mümkündür.

Prefabrike panolu yapılarda deprem yükleri pano düşey birleşim bölgelerinde kesme kuvvetine dönüşür. Bu yüzden bu bölgelerin kayma dayanımı yüksek olmalıdır. Bu tür bölgelerin donatılı bir şekilde düzenlenmesi ve kenetli olarak yapılması kayma dayanımını arttıran özelliklerdir.

Panolu yapılarda genel olarak yatay birleşim bölgeleri düşey birleşim bölgelerine göre daha fazla güçlü olmaktadır. Yatay ek yerlerinde eleman ağırlıklarından dolayı yerçekimi doğrultusunda basınç kuvveti oluşur. Bu durum ara yüzeyde meydana gelen sürtünme kuvvetinin artmasına yardımcı olacaktır. Düşey birleşim bölgelerinde ise eleman yüzeyine dik doğrultuda sıkıştırma kuvveti olmadığından dolayı düşey birleşim bölgeleri yatay birleşim bölgelerine göre daha zayıf olmaktadır. Zaten depremlerden elde edilen gözlemler sonucunda ek yerlerindeki çatlamaların ilk olarak düşey birleşim bölgelerinde olduğu şeklindedir. Düşey bağlantıların zayıf olması sonucu depremin hemen başında oluşan çatlaklar üst üste dizilmiş pano sıraları

arasına büyük sürtünme kuvvetleri oluştururken deprem enerjisi tüketilmesini önemli ölçüde arttırmışlardır.

Prefabrike panolu yapıların yerinde dökme betonarme yapılara göre davranış farkları aşağıda belirtilmiştir. [15]

a) Yerinde dökme betonarme yapılarda deprem enerjisi monolitik ve rijit birleşim bölgelerinin mafsallaşması ile sağlanır. Prefabrike panolu sistemlerde birleşimler yeteri kadar rijit olmadığından enerji tüketmesi yerinde dökme betonarme yapılar kadar olamamaktadır. Bu durum da prefabrike panolu yapıların deprem güvenliğinin daha düşük olmasına yol açmaktadır.

b) Yerinde dökme betonarme sistemlerde sünek davranış betona tam bir aderansla bağlı donatının plastik deformasyon yapabilme kapasitesi ile gerçekleşmektedir. Prefabrike panolu yapılarda ise birleşim bölgelerinde ki donatı sürekliliğini sağlamak şantiye ortamında zor olduğundan sünek davranış yeteri kadar sağlanamamaktadır.

c) Donatıların birleşim bölgesinde kaynaksız veya bulonsuz olarak basit bir biçimde bindirilip betonlandığı durumlarda betonun ezilmesi ile birlikte aderans kaybolmakta ve donatının kuvvet aktarması olmamaktadır.

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

e) Deneyler ve analitik değerlendirmelerin sonucunda deprem yükleri altında panolu yapıların yatay birleşim bölgelerinde meydana gelebilecek kalıcı kaymaların yapının stabilitesini etkileyebileceği kanısına varılmıştır.

f) Prefabrike panolu yapıların ek yerleri bir bakıma, yerinde dökme betonarme yapıların rijit ek yerlerine göre önceden çatlamış ek yeri olarak nitelenmektedir. Monolitik yapılarda ek yerindeki çatlama ile birlikte yapının sönümünün arttığı bilinmektedir. Bu durumda deprem enerjisi tüketimi açısından olumlu bir gelişmedir. Önceden çatlamış prefabrike yapılar yerinde dökme betonarme yapılara göre daha esnektirler ve bunun sonucunda periyotları ve yatay ötelemeleri daha fazladır. Sönüm artışı ile oluşan yatay ötelemelerdeki artış yapıda ikinci mertebeden momentlerin oluşmasına neden olurlar ve yapının stabilitesini bozarlar.

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

Prefabrike panolu bir yapıım sistemine etkiyen toplam deprem yükü ABYYHY 98’de belirtilen “eşdeğer deprem yükü” yöntemine göre aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \geq 0.10 A_0 I W \quad (7.1)$$

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (7.2)$$

$$S(T) = 1 + 1.5T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (7.3)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (7.4)$$

$$S(T) = 2.5(T_B / T)^{0.8} \quad (T > T_B) \quad (7.5)$$

$$S > 0.1R \quad (7.6)$$

$$W = \sum g_i + nq_i \quad (7.7)$$

$$R_a(T) = 1.5 + (R-1.5)T / T_A \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (7.8)$$

$$R_a = R \quad (T > T_A) \quad (7.9)$$

Tablo 7.1 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Yüzeyi Yüksek Sistemler
<u>Prefabrike Betonarme Binalar</u>		
* 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 7.2 Etkin Yer İvme Katsayısı

Deprem Bölgesi	A ₀
1	0,4
2	0,3
3	0,2
4	0,1

Tablo 7.3 Bina Önem Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) 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 Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.	1

Tablo 7.4 Spektrum Karakteristik Periyotları

Yerel Zemin Sınıfı	T _A (saniye)	T _B (saniye)
Z1	0,1	0,3
Z2	0,15	0,4
Z3	0,15	0,6
Z4	0,2	0,9

Tablo 7.5 Hareketli Yük Katılım Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.8
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.6
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.3

Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulandığı tüm binaların birinci doğal titreşim periyodu aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$T_1 = 2\pi \left[\sum_{i=1}^N (m_i d_n^2) / \sum (F_n d_n^2) \right]^{1/2} \quad (7.10)$$

Hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (7.11)$$

Yüksekliği 25 m'den daha az olan binalar için $\Delta F_N = 0$ 'dır. Yüksekliği 25 m'yi geçen binalar için binanın N'inci katına (tepesine) etkiyen eşdeğer deprem yükü T_1 'e bağlı olarak aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0.07 T_1 V_t \leq 0.2 V_t \quad (7.12)$$

Toplam eşdeğer yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere bina katlarına aşağıdaki formül yardımı ile dağıtılacaktır.

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) w_i H_i / \sum_{j=1}^N (w_j H_j) \quad (7.13)$$

7.3 Prefabrik Panolu Yapılarda Gözlenmiş Deprem Hasarları

Prefabrike panolu yapılar bugüne kadar çeşitli bölgelerde önemli deprem tehlikesi geçirmişlerdir. Bu depremler 1977 yılında Romanya Vrancea , 1979 yılında Karadağ (Yugoslavya), 1988 Ermenistan, 1995 Japonya Kobe ve 1999 Türkiye Kocaeli depremleridir. Romanya depreminde panolu yapıların genellikle yeterli davrandıkları gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak bu bölgedeki panolu yapıların yatay ve düşey birleşim bölgelerinin yüksek dayanıma sahip olmaları gösterilebilir. Görülen hasar tipleri daha çok düşey birleşim bölgelerindeki kılcal veya daha geniş boyutlardaki (>1 mm) çatlaklardır. Bunun yanı sıra içinde boşluk bulunan panel elamanlarda da hasarlar görülmüştür. Bu hasarlar boşluk üzerindeki lento biçimindeki yerlerdeki kesme çatlaklarıdır.

Romanya depreminden sonra prefabrike panolu yapıların titreşim periyotlarında % 20-30 civarında artış olmuştur. Bu artışın ek yerlerindeki yumuşama çatlama ve mm boyutundaki kaymalardan kaynaklanması muhtemeldir. Periyottaki bu artış yapıların rijitliğindeki ve elastisite modülündeki % 45-55 kadar azalmaya karşılık gelmektedir. Ayrıca yumuşak zemin üzerindeki yapılarda meydana gelen periyot artışı sağlam zemin üzerindeki yapılara göre daha fazla olmuştur.

Panolu yapıların geçirdiği ikinci önemli deneyim ise Yugoslavya' nın Adriyatik

kıyılarında meydana gelen Karadağ depremidir. Deprem esnasında meydana gelen hasarlar düşey ek yerlerindeki çatlama ile başlamış ve üst üste dizilmiş panoların birbirinden ayrılmasından sonra düşey pano kuleleri eğilmeye zorlanmıştır. Bunun sonucunda yatay ek yerlerinde çatlaklar açılmalar ve birleşim betonunda ezilmeler oluşmuştur. Bu depremde depremin merkezine oldukça yakın bir yerde bulunan az sayıdaki panolu yapılar etkilenmiştir. Binaların yakınındaki maksimum yer ivmesi 0.37g civarında oluşmuş ve yapılara önemli düzeylerde yatay ivme gelmiştir. [14]

1988 yılında Ermenistan'da meydana gelen depremde prefabrike çerçeve sistemler kötü bir sınav vermiş ve can ve mal kayıpları meydana gelmiştir. Öte yandan panolu sistemlerde yüksek dayanım ve rijitliklerinden dolayı hasar oluşmamıştır. [2]

1995 Japonya'da meydana gelen Kobe depreminde 2-5 kat arasında prefabrike pano elemanlardan oluşmuş yapılarda birleşim bölgelerinde meydana gelen küçük ve önemsiz çatlakların dışında hasar meydana gelmemiştir. Ayrıca bu binalar depremin hemen ardından kullanılmaya devam edilmiştir. [21]

1999 yılında Türkiye'de meydana gelen Kocaeli depreminde özellikle prefabrike endüstri yapıları hasar görmüş ve tip yapılarda yıkımlar meydana gelmiştir. Daha çok mafsallı kolon - kiriş bağlantılarıyla oluşturulmuş bu yapılar sadece kesme kuvvetini ve eksenel kuvveti iletebilirler. Moment transferini ise yeterli düzeyde gerçekleştiremezler. Kocaeli depreminde 481 endüstri yapısından 17 adedi tamamen göçmüş veya ağır hasar meydana gelmiştir. Kocaeli depreminde deprem testinden geçen prefabrike panolu yapı sayısı ikidir. Bu yapılar konut tipi olup, düşey duvar ve yatay döşeme panoları tarafından oluşturulmuştur. Düşey duvar panoları ile uygun bir şekilde bağlanmış döşeme panoları, hem düşey hem de yatay yükleri taşıyıcı duvar panolarına uygun bir şekilde iletmışlerdir. Bu iki bina birçok yıkımın meydana geldiği bölgede yeterli performans sağlamışlardır. [21]

7.4 Prefabrike Panolu Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi

Herhangi bir nedenden dolayı hasara uğramış binaların eski güvenlik düzeyine geri getirilmesi veya bunun üzerinde bir güvenliğe kavuşturulmasına yönelik olarak gerçekleştirilen her türlü işlem onarım olarak adlandırılır. Güçlendirme ise ortada herhangi bir neden olmamasına rağmen yapılan değerlendirmeler sonucu olması gereken düzeyde yapı güvenliğine sahip olmayan veya kusurlu nitelikler taşıdığı

anlaşılan yapıların kusurlarının giderilmesi veya istenilen yapı güvenliği düzeyine kavuşturulması için gerçekleştirilen uygulama ve düzenlemelerdir.

Prefabrike yapı sistemlerinin bağlantı yerleri yerinde dökme betonarme yapıların bağlantı yerlerine göre daha zayıf olduklarından bu bölgelerin güçlendirilmesinde ve onarımında özel önlemler alınması gerekmektedir. Büyük boy panolardan oluşmuş prefabrike yapıların onarım metotları birleşimin şekline, tipine ve depremin şiddetine bağlıdır.

7.4.1 Prefabrike Panolu Yapıların Onarımı

Prefabrike panolu yapılarda deprem sonrasında görülen hasarlar daha çok yatay ve düşey birleşim bölgelerinde meydana gelen çatlaklardır. Daha çok düşey birleşim bölgelerinde görülen bu çatlaklar özellikle ıslak birleşimlerde yerinde dökme betonla panel elemanlar arasında meydana gelmektedir. Kuru birleşimlerde de bu çatlaklar oluşabilmekte ayrıca betonda dökülmeler olmaktadır. Islak olarak oluşturulmuş yatay birleşimler bazen pano eleman ile yerinde dökme beton arasındaki çatlakların artmasına neden olabilir. Ayrıca bu bölgelerde düşey pano duvarların ağırlıklarından dolayı betonda ezilmeler de olabilmektedir. Bu tür birleşim bölgelerinin onarılması için ilk olarak ezilme ve kaymadan dolayı oluşan kuru parçalar basınçlı hava ile temizlenmelidir. Ayrıca gevşek betonlar kaldırılarak bu bölgeler tekrar yeni betonla veya epoksi reçine harcıyla doldurulmalıdır. Yatay ek yerlerinin kalan kısımları da emülsiyon ile (çimento şerbeti, sentetik yapıştırıcı vb.) derz yapılmalıdır.

Prefabrike panoların düşey birleşim bölgelerinde meydana gelen hasarlar daha çok kenetli birleşimlerde, kenetlerin ezilmesi, çatlaması veya ıslak birleşimlerde genel olarak görülen duvar panolarının birbirlerinden ayrılması problemidir. Kenetlerin ezilmesiyle birlikte büyük çatlakların oluşması durumunda ezilmiş beton ve dökülen parçalar temizlendikten sonra yeni beton ve harçla uygun şekilde yerleştirme yapılmalıdır.

Kaynaklı veya bulonlu levhalardan veya eklerden oluşturulmuş kuru birleşimlerde hasar genellikle, bağlantı bölgeleri çevresinde meydana gelen ezilme veya çatlama şeklinde oluşmaktadır. Bu tür hasarlar, uygun kaynak yapılarak, yeni çelik parçalar eklenerek veya betonda meydana gelmiş problemler için, epoksi veya çimento şerbeti enjekte edilerek onarılabilir. Panolu yapılarda deprem sonrası oluşan çatlaklar bazen kapı ve pencere boşluklarına sahip panel elemanlarda boşluk üzerinde lento benzeri

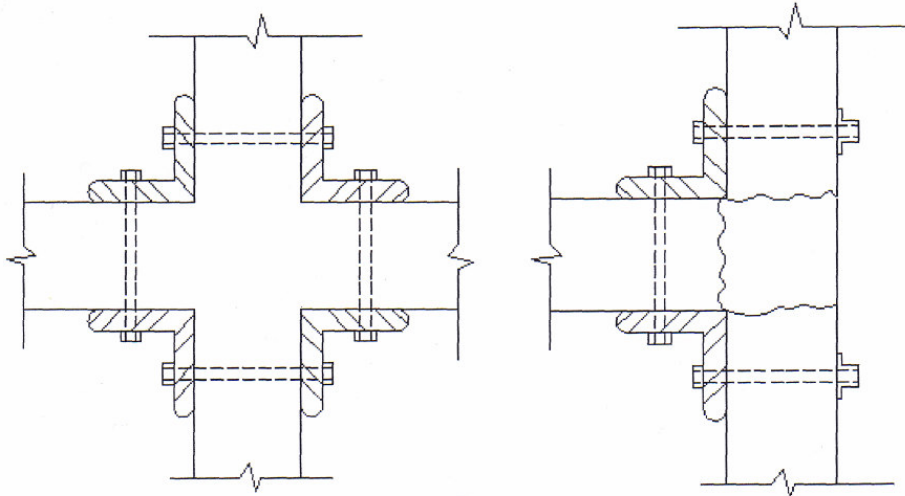
kısımda görülmektedir. Bu tür çatlaklar da epoksi benzeri tamir harçları ile onarımı yapılabilir.

7.4.2 Prefabrike Panolu Yapıların Güçlendirilmesi

Prefabrike panolu yapıların güçlendirilmesinde, hasarın derecesi ve güç azalmasına bağlı olarak farklı teknikler uygulanmaktadır. Kat düzleminde her iki doğrultuda da yeterli duvar elemanları mevcut ise güçlendirme çalışmaları mevcut olan birleşim bölgelerinin sağlamlaştırılması şeklinde yapılabilir. Yeterli duvar elemanlarının olmadığı prefabrike yapılarda ise güçlendirme mesnet bölgelerini sağlamlaştırma yanında yeni duvarların eklenmesi veya eski duvarların güçlendirilmesi şeklinde olur. Özellikle bir doğrultudaki rijitliği diğer doğrultudaki rijitliğine göre çok büyük olan sistemlerde yapının ikinci modu burulma şeklinde olabilmektedir. Bu yüzden her iki doğrultudaki rijitliklerin birbirlerine yakın seçilmesinde yarar vardır.

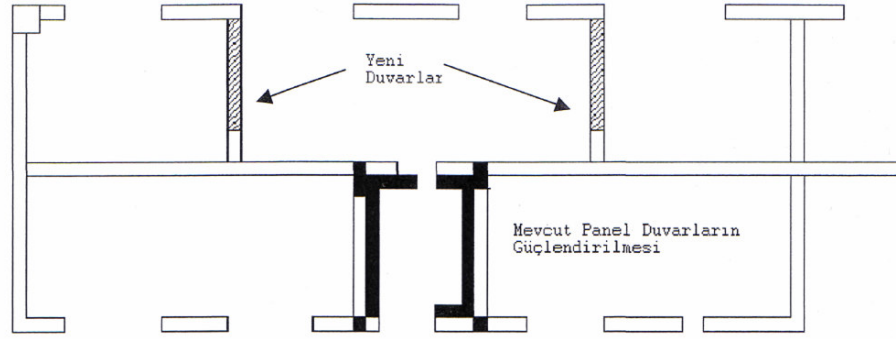
Birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, bulonlu çelik köşebentler eklenmesiyle yapılır. Bulonlar için açılan delikler epoksi yardımı ile sağlam hale getirilir. Bu uygulama şeklinde bulonlar uç bölgelerdeki olası çatlak ve dökülmeleri önlemek amacıyla yeterli mesafede yerleştirilmelidirler.

Şekil 7.2’de böyle bir birleşim tipi gösterilmiştir.



Şekil 7.2 Pano Birleşim Bölgelerinin Köşebentler Yardımı ile Güçlendirilmesi

Şekil 7.3’de yapının enine doğrultusunda yeterli sayıda duvar bulunmayan panolu bir sistem görülmektedir. Bu sisteme çapraz yöndeki yetersiz rijitlik ve dayanım dikkate alınarak, temeliyle birlikte binanın tüm yüksekliği boyunca yeni bölme duvarlar eklenmesine karar verilmiştir. Ayrıca merdiven bölgesinin güçlendirilmesi için mevcut pano elemanlara betonarme duvar takviyesi yapılmıştır.

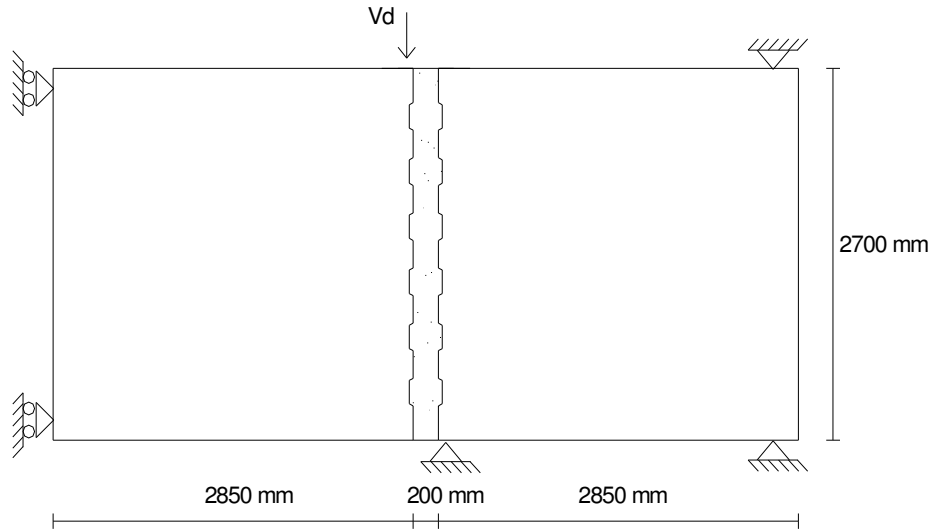


Şekil 7.3 Panolu Sistemlere Duvar Takviyesi

8. SAYISAL UYGULAMA-1

Bu bölümde prefabrike iki duvar panosundan oluşmuş kenetli birleşime sahip bir sistemin, mesnet özelliklerinin değişmesi sonucu birleşim bölgesindeki maksimum kesme kuvvetinde ve eksenel kuvvetlerde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sistem SAP 2000 bilgisayar programında çözülmüştür. Şekil 8.1’de sistem şeması gösterilmiştir.

Sistem ilk önce; artan düşey yükler altında, birleşim bölgesinin rijitliği değiştirilerek çözülmüş ve maksimum kesme kuvvetinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Daha sonra kenet açıları ve rijitlikler birlikte değiştirilerek, artan düşey yükler altında maksimum kesme kuvvetlerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ayrıca sistemin farklı mesnet genişlikleri altında ve farklı rijitliklerde analizi yapılarak maksimum kesme kuvvetlerindeki değişimler incelenmiştir. Son olarak birleşimdeki firkete donatılarının kesme kuvveti değerlerine etkisi incelenmiştir.



Şekil 8.1 Sistemin Model Şeması

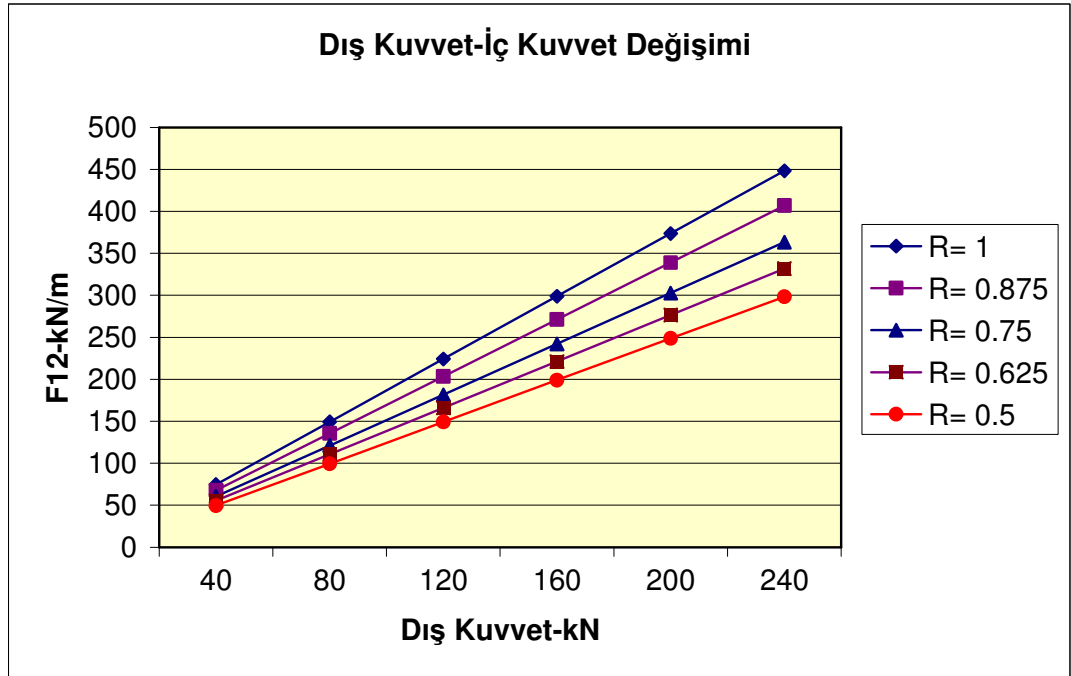
8.1 Rijitlik Değişimi Sonucu Kesme Kuvvetinde Meydana Gelen Değişimler

Bu kısımda sistemin birleşim bölgesinin rijitliği $R=1$, $R=0.875$, $R=0.75$, $R=0.625$, $R=0.50$ olarak beş farklı şekilde değiştirilerek, artan düşey kuvvetler altında birleşim bölgesinde meydana gelen maksimum kesme kuvvetleri Tablo 8.1’de gösterilmiştir.

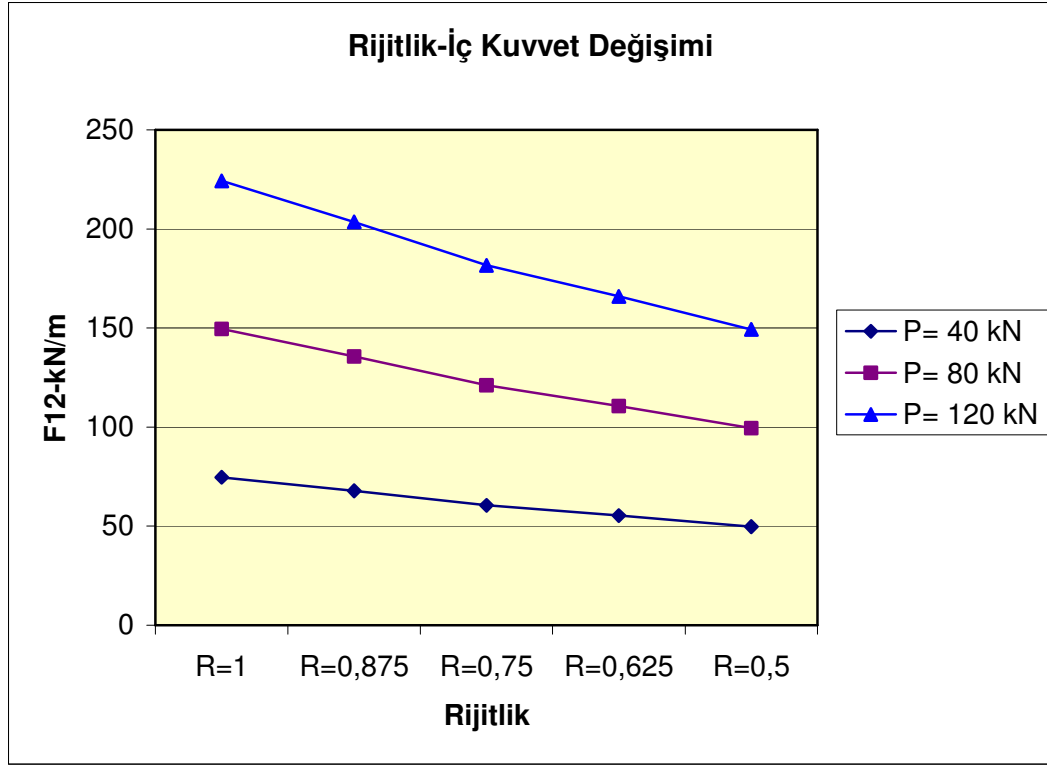
Şekil 8.2’de farklı rijitlikler altında uygulanan dış kuvvetler ve meydana gelen kesme kuvvetlerinin ilişkisi ve Şekil 8.3’de 40 kN, 80 kN ve 120 kN sabit kuvvetleri altında rijitlik ve kesme kuvveti ilişkisi gösterilmiştir.

Tablo 8.1 Değişen Dış Kuvvetler Sonucu Kesme Kuvvetlerindeki Değişim

Kesme Kuvveti Birimi (kN/m)	P= 40 kN	P= 80 kN	P=120 kN	P= 160 kN	P= 200 kN	P= 240 kN
R=1	74,74	149,48	224,22	298,96	373,7	448,44
R=0,875	67,81	135,62	203,43	271,24	339,05	406,86
R=0,75	60,54	121,08	181,62	242,16	302,7	363,24
R=0,625	55,31	110,62	165,93	221,24	276,55	331,86
R=0,5	49,75	99,5	149,25	199	248,75	298,5



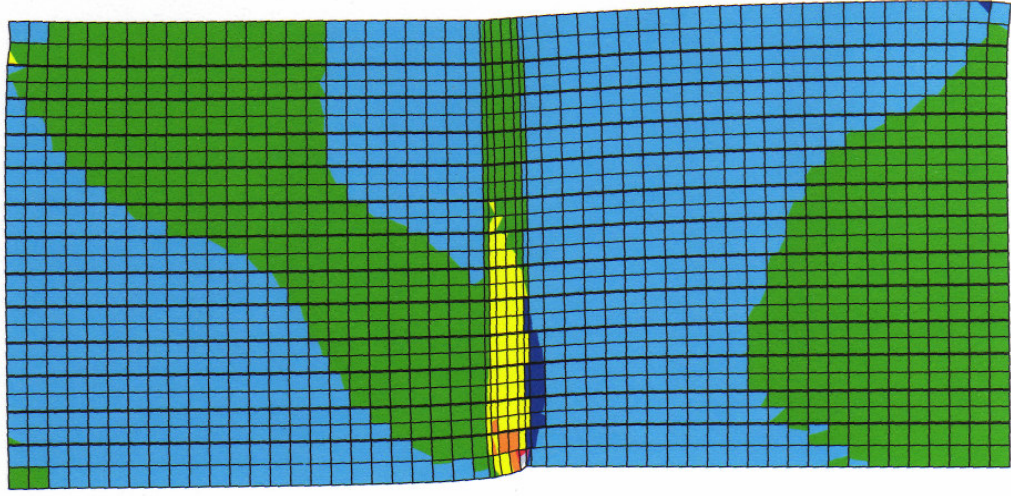
Şekil 8.2 Dış Kuvvet-İç Kuvvet (Maksimum Kesme Kuvveti) İlişkisi



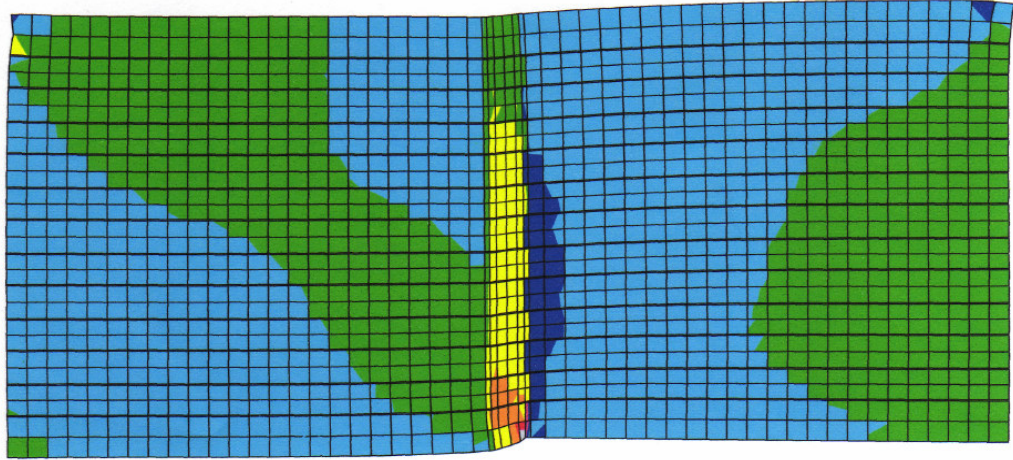
Şekil 8.3 Rijitlik-İç Kuvvet (Maksimum Kesme Kuvveti) İlişkisi

Şekil 8.2 ve Şekil 8.3’de gösterilen grafiklere göre, dış kuvvetlere paralel olarak artan maksimum kesme kuvvetlerinin rijitliğin azalmasıyla birlikte daha az değerler aldıkları görülmektedir. Yani birleşim bölgesinin rijitliği azaldıkça maksimum kesme kuvveti bu duruma paralel olarak azalmaktadır.

Bir kuvvetin rijit bir birleşime uygulanmasıyla meydana gelen maksimum kesme kuvveti değerleri, aynı kuvvetin daha az rijit bir birleşimde oluşturduğu maksimum kesme kuvveti değerlerinden mutlak değerce daha büyük olmaktadır. Mesela 240 kN’luk bir düşey kuvvet altında $R=1.00$ durumunda oluşan maksimum kesme kuvveti değeri 448 kN/m olurken, aynı kuvvet altında $R=0.50$ durumunda oluşan maksimum kesme kuvveti değeri 298 kN/m olmaktadır. Yani birleşim bölgesinin rijitliği % 50 azalırken maksimum kesme kuvvetindeki azalma da % 32’ye yakın olmaktadır. Bir deprem esnasında tersinir yükler altında, birkaç yükleme sonrasında plastik bir davranış sergilemesi muhtemel olan birleşim bölgesinde, meydana gelen maksimum kesme kuvvetlerinin de zamana bağlı olarak azalması oldukça iyi bir davranış şekli olacaktır.



R= 1.00 durumu



R= 0.625 durumu

Şekil 8.4 Farklı Rijitliklerde Kesme Kuvvetlerinin Durumu

Şekil 8.4’de R= 1.00 ve R= 0.625 durumlarında sistemdeki kesme kuvveti dağılımı görülmektedir. R= 1.00 durumunda birleşim bölgesinde genellikle mesnet bölgesinde (alt bölge) toplanan iç kuvvet dağılımı, rijitliğin azalmasıyla birlikte üst bölgelere doğru yayılmaktadır. R= 1.00 durumunda kuvvet dağılımı sadece alttan üç kenet çevresinde meydana gelirken rijitliğin azalmasıyla birlikte kuvvet dağılımı alttan beş kenet çevresinde meydana gelmektedir. Yani rijitliğin azalmasıyla birlikte birleşim

bölgesinin diğer kısımlarına dağılan iç kuvvetler, oluşan maksimum kesme kuvveti değerini azaltmaktadırlar.

8.2 Kenet Açılarının Değişmesi Sonucu İç Kuvvetlerde Meydana Gelen Değişim

Bu kısımda farklı kenet açlarına sahip birleşim bölgelerinde, rijitliklere bağlı olarak iç kuvvetlerdeki değişimler incelenmiştir. $R=1$, $R=0.875$, $R=0.75$, $R=0.625$ ve $R=0.50$ olması durumunda kenetsiz, kenet açısı 26° ve kenet açısı 15° olması halinde maksimum kesme kuvvetlerinin değişimi incelenmiştir.

Ayrıca birleşim bölgesinde bulunan ilk kenedin alt eğimli yüzeyinde ve kenetsiz birleşimin aynı bölgesindeki iç kuvvetlerin değişimleri farklı rijitlikler altında analizi yapılarak karşılaştırılmışlardır. Sonuçlar Tablo 8.2 ve Tablo 8.3’de gösterilmiştir.

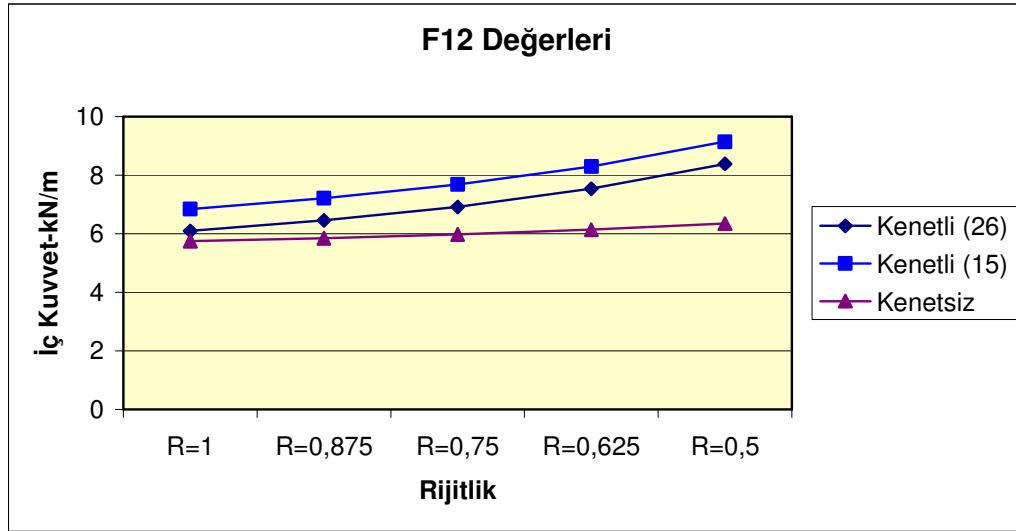
Tablo 8.2 Farklı Dış Kuvvetler Sonucu Maksimum Kesme Kuvvetlerindeki Değişim

Birim:kN/m	Açı değişimi	P= 40 kN	P= 80 kN	P=120 kN	P=160 kN	P=200 kN	P=240 kN
R=1.00	Kenetli 26°	74,74	149,48	224,22	298,96	373,7	448,44
	Kenetli 15°	74,53	149,06	223,59	298,12	372,65	447,18
	Kenetsiz	74,58	149,16	223,74	298,32	372,9	447,48
R=0.875	Kenetli 26°	67,81	135,62	203,43	271,24	339,05	406,86
	Kenetli 15°	67,62	135,24	202,86	270,48	338,1	405,72
	Kenetsiz	67,72	135,44	203,16	270,88	338,6	406,32
R= 0.75	Kenetli 26°	60,54	121,08	181,62	242,16	302,7	363,24
	Kenetli 15°	60,36	120,72	181,08	241,44	301,8	362,16
	Kenetsiz	60,49	120,98	181,47	241,96	302,45	362,94
R=0.625	Kenetli 26°	55,31	110,62	165,93	221,24	276,55	331,86
	Kenetli 15°	54,89	109,78	164,67	219,56	274,45	329,34
	Kenetsiz	54,93	109,86	164,79	219,72	274,65	329,58
R=0.50	Kenetli 26°	49,75	99,5	149,25	199	248,75	298,5
	Kenetli 15°	49,72	99,44	149,16	198,88	248,6	298,32
	Kenetsiz	49,34	98,68	148,02	197,36	246,7	296,04

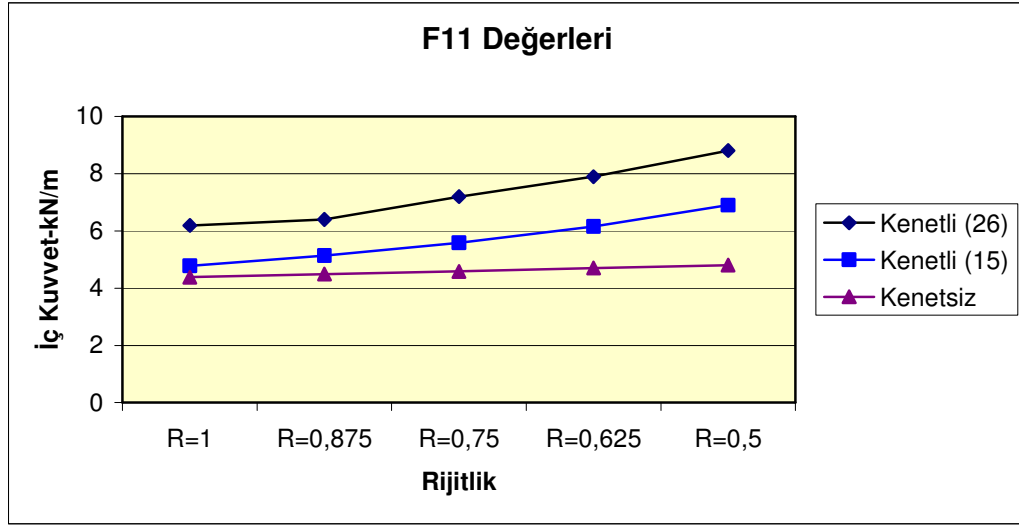
Tablo 8.2’den görüleceği gibi birleşimdeki kenet açılarının farklı olması, birleşimin düz veya kenetli olması birleşim bölgesindeki maksimum kesme kuvveti değerini fazla değiştirmemektedir. Tablo 8.3’de en üst kenedin alt eğimli yüzeyinde ve kenetsiz (düz) birleşim için aynı bölgedeki iç kuvvetlerin değişimi görülmektedir.

Tablo 8.3 İlk Kenet Alt Eğimli Yüzeyinde ve Kenetsiz (Düz) Birleşimin Aynı Bölgesindeki İç Kuvvet Değişimleri

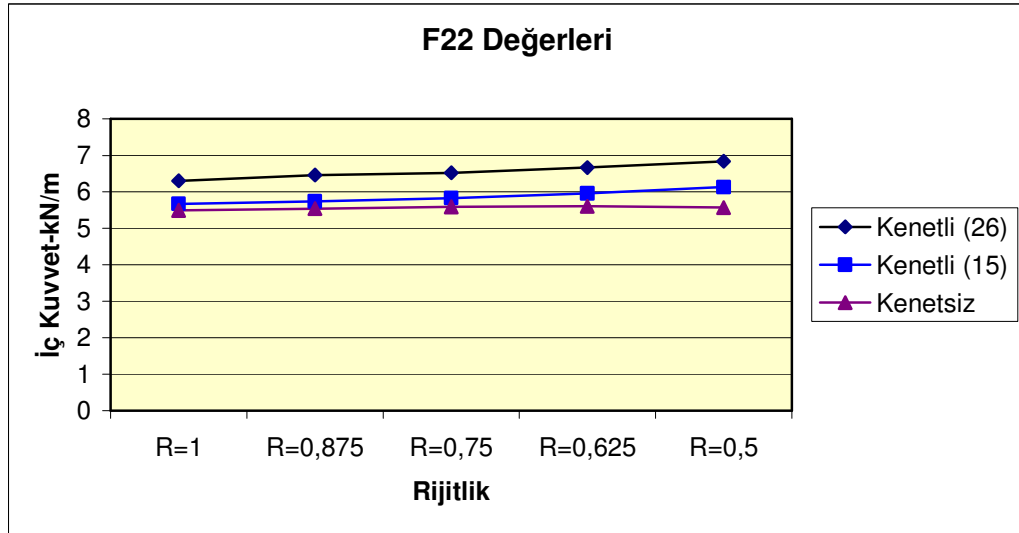
P= 40 kN	F12 Değerleri			F11 Değerleri			F22 Değerleri		
Birim kN/m	Kenetli 26°	Kenetli 15°	Düz	Kenetli 26°	Kenetli 15°	Düz	Kenetli 26°	Kenetli 15°	Düz
R=1	6,1	6,85	5,75	6,19	4,78	4,39	6,3	5,67	5,49
R=0,875	6,46	7,22	5,85	6,4	5,14	4,49	6,46	5,74	5,54
R=0,75	6,92	7,69	5,98	7,2	5,59	4,59	6,52	5,83	5,59
R=0,625	7,54	8,3	6,14	7,9	6,16	4,7	6,67	5,96	5,6
R=0,5	8,39	9,15	6,35	8,81	6,9	4,81	6,84	6,13	5,57



Şekil 8.5 Kesme Kuvveti Değişimleri



Şekil 8.6 Yatay Doğrultuda Normal Kuvvet Değişimleri (Basınç)



Şekil 8.7 Düşey Doğrultuda Normal Kuvvet Değişimleri (Basınç)

Şekil 8.5’de kesme kuvvetleri değerlerinin açılarla değişimleri görülmektedir. Kesme kuvvetleri en büyük değerlerini kenet açısının 15° olduğu durumda, en küçük değerlerini ise kenetsiz olduğu durumda almışlardır. Bu durumdan, kenet açısının artmasıyla birlikte kenet yüzeylerindeki kesme kuvveti değerlerinin azaldığı sonucuna varılabilir.

Şekil 8.6 ve Şekil 8.7’de farklı rijitliklerde aynı bölgedeki yatay ve düşey doğrultuda eksenel kuvvetlerin değişimleri görülmektedir. Her iki şekilden de görüleceği gibi

eksenel kuvvetler en büyük değerlerini kenet açısının 26^0 olduğu durumda, en küçük değerlerini ise kenetsiz olduğu durumda almışlardır. Ayrıca rijitliğin azalmasıyla birlikte eksenel basınç kuvvetlerinin kenetli birleşimlerde arttığı görülmektedir.

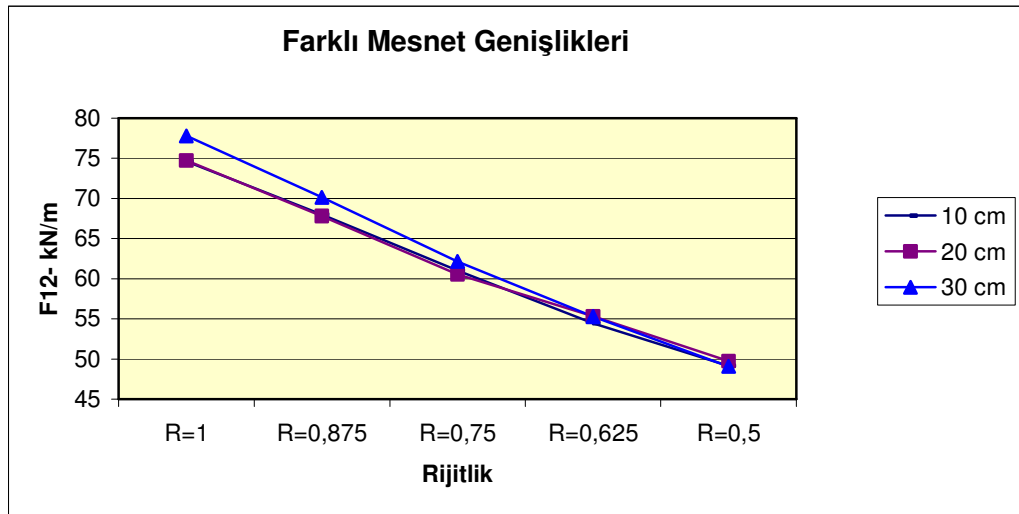
Düşey kuvvetlerin etkisinde özellikle rijitliğin azalmasıyla birlikte birleşim bölgesi ve panel elemanlardaki farklı deformasyonlar oluşması sonucu kenet yüzeylerindeki basınç kuvvetleri artmaktadır. Kenetsiz (düz) birleşimlerde ise bu bölgedeki eksenel kuvvet değişimleri önemli ölçüde olmamaktadır.

8.3 Farklı Mesnet Genişlikleri Altında Kesme Kuvvetlerinin Değişimi

Bu kısımda birleşim bölgesi genişliğinin 10 cm, 20 cm ve 30 cm olması durumunda maksimum kesme kuvvetlerinin farklı rijitliklerdeki değişimi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 8.4’de görülmektedir.

Tablo 8.4 Farklı Mesnet Genişliği Altında Kesme Kuvveti-Rijitlik Değişimi

P= 40 kN	10 cm	20 cm	30 cm
R=1	74,63 kN/m	74,74 kN/m	77,79 kN/m
R=0,875	68,02 kN/m	67,81 kN/m	70,14 kN/m
R=0,75	61,03 kN/m	60,54 kN/m	62,15 kN/m
R=0,625	54,45 kN/m	55,31 kN/m	55,29 kN/m
R=0,5	49,16 kN/m	49,75 kN/m	49,08 kN/m



Şekil 8.8 Farklı Mesnet Genişlikleri İçin Kesme Kuvvetinin Rijitlikle Değişimi

Birleşim bölgesinin genişliğinin 30 cm olduğu zaman maksimum kesme kuvveti değeri en büyük değerini aldığı Şekil 8.8'den görülmektedir. Mesnet genişliğinin 10 cm ve 20 cm olması durumunda ise maksimum kesme kuvvetleri oldukça yakın değerler almaktadır. Ayrıca rijitliğin azalmasıyla birlikte her üç durum için kesme kuvveti değerleri birbirlerine yaklaşmaktadırlar. $R= 0.50$ durumunda maksimum kesme kuvveti değerleri hemen hemen aynı olmaktadır.

8.4 Farklı Sayıdaki Donatıların Birleşimdeki Kesme Kuvvetine Etkisi

Bu kısım da birleşim bölgesindeki firkete donatısı sayılarının değişiminin maksimum kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 8.5'de görülmektedir.

Tablo 8.5 Firkete Donatısı Sayısının Maksimum Kesme Kuvvetine Etkisi

		P= 40 kN	P= 80 kN	P=120 kN	P= 160 kN	P= 200 kN	P= 240 kN
2*2Ø12	R=1	74,73	149,46	224,19	298,92	373,65	448,38
	R=0,875	67,8	135,6	203,4	271,2	339	406,8
	R=0,75	60,52	121,04	181,56	242,08	302,6	363,12
	R=0,625	55,29	110,58	165,87	221,16	276,45	331,74
	R=0,5	49,72	99,44	149,16	198,88	248,6	298,32
4*2Ø12	R=1	74,72	149,44	224,16	298,88	373,6	448,32
	R=0,875	67,79	135,58	203,37	271,16	338,95	406,74
	R=0,75	60,52	121,04	181,56	242,08	302,6	363,12
	R=0,625	55,28	110,56	165,84	221,12	276,4	331,68
	R=0,5	47,71	95,42	143,13	190,84	238,55	286,26
6*2Ø12	R=1	74,71	149,42	224,13	298,84	373,55	448,26
	R=0,875	67,78	135,56	203,34	271,12	338,9	406,68
	R=0,75	60,51	121,02	181,53	242,04	302,55	363,06
	R=0,625	55,27	110,54	165,81	221,08	276,35	331,62
	R=0,5	47,7	95,4	143,1	190,8	238,5	286,2

Tablo 8.5'den görüleceği gibi birleşim bölgesindeki firkete donatısı sayısının kesme kuvvetine etkisi bulunmamaktadır.

9. SAYISAL UYGULAMA-2

Bu bölümde, prefabrike duvar ve döşeme panolarıyla oluşturulmuş bir sistemde birleşim bölgelerindeki rijitlik değişimlerinin çözümlere etkisini incelemek amacıyla ETABS programında Mod Birleştirme Yöntemi (Spektral Analiz) uygulanarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir. [22]

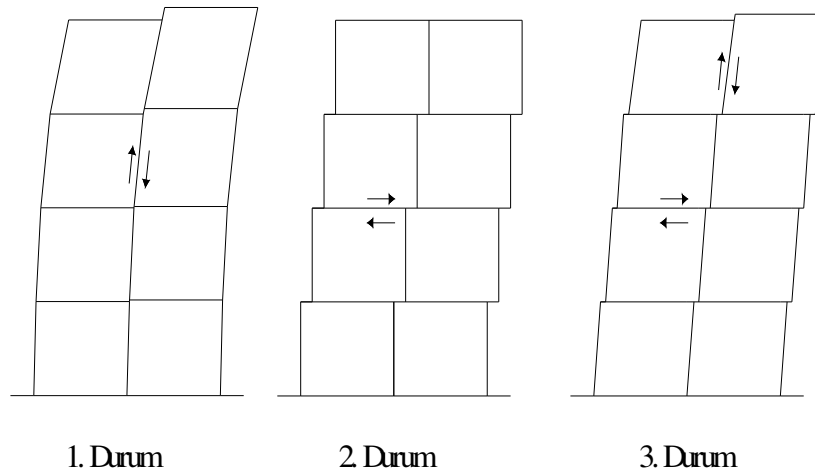
Yapı 4, 6 ve 8 katlı olarak irdelenmiş ve her çözümde 3 aşamalı gerçekleştirilmiştir.

1. aşamada sadece düşey yöndeki duvar panoları birleşim bölgelerindeki rijitlik değişimine göre,

2. aşamada sadece yatay yöndeki duvar panoları birleşim bölgelerindeki rijitlik değişimine göre,

3. aşamada ise her iki durum birlikte göz önüne alınarak çözüm yapılmıştır.

(Şekil 9.1)



Şekil 9.1 Panolu Yapının Davranış Biçimleri

Ayrıca göz önüne alınan yapı birleşim bölgelerindeki rijitlik durumları dikkate alınarak ($R=1.00$, $R=0.50$, $R=0.01$) analiz edilmiş; bina ilk üç periyotları, kat deplasmanları ve iç kuvvetlerdeki değişimler tablolar halinde verilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Spektral analizde kullanılan X- Yönü kat kütle merkezi, Y- Yönü kat kütle merkezi X- Yönü deprem kütlesi ($g+nq$), Y- Yönü deprem kütlesi ($g+nq$) ve dönel deprem kütlesi Tablo 9.1’de gösterilmiştir.

Tablo 9.1 Spektral Analizde Kullanılan Bina Bilgileri

X- Yönü kat kütle merkezi	9.545 m
Y- Yönü kat kütle merkezi	8.03 m
X- Yönü deprem kütlesi	301,78 t
Y- Yönü deprem kütlesi	301,78 t
Dönel deprem kütlesi	17773,3 tm

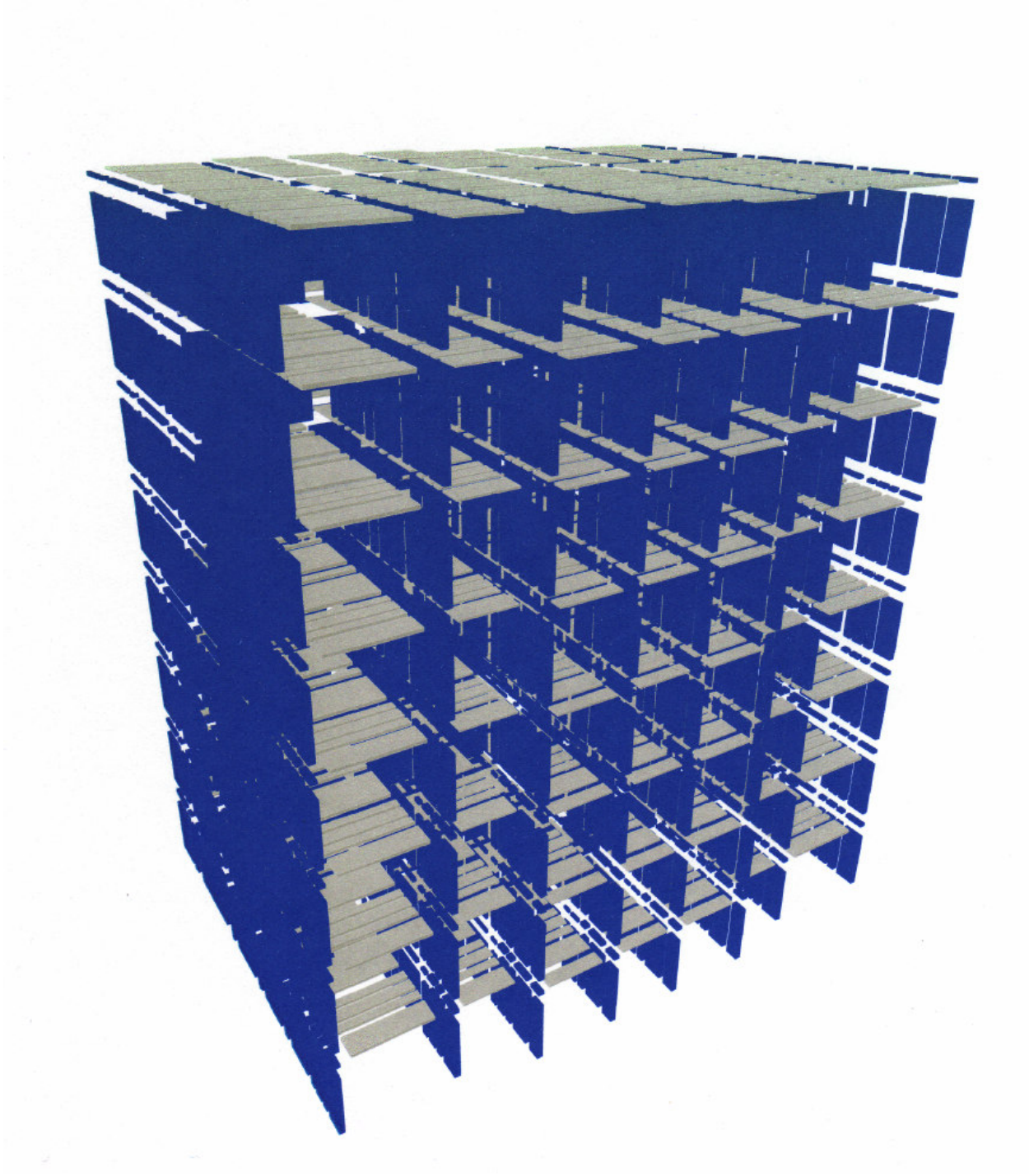
Yapıyla ilgili deprem parametreleri Tablo 9.2’de gösterilmiştir.

Tablo 9.2 Yapıyla İlgili Deprem Parametreleri

Etkin yer ivme katsayısı (A_0)	0.4
Bina önem katsayısı (I)	1
Yerel zemin sınıfı	Z2
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	4

Yapı 1. Deprem bölgesinde olup, çok katlı killi bir zemin üzerinde bulunmaktadır. Yapı kullanım amacı bakımıyla konut türü bir yapıdır. Ayrıca deprem yüklerinin tamamı prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı için “R” taşıyıcı sistem davranış katsayısı 4 olarak seçilmiştir.

Yapının plandaki boyutları Şekil 9.2’de gösterilmiştir.



Şekil 9.3 Yapının Bilgisayar Modeli

9.1 Farklı Kat Adetlerine Göre Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu kısımda sözü edilen yapının farklı kat adetleri ve rijitliklere göre 3 farklı şekilde analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 9.3, Tablo 9.4 ve Tablo 9.5’de gösterilmiştir.

Burada;

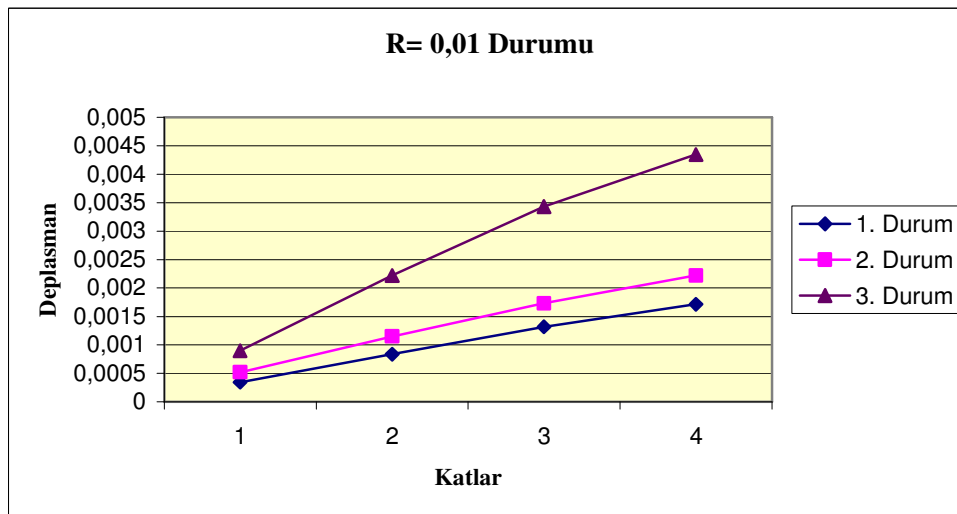
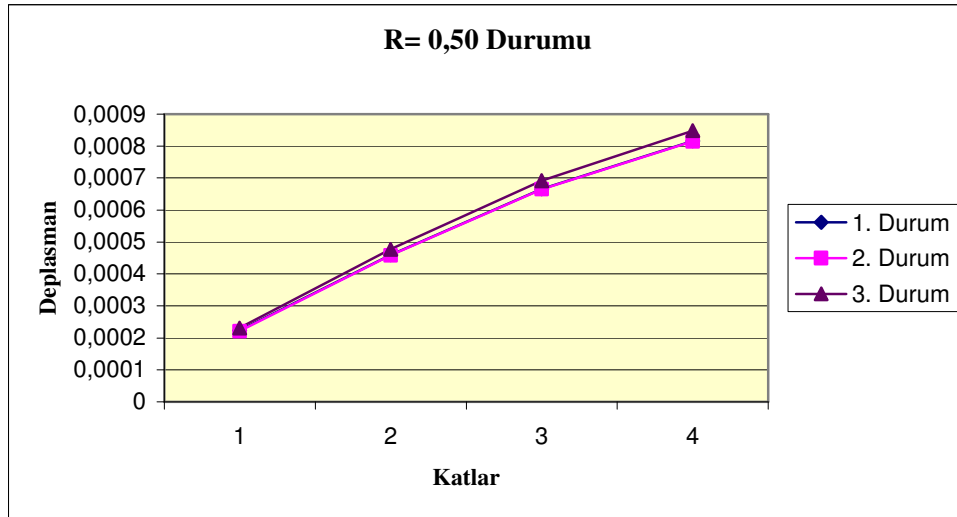
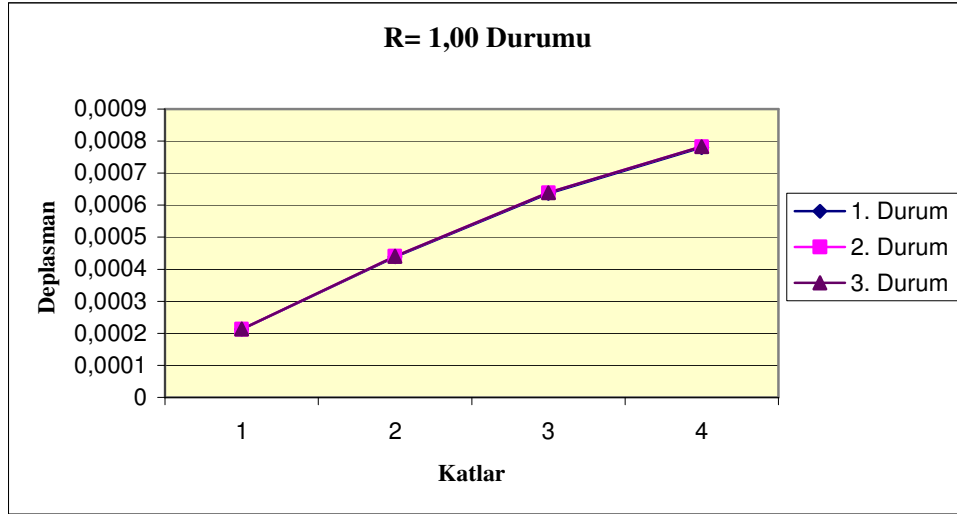
1 ile ifade edilen; sadece düşey yöndeki duvar panoları birleşim bölgelerindeki rijitlik değişimi;

2 ile ifade edilen; sadece yatay yöndeki duvar panoları birleşim bölgelerindeki rijitlik değişimi;

3 ile ifade edilen ise her iki durumunda birlikte kullanıldığı durumdur.

Tablo 9.3 4 Katlı Yapının Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

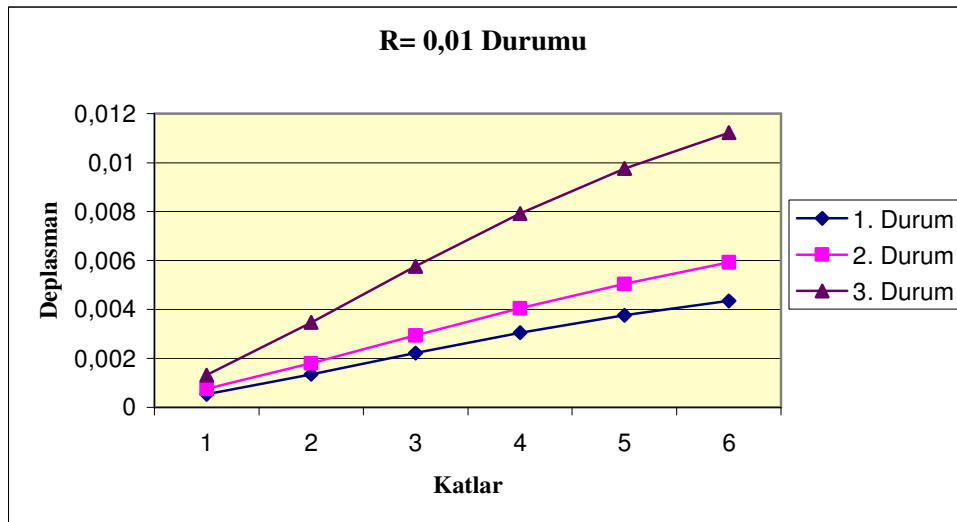
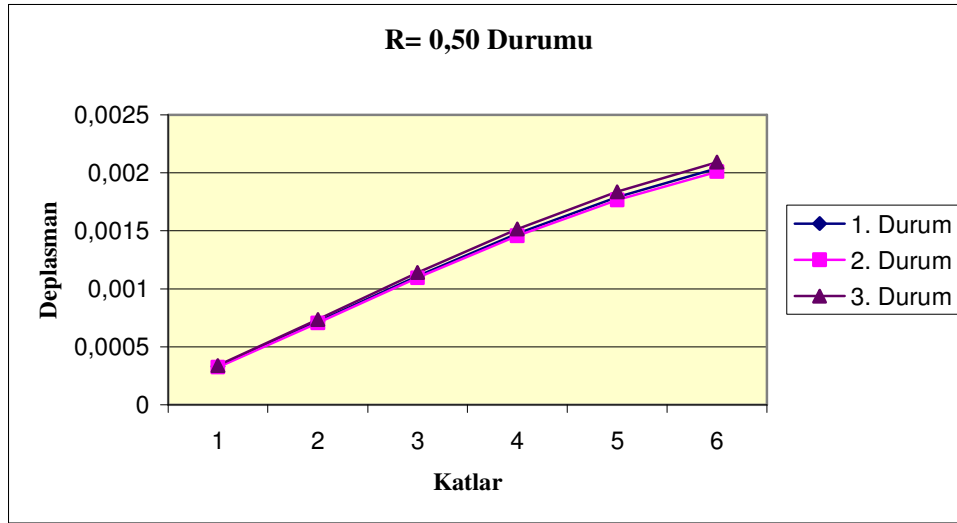
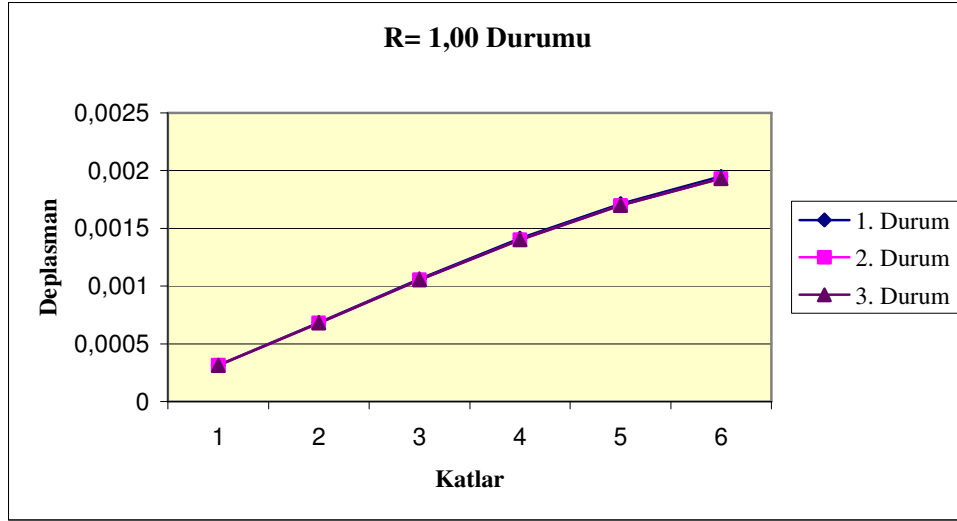
X-Yönü	R= 0,01			R= 0,50			R=1,00		
(m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Kat	0,000343	0,000521	0,0009	0,000223	0,000221	0,000231	0,000213	0,000213	0,000213
2. Kat	0,000839	0,001151	0,002221	0,00046	0,000458	0,000477	0,000439	0,000441	0,000441
3. Kat	0,001316	0,001731	0,00343	0,000666	0,000665	0,000692	0,000637	0,000639	0,000639
4. Kat	0,001712	0,00222	0,004347	0,000816	0,000815	0,000848	0,00078	0,000783	0,000783
Y-Yönü	R= 0,01			R= 0,50			R=1,00		
(m)	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Kat	0,00007	0,000206	0,00025	0,000056	0,000057	0,000059	0,000054	0,000055	0,000055
2. Kat	0,000177	0,000491	0,000671	0,000131	0,000133	0,000138	0,000126	0,000128	0,000128
3. Kat	0,000284	0,000777	0,001093	0,000204	0,000209	0,000216	0,000197	0,0002	0,0002
4. Kat	0,000379	0,001027	0,001448	0,000268	0,000274	0,000283	0,000258	0,000263	0,000263



Şekil 9.4 4 Katlı yapının çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Tablo 9.4 6 Katlı Yapının Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

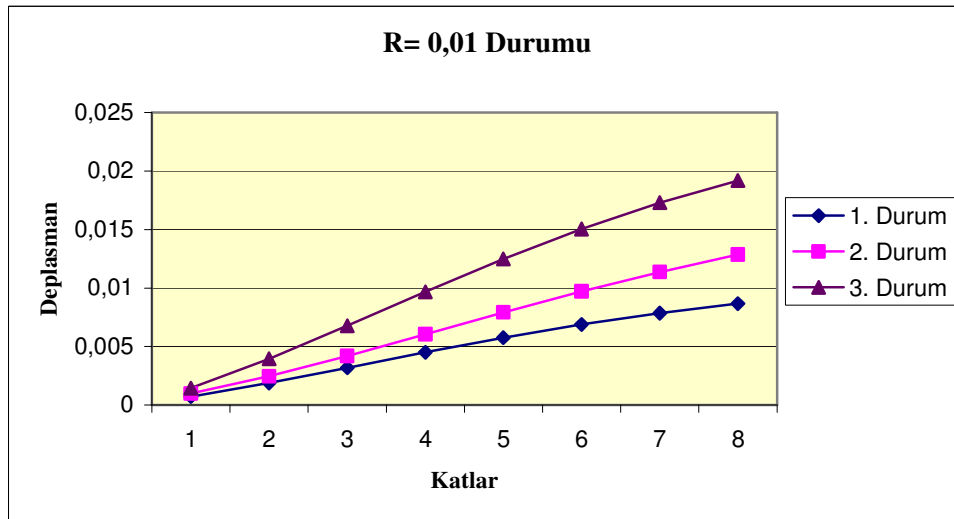
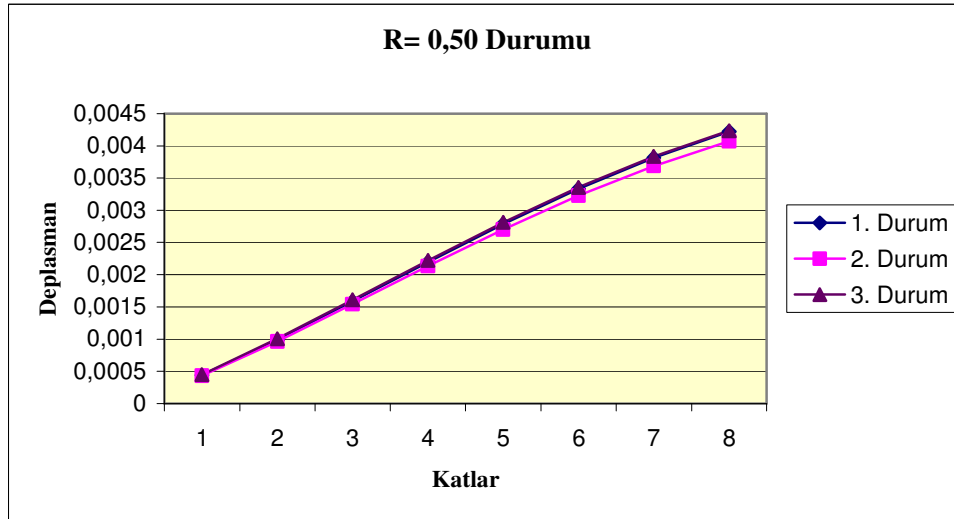
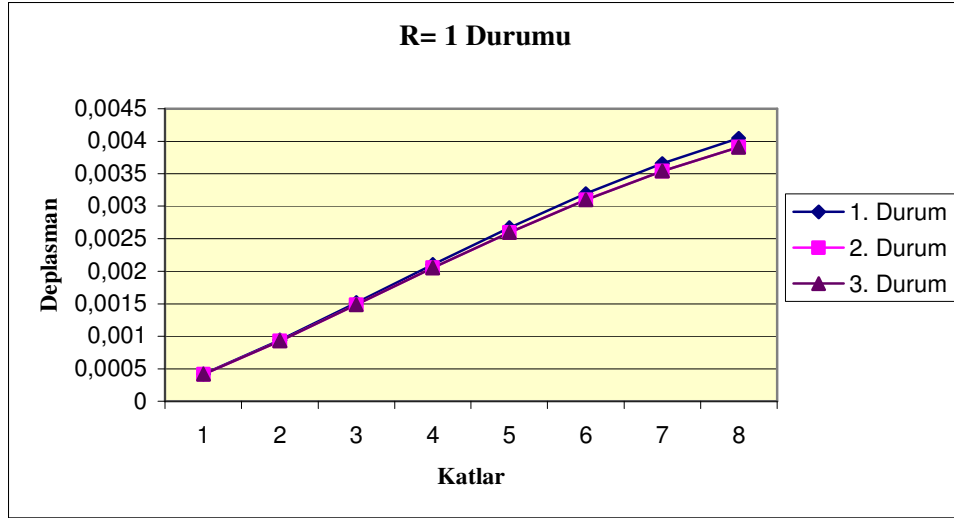
X- Yönü (m)	R= 0,01			R= 0,50			R=1,00		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Kat	0,000527	0,000758	0,001323	0,00033	0,000324	0,000338	0,000315	0,000313	0,000313
2. Kat	0,001348	0,0018	0,003473	0,000717	0,000707	0,000736	0,000685	0,00068	0,00068
3. Kat	0,002225	0,002935	0,005761	0,00111	0,001095	0,00114	0,001062	0,001054	0,001053
4. Kat	0,003051	0,004047	0,007914	0,001477	0,001457	0,001516	0,001413	0,001401	0,001401
5. Kat	0,003761	0,005047	0,009755	0,001791	0,001766	0,001838	0,001714	0,001698	0,001698
6. Kat	0,004345	0,005923	0,011218	0,002037	0,002009	0,002091	0,001951	0,001931	0,00193
Y- Yönü (m)	R= 0,01			R= 0,50			R=1,00		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Kat	0,000109	0,000295	0,000365	0,000085	0,000087	0,00009	0,000082	0,000083	0,000083
2. Kat	0,000289	0,000781	0,001072	0,000213	0,000217	0,000224	0,000205	0,000208	0,000208
3. Kat	0,000498	0,001365	0,001902	0,000358	0,000366	0,000379	0,000345	0,000351	0,000351
4. Kat	0,000712	0,001985	0,002755	0,000509	0,000521	0,000538	0,000491	0,000499	0,000499
5. Kat	0,000915	0,002586	0,003554	0,000652	0,00067	0,00069	0,00063	0,000641	0,000641
6. Kat	0,001098	0,001342	0,004261	0,000782	0,000804	0,000828	0,00075	0,00077	0,000769



Şekil 9.5 6 Katlı yapının çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Tablo 9.5 8 Katlı Yapının Çözüm Yöntemlerinin Karşılaştırılması

X- Yönü (m)	R= 0,01			R= 0,50			R=1,00		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Kat	0,000718	0,000992	0,00146	0,00044	0,000431	0,000449	0,000421	0,000416	0,000416
2. Kat	0,001879	0,002465	0,003959	0,000989	0,000966	0,001006	0,000945	0,00093	0,00093
3. Kat	0,003187	0,004195	0,006785	0,001587	0,001546	0,00161	0,001518	0,001488	0,001488
4. Kat	0,004512	0,006049	0,009682	0,002197	0,002136	0,002222	0,002102	0,002053	0,002053
5. Kat	0,005765	0,007918	0,012481	0,002787	0,002704	0,002813	0,002669	0,002598	0,002598
6. Kat	0,006889	0,009712	0,015052	0,003333	0,003227	0,003357	0,003193	0,0031	0,003099
7. Kat	0,007852	0,011358	0,017294	0,003815	0,003686	0,003833	0,003656	0,00354	0,003539
8. Kat	0,008667	0,012861	0,019188	0,004222	0,004071	0,004234	0,004047	0,003909	0,003908
Y- Yönü (m)	R= 0,01			R= 0,50			R=1,00		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1. Kat	0,000149	0,000386	0,000481	0,000116	0,000118	0,000122	0,000112	0,000114	0,000114
2. Kat	0,000412	0,001108	0,001508	0,000303	0,000309	0,000319	0,000292	0,000297	0,000297
3. Kat	0,000734	0,002054	0,00281	0,000532	0,000544	0,000561	0,000513	0,000522	0,000522
4. Kat	0,001089	0,003147	0,004265	0,000787	0,000806	0,000831	0,00076	0,000773	0,000772
5. Kat	0,001454	0,004323	0,00578	0,001053	0,001081	0,001113	0,001019	0,001036	0,001035
6. Kat	0,001814	0,005522	0,007278	0,001319	0,001357	0,001395	0,001277	0,001299	0,001297
7. Kat	0,002156	0,006695	0,008697	0,001575	0,001622	0,001666	0,001525	0,001552	0,00155
8. Kat	0,002474	0,007816	0,010009	0,001815	0,001871	0,001921	0,001759	0,00179	0,001788



Şekil 9.6 8 Katlı yapının çözüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Yukarıdaki tablolar incelendiğinde; $R=1.00$ iken her 3 çözüm yöntemi de yaklaşık olarak aynı sonuçları vermektedir. Bu da yapılan analizlerin doğruluğunu kanıtlar yöndedir. Ayrıca $R=0.50$ ve $R=0.01$ durumlarında her 3 yöntemdeki deplasmanlar incelendiğinde 3 numaralı çözüm yöntemindeki deplasmanların, 1 ve 2 no'lu çözüm yöntemlerindeki deplasmanlardan daha fazla olduğu görülmektedir. Özellikle $R=0.01$ durumunda 3 numaralı çözüm yöntemindeki deplasmanlar fark edilir derecede artmış bulunmaktadır.

Örneğin $R=0.01$ durumu için 8 katlı yapının 8. katında -X- doğrultusunda meydana gelen deplasman değişimleri incelendiğinde 2 no'lu çözüm yöntemi 3 no'lu çözüm yöntemine göre % 33 daha az, 1 no'lu çözüm yöntemi de 3 no'lu çözüm yöntemine göre % 55 daha az olduğu görülmektedir.

6 katlı yapıda 6. katta, 2 numaralı çözüm yönteminin 3 numaraya göre değişimi % 47 ve 1 numaralı çözüm yönteminin 3 numaralı çözüm yöntemine göre değişimi % 61 olmaktadır.

4 katlı yapıda ise aynı durumda 2 numaralı çözümün 3 numaraya göre değişimi % 49 numaralı çözümün 3 numaraya göre değişimi % 61 olmaktadır.

Bu sonuçlara göre deplasman değişimleri bakımından her 3 yöntem de rijitliğin 1.0 ve 0.5 olması durumunda birbirlerine oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Fakat rijitlik değerinin sıfır değerine oldukça yakın olduğu durumlarda her üç yöntemdeki deplasmanlar birbirlerinden uzaklaşmaktadırlar. Ayrıca rijitlik değişimleri 4 ve 6 katlı yapılarda birbirine oldukça yakınken, 8 katlı yapıda farklılık göstermektedir. 4 ve 6 katlı yapılarda 1 numaralı çözüm yönteminin 3 numaralı çözüm yöntemine göre değişimi % 61 iken, 8 katlı yapıda aynı durumda değişim % 55 civarında olmuştur.

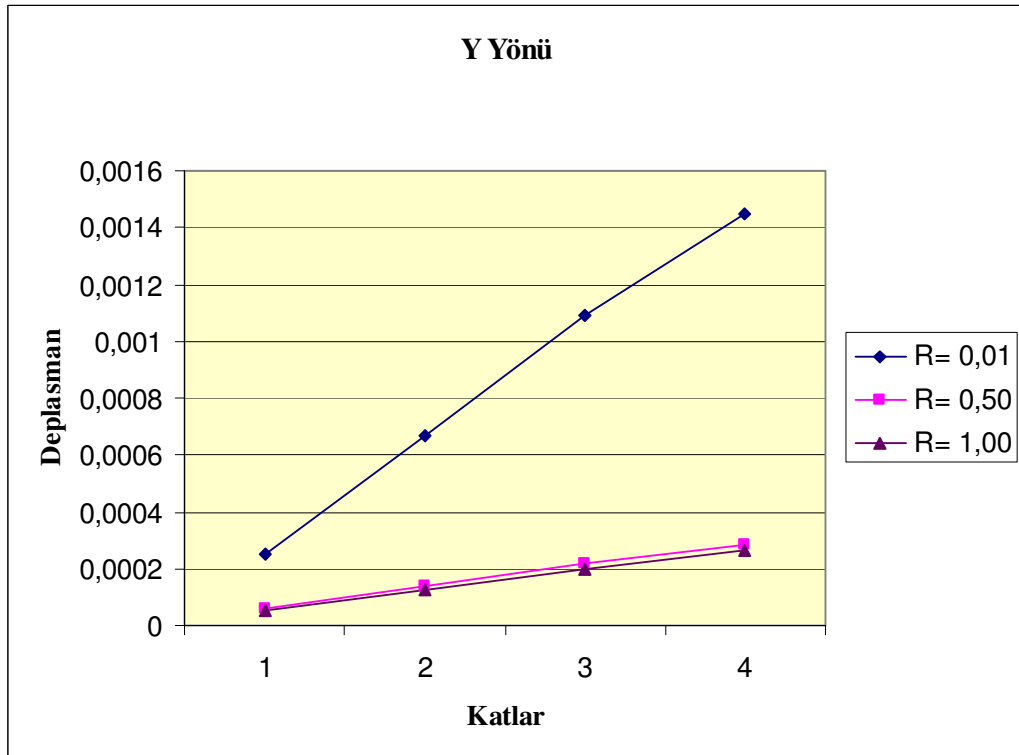
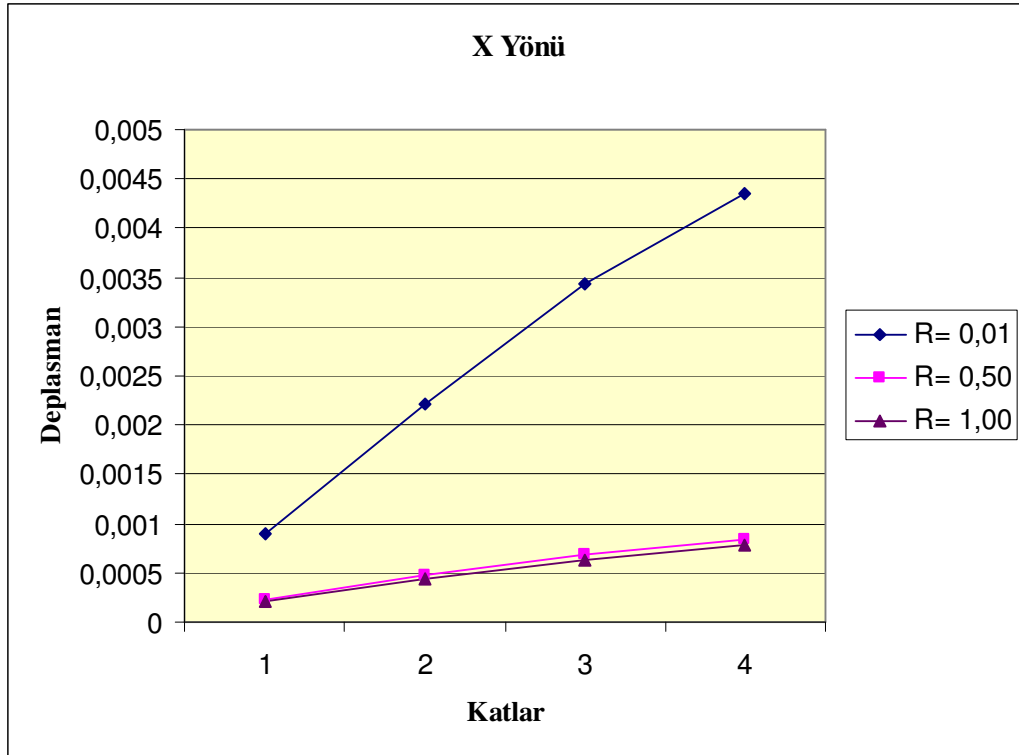
9.2 Rijitlik Değişimlerine Göre Sonuçların Karşılaştırılması

Bu kısımda, sözü edilen yapının $R=1.00$, $R=0.50$ ve $R=0.01$ değerlerine bağlı olarak, deplasmanlarındaki, yapı periyotlarındaki ve iç kuvvetlerindeki değişimleri incelenmiştir. Bina farklı kat adetlerinde analiz edilmiş olup, çözüm yöntemi olarak ise en elverişsiz sonuçları verdiği bir önceki bölümde ispatlanmış olan 3 numaralı çözüm yöntemi göz önüne alınmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar, Tablo 9.6, Tablo 9.7, Tablo 9.8, Tablo 9.9, Tablo 9.10, Tablo 9.11 ve de Tablo 9.12’de gösterilmiştir.

Tablo 9.6 4 Katlı Yapının Rijitlik Değişimlerine Bağlı Deplasmanları

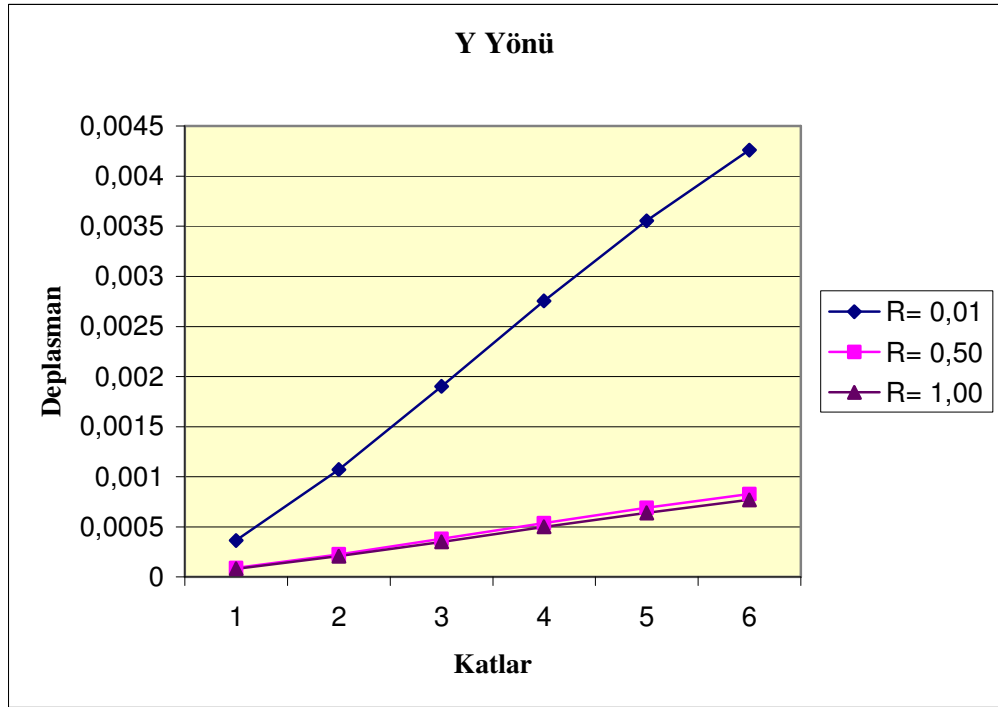
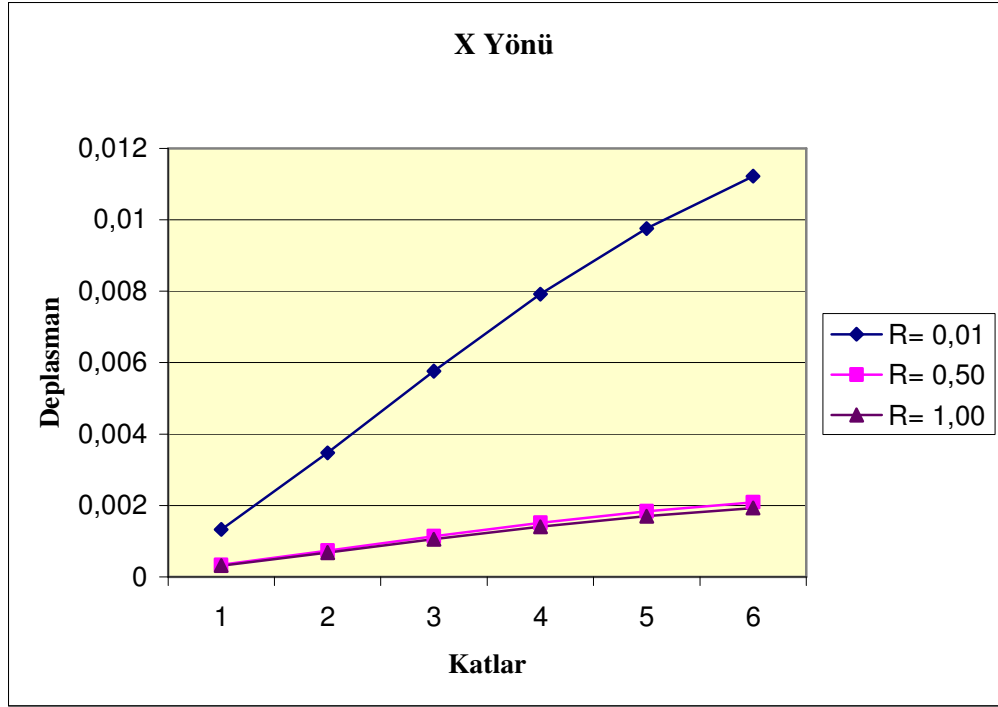
Maksimum Kat Deplasmanları (m)	R= 0,01		R= 0,50		R= 1,00	
	X Yönünde	Y Yönünde	X Yönünde	Y Yönünde	X Yönünde	Y Yönünde
1. Kat	0,0009	0,00025	0,000231	0,000059	0,000213	0,000055
2. Kat	0,002221	0,000671	0,000477	0,000138	0,000441	0,000128
3. Kat	0,00343	0,001093	0,000692	0,000216	0,000639	0,0002
4. Kat	0,004347	0,001448	0,000848	0,000283	0,000783	0,000263
1. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	289,61	323,73	8,45	7,27	-	-
2. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	365,62	386,23	8,16	7,81	-	-
3. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	395,66	406,02	8,29	8,00	-	-
4. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	412,62	411,66	8,30	7,60	-	-
1. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	322,54	354,55	8,45	7,27	-	-
2. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	403,63	424,22	8,16	7,81	-	-
3. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	436,78	446,50	8,29	8,00	-	-
4. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	455,17	450,57	8,30	7,60	-	-



Şekil 9.7 4 Katlı yapıda farklı rijitliklere ait deplasman değişimleri

Tablo 9.7 6 Katlı Yapının Rijitlik Değişimlerine Bağlı Deplasmanları

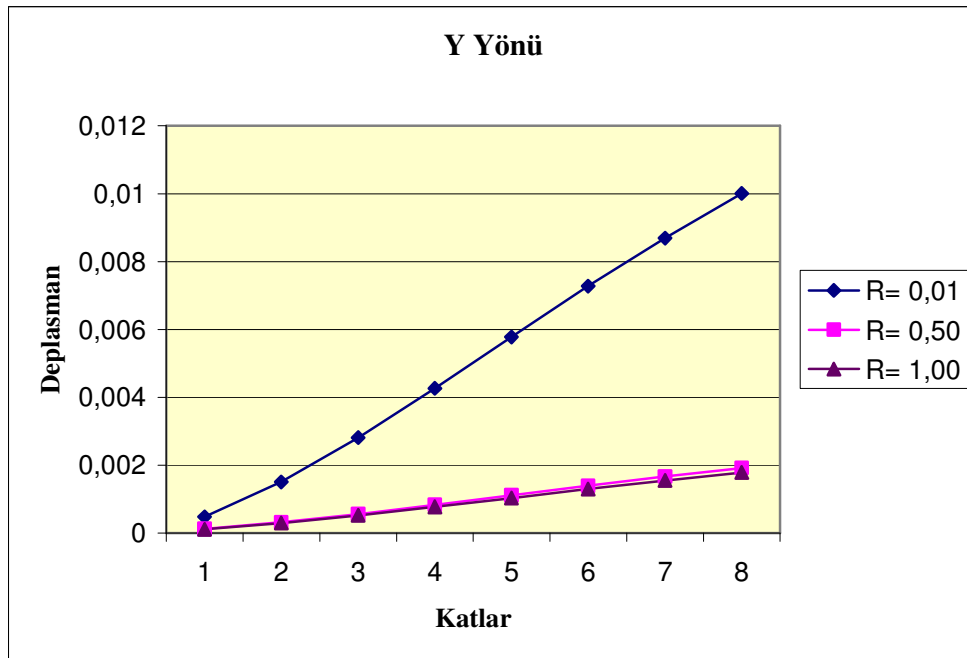
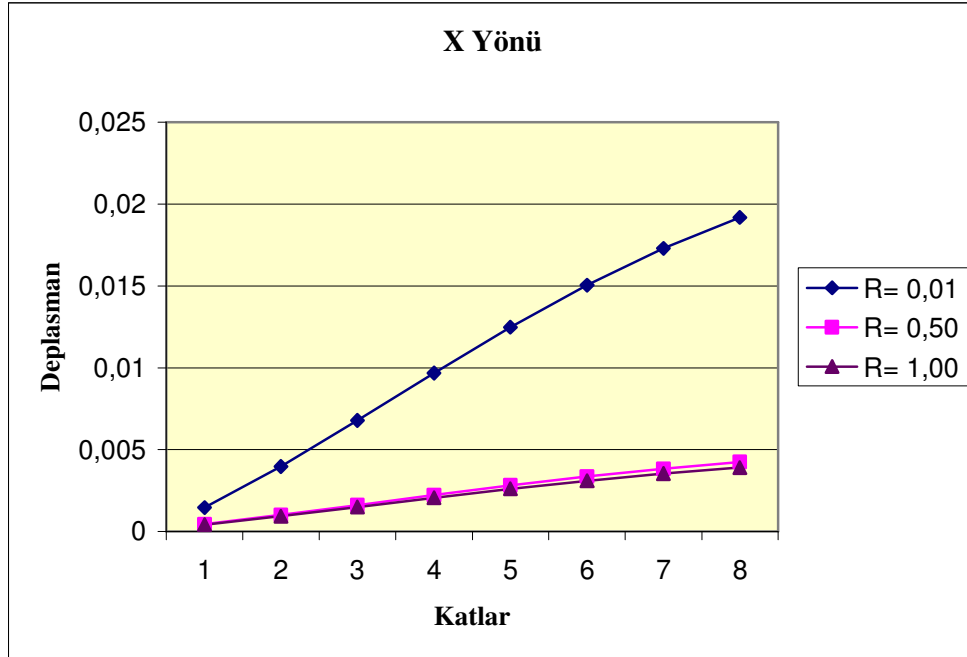
Maksimum Kat Deplasmanları (m)	R= 0,01		R= 0,50		R= 1,00	
	X Yönünde	Y Yönünde	X Yönünde	Y Yönünde	X Yönünde	Y Yönünde
1. Kat	0,001323	0,000365	0,000338	0,00009	0,000313	0,000083
2. Kat	0,003473	0,001072	0,000736	0,000224	0,00068	0,000208
3. Kat	0,005761	0,001902	0,00114	0,000379	0,001053	0,000351
4. Kat	0,007914	0,002755	0,001516	0,000538	0,001401	0,000499
5. Kat	0,009755	0,003554	0,001838	0,00069	0,001698	0,000641
6. Kat	0,011218	0,004261	0,002091	0,000828	0,00193	0,000769
1. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	291,42	305,56	7,99	8,43	-	-
2. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	371,88	378,57	8,24	7,69	-	-
3. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	405,35	401,85	8,26	7,98	-	-
4. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	422,03	412,08	8,21	7,82	-	-
5. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	430,74	415,07	8,24	7,64	-	-
6. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	436,49	414,61	8,34	7,67	-	-
1. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	322,68	339,76	7,99	8,43	-	-
2. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	410,74	415,38	8,24	7,69	-	-
3. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	447,10	441,88	8,26	7,98	-	-
4. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	464,88	452,10	8,21	7,82	-	-
5. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	474,50	454,45	8,24	7,64	-	-
6. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	481,24	454,10	8,34	7,67	-	-



Şekil 9.8 6 Katlı yapıda farklı rijitliklere ait deplasman değişimleri

Tablo 9.8 8 Katlı Yapının Rijitlik Değişimlerine Bağlı Deplasmanları

Maksimum Kat Deplasmanları (m)	R= 0,01		R= 0,50		R= 1,00	
	X Yönünde	Y Yönünde	X Yönünde	Y Yönünde	X Yönünde	Y Yönünde
1. Kat	0,00146	0,000481	0,000449	0,000122	0,000416	0,000114
2. Kat	0,003959	0,001508	0,001006	0,000319	0,00093	0,000297
3. Kat	0,006785	0,00281	0,00161	0,000561	0,001488	0,000522
4. Kat	0,009682	0,004265	0,002222	0,000831	0,002053	0,000772
5. Kat	0,012481	0,00578	0,002813	0,001113	0,002598	0,001035
6. Kat	0,015052	0,007278	0,003357	0,001395	0,003099	0,001297
7. Kat	0,017294	0,008697	0,003833	0,001666	0,003539	0,00155
8. Kat	0,019188	0,010009	0,004234	0,001921	0,003908	0,001788
1. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	225,17	294,26	7,93	7,02	-	-
2. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	293,54	372,73	8,17	7,41	-	-
3. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	321,43	400,89	8,20	7,47	-	-
4. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	335,73	413,24	8,23	7,64	-	-
5. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	343,69	419,32	8,28	7,54	-	-
6. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	348,38	421,72	8,33	7,56	-	-
7. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	351,19	422,03	8,31	7,48	-	-
8. Kat Rijitliğe Bağlı Kısmi Deplasman Artışı (%)	353,19	421,03	8,34	7,44	-	-
1. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	250,96	321,93	7,93	7,02	-	-
2. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	325,70	407,74	8,17	7,41	-	-
3. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	355,98	438,31	8,20	7,47	-	-
4. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	371,60	452,46	8,23	7,64	-	-
5. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	380,41	458,45	8,28	7,54	-	-
6. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	385,71	461,14	8,33	7,56	-	-
7. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	388,67	461,10	8,31	7,48	-	-
8. Kat Rijitliğe Bağlı Toplam Deplasman Artışı (%)	390,99	459,79	8,34	7,44	-	-



Şekil 9.9 8 Katlı yapıda farklı rijitliklere ait deplasman değişimleri

Tablo 9.9 Farklı Rijitlik ve Kat Adetlerine Ait Yapı İlk 3 Periyotları

	4 Katlı			6 Katlı			8 Katlı		
Bina ilk 3 periyodu (s)	R=0,01	R=0,50	R=1,00	R=0,01	R=0,50	R=1,00	R=0,01	R=0,50	R=1,00
1. Periyot	0,228529	0,100714	0,096731	0,359354	0,154857	0,148723	0,505196	0,215161	0,206629
2. Periyot	0,132867	0,058059	0,055881	0,224109	0,097838	0,094272	0,338813	0,147941	0,142615
3. Periyot	0,078124	0,033633	0,032229	0,117576	0,050095	0,048033	0,161101	0,06806	0,065279
1. Periyottaki Kısmi Artış (%)	126,91	4,12	-	132,06	4,12	-	134,80	4,13	-
2. Periyottaki Kısmi Artış (%)	128,85	3,90	-	129,06	3,78	-	129,02	3,73	-
3. Periyottaki Kısmi Artış (%)	132,28	4,36	-	134,71	4,29	-	136,70	4,26	-

Yukarıdaki tablolar incelendiğinde kat adeti fark etmeksizin birleşim bölgelerindeki rijitlik azaldıkça kat deplasmanlarının arttığı görülmüştür. Bu sonuç rijitlik azaldıkça yapının daha zayıf hale gelmesi ve deprem kuvvetlerine karşı direncinin azaldığını göstermektedir. Elde edilen bir diğer sonuç ise, rijitlikteki doğrusal azalmaya karşın deplasmanlardaki artışın doğrusal olarak devam etmemesidir. Genel olarak rijitlikteki ilk % 50’lik azalmaya karşın deplasmandaki artış ortalama % 7-8, ikinci % 49’luk azalmaya karşın deplasmandaki artış ortalama % 300-400 civarında gerçekleşmiştir. Genel toplamda rijitlikteki % 99 azalmaya karşın deplasmandaki artış miktarının ortalama olarak % 400 civarında değiştiği görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlara göre birleşim bölgesindeki rijitliğin doğrusal azalmasına karşılık bina kat deplasman değerleri parabolik olarak artmaktadır.

Tablolardan elde edilen bir diğer sonuç ise yapı ilk 3 periyotlarında meydana gelen değişimlerdir. Buradaki ilişki de benzer şekilde deplasman-rijitlik ilişkisi gibidir. Yani rijitliğin azalmasıyla bina periyotları artmış ve bu artışın da rijitlikteki doğrusal azalmayla paralel olmadığı görülmüştür.

Rijitlikteki ilk % 50 azalmaya karşılık bina ilk 3 periyotlarındaki artışın ortalama % 4 ve ikinci % 49’luk azalmaya karşılık periyotlardaki artışın % 130 civarında meydana geldiği ve bununda kat adetlerindeki değişimle ilgili olmadığı görülmüştür. Toplam % 99’luk azalmaya karşın periyotlardaki artış ortalama % 140 civarında olmuştur.

Tablo 9.10 4 Katlı Binada Farklı Rijitliklere Bağlı İç Kuvvet Değişimleri

R= 1.00						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	250,56	0	0	418,598
	4. Kat	0	46,53	0	0	71,882
R 042	1. Kat	85,11	150,59	0	0,008	229,641
	4. Kat	2,68	68,45	0,01	0,009	98,544
P 040A	1. Kat	223,09	13,63	0,5	0,88	19,951
	4. Kat	8,65	8,01	0,18	0,52	11,806
R= 0.50						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	256,45	0	0	436,306
	4. Kat	0	49,87	0	0	77,409
R 042	1. Kat	84,27	154,5	0	0,011	238,991
	4. Kat	2,58	70,46	0,04	0,054	101,658
P 040A	1. Kat	239,6	13,73	0,09	0,339	20,167
	4. Kat	9,28	8,73	0,56	1,159	12,822
R= 0.01						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	278,06	0	0	722,283
	4. Kat	0	57,12	0	0	90,925
R 042	1. Kat	34,34	128,5	0,02	0,064	311,816
	4. Kat	6,5	67,33	0,15	0,222	100,79
P 040A	1. Kat	265,99	10,96	2,22	6,353	27,468
	4. Kat	22,47	8,62	3,02	4,839	15,407

Tablo 9.11 6 Katlı Binada Farklı Rijitliklere Bağlı İç Kuvvet Değişimleri

R= 1.00						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	354,52	0	0	600,34
	6. Kat	0	73,23	0	0	113,206
R 042	1. Kat	140,9	215,43	0	0,014	332,037
	6. Kat	8,09	81,73	0,01	0,015	117,996
P 040A	1. Kat	433,47	19,84	0,66	1,272	30,918
	6. Kat	6,07	14,28	0,22	0,662	20,898
R= 0.50						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	363,17	0	0	626,138
	6. Kat	0	78,92	0	0	122,21
R 042	1. Kat	140,34	221,07	0,01	0,016	345,592
	6. Kat	7,83	84,35	0,07	0,103	121,965
P 040A	1. Kat	462,64	20	0,07	0,5	31,272
	6. Kat	6,67	15,42	0,6	1,286	22,524
R= 0.01						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	402,8	0	0	1060,006
	6. Kat	0	84,72	0	0	135,799
R 042	1. Kat	70,13	187,28	0,03	0,089	459,637
	6. Kat	2,31	89,05	0,34	0,492	132,992
P 040A	1. Kat	528,91	15,77	3,29	9,426	41,514
	6. Kat	12,85	16,34	2,99	5,009	25,231

Tablo 9.12 8 Katlı Binada Farklı Rijitliklere Bağlı İç Kuvvet Değişimleri

R= 1.00						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	459,14	0	0	784,032
	8. Kat	0	116,81	0	0	176,988
R 042	1. Kat	196,51	280,02	0,01	0,021	435,337
	8. Kat	12,86	91,77	0,01	0,021	132,614
P 040A	1. Kat	699,69	26,19	0,83	1,682	43,627
	8. Kat	7,13	23,46	0,29	0,81	34,098
R= 0.50						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	470,74	0	0	818,275
	8. Kat	0	125,09	0	0	189,823
R 042	1. Kat	196,21	287,48	0,01	0,022	453,293
	8. Kat	12,76	94,92	0,11	0,16	137,315
P 040A	1. Kat	743,83	26,4	0,06	0,625	44,143
	8. Kat	8,12	24,98	0,6	1,344	36,277
R= 0.01						
Eleman No.	Deprem Yönü -X-	P (KN)	V2 (KN)	V3 (KN)	M2 (KN-m)	M3 (KN-m)
P 040C	1. Kat	0	440,24	0	0	1166,157
	8. Kat	0	108,87	0	0	170,688
R 042	1. Kat	88,5	205,05	0,03	0,094	507,004
	8. Kat	3,78	89,34	0,49	0,708	133,001
P 040A	1. Kat	709,62	17,08	3,63	10,421	47,312
	8. Kat	11,04	21,19	2,43	4,193	30,25

Tablo 9.10, Tablo 9.11 ve Tablo 9.12’den elde edilen sonuçlara göre farklı kat adetlerinde rijitlik azaldıkça iç kuvvetlerin bazılarının arttığı bazılarının azaldığı görülmektedir. Özellikle birleşim bölgesinde rijitlik azalmasıyla birlikte düşey pano elemanlardaki iç kuvvetler sürekli olarak değişmektedir. Örneğin 8 katlı bir yapının en alt katında simetri eksenini üzerinde bulunan pano elemanın kuvvetli ekseninin etrafındaki moment değeri R= 1.00 durumunda 784,032 kN, R= 0.50 durumunda 818,275 kN ve R= 0.01 durumunda 1166,157 kN olmaktadır. Yani rijitlik değeri azaldıkça moment değeri artmaktadır.

10. SONUÇLAR

Prefabrike yapıların inşaat sektöründe kullanımının artması ile birlikte, özellikle deprem tehlikesinin olduğu bölgelerde bu tür yapıların uygulanabilirliğini araştırmak üzere birçok teorik ve deneysel çalışmalarda bulunulmuştur. Bu çalışmalar daha çok prefabrike yapıların birleşim bölgeleri ile ilgilidir. Herhangi bir yapım sisteminin sismik etkiler karşısındaki davranışını belirlemek için deprem olmasını beklemek yerine yapay sismik etkiler yaratarak önceden araştırma yapmak en akıllıca olanıdır.

Bir sistemi depreme dayanıklı olarak tasarlamak sadece hesaplanmış yatay yüklere dayanabilmesini sağlamak değildir. Bunun yanı sıra sismik etkiler altında sistemin rijitliğinin, sağlamlığının, enerji yutabilme kapasitesinin ve sünekliğinin de yeterli şekilde sağlanması gerekmektedir. Prefabrike yapıların da deprem etkileri altında bu tür özellikleri sağlaması gerekmektedir. Bununla beraber prefabrike yapılar yerinde dökme betonarme yapılar kadar rijit birleşim bölgelerine sahip değildirler. Prefabrike panolu yapılarda enerji yutma kapasitesi panolar arasındaki düşey ek yerlerinin mafsallaşması ile sağlanır. Ancak prefabrike yapıların birleşim bölgeleri yeterli derecede rijit olmadıklarından dolayı enerji yutabilme kapasiteleri yerinde dökme monolitik betonarme yapılar kadar olamamaktadır. Bu durum da prefabrike yapıların deprem sırasında daha fazla hasara maruz kalmalarına neden olmaktadır.

Prefabrike yapılarda birleşimler üzerine yapılan en kapsamlı ve detaylı araştırma A.B.D. ve Japonya tarafından yürütülen PRESSS programıdır. Bu çalışmaların neticesinde “Kuvvetli” ve “Sünek” olmak üzere iki tip birleşim esas alınmış ve bu tür birleşimlerle ilgili kriterler belirlenmiştir. Genel olarak her iki birleşim türünden de tasarım yükleri altında prefabrike elemanlardan gelen etkilere karşı yeterli dayanıma sahip olmaları, mukavemet azalmasını sınırlamaları ve oluşabilecek büyük kayma deformasyonlarına karşı yeterli dirençte olmaları istenmektedir.

Prefabrike sistemlerin diğer yapım sistemlerine göre daha avantajlı hale gelebilmeleri bu tür sistemlerin proje safhasında çok iyi bir şekilde planlanmalarına bağlıdır.

Planlı ve dikkatli bir şekilde tasarlanmamış prefabrike yapı projeleri istenmeyen sonuçlarla karşılaşılmasına neden olmakta ve ekonomik olmaktan çıkmaktadır.

Bu tez çerçevesinde araştırılan konular ve yapılan araştırmalar sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- ▶ Prefabrike yapılarda birleşim bölgeleri normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti gibi iç kuvvetleri taşıyıcı elemanlar arasında aktarabilecek nitelikte tasarlanmalıdırlar. Ayrıca birleşim bölgelerinin dönme, deformasyon ve yer değiştirmeleri kabul edilebilir sınırlar içinde olmalı ve birleşen elemanlarla uyum göstermelidir.
- ▶ Birleşim bölgeleri sünek olarak tasarlanmalıdır. Bunun sonucunda birleşim bölgelerinin plastik kapasiteleri sonuna kadar kullanılarak deprem sırasında daha çok enerji yutmaları sağlanır.
- ▶ Prefabrike yapılarda birleşim bölgeleri dış yükler altında iki farklı şekilde davranış biçimi göstermektedirler. Birinci model “elastik süreklilik” modeli olup, göçme moduna panel ara yüzeyinin boyuna çatlaması veya birleşim bölgesindeki betonda meydana gelen basınç kırılmaları şeklinde ulaşılır. Pano birleşim bölgesi göçme anında elastik bölgededir ve göçme anına kadar panel elemanlarla birlikte monolitik bir davranış gösterir.

İkinci davranış modeli ise mafsallı birleşim modelidir. Bu davranış şeklinde birleşim bölgesi bir mafsal gibi davranır. Yani birleşim bölgesi rahatlıkla hareket edebilir. Göçme sırasında birleşim bölgesi plastik bölgededir. Bunun sonucunda bu davranış şeklinde birleşim bölgesi deprem esnasında göçme moduna kadar büyük enerji yutabilmektedir. Göçme, birleşim bölgesinde bulunan donatıların plastik özellik göstermesi sonucunda meydana gelir.

Bu tür davranış modelinde, göçme esnasında birleşim bölgesi plastik bölgede olmasına rağmen, panel elemanlar elastik bölgede bulunurlar. Böylece oluşan durum, mesnetlerle birbirine bağlanmış ve elastik sınırlar içinde deformasyon yapmış panel elemanlardan oluşmuş bir sisteme benzer.

Limit durumu rijit-plastik davranış olan bu sistemin hesapları plastik teori tarafından göz önüne alınmalıdır.

- Prefabrike panolu yapılarda ıslak birleşimler, kenetsiz (düz), basit kenetli ve kenetli olmak üzere üç farklı şekilde teşkil edilebilir. Bu üç farklı birleşim türü içinde en iyisi kenetli birleşimlerdir. Panel elemanların ara yüzeylerinde oluşturulan kenetler sayesinde kesme kuvveti transferi en iyi şekilde sağlanır. Bu tip birleşimlerin deprem bölgelerinde ve çok katlı prefabrike yapılarda kullanılmaları gerekmektedir. Kenetsiz ve basit kenetli birleşimler ise deprem tehlikesinin olmadığı bölgelerde veya az katlı yapılarda kullanılabilir.

Kenetsiz (düz) birleşimler; panel ara yüzeylerinde hiçbir düzenleme olmadığı için kesme kuvveti transferini yeterli düzeyde sağlayamazlar. Bu tür birleşim bölgelerinin dayanımları ile ilgili özellikler aşağıda verilmiştir.

- a) Kenetsiz birleşimlerde mesnet genişliğinin taşıma gücü üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Mesnet genişliği azaldıkça taşıma gücü artmaktadır.
- b) Birleşim bölgesindeki donatı sayısı arttıkça kenetsiz birleşimlerin kesme kuvveti taşıma gücü artmaktadır.
- c) Kenetsiz birleşimlerde düz yerine halkalı donatı kullanmak, birleşimin kayma dayanımını arttırdığı gibi, çekme gerilmeleri olması halinde panel elemanların birbirlerinden ayrılmalarını da engellerler.

Basit kenetli birleşimler birleşimin temas yüzeyini arttırdıkları için kenetsiz birleşimlere göre daha fazla kayma dayanımına sahiptirler. Düz ve basit kenetli birleşimler çekme gerilmelerinin olmadığı birleşim bölgelerinde tercih edilmelidirler.

Kenetli birleşimlerin dayanımını etkileyen faktörler aşağıda gösterilmiştir.

- a) Birleşim bölgesindeki betonun dökümü esnasında oluşan hava kabarcıkları birleşimin aderans kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır.
- b) Kenet şeklinin düzenlenmesinin, taşıma gücü üzerinde önemli etkileri bulunmamaktadır.
- c) Kenet boyutlarının artması halinde birleşimin kesme kuvveti taşıma gücü makul ölçülerde artmaktadır.
- d) Birleşim bölgesi genişliğinin kenetli birleşimlerin taşıma gücü üzerinde etkisi bulunmamaktadır.

- e) Birleşim bölgesinde ki betonunun mukavemetinin, panel elemanların beton mukavemetinden daha fazla olması taşıma gücünü arttırmaktadır.
- f) Panel elemanların kalınlığı azaldıkça taşıma gücü de azalmaktadır.
- g) Birleşim bölgesindeki donatı miktarının artması kesme kuvveti taşıma gücünü arttırmaktadır.
- h) Kenet derinliği ve kenet sayısı arttıkça taşıma gücü artmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] **Sırma, S.**, 2001. Prefabrike yapılarda taşıyıcı sistemler, birleşimler ve tasarım ilkeleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Nergis, K.C.**, 2003. Deprem bölgelerinde prefabrike betonarme yapıların tasarımı *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Ayaydın, Y.**,1989. Büyük açıklıklı prefabrike betonarme yapılar, Kurtiş Matbaası, İstanbul.
- [4] **Ayaydın, Y.**, 1987. Taşıyıcı duvar perdeli prefabrike yapılar, Yılmaz Ofset Matbaası, İstanbul.
- [5] **Freedman, S.**, 1999. Loadbearing Architectural Precast Concrete Wall Panels, *PCI Journal*, Chicago, IL.
- [6] **Priestly, M. J. N. and Lew, H. S.**, 1994. The Status of the U.S. Precast Seismic Structural Systems (PRESSS) Program, NIST SP 871 Technical Report.
- [7] **Özmen, G., Yüzügüllü, Ö., Zorbozan, M.**, 1997. Yeni Deprem Yönetmeliğinin Prefabrike Yapılar Bakımından İrdelenmesi, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/TR 97-006, İstanbul.
- [8] **TS-9967**, 1992. Yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve binalar -prefabrike betonarme ve öngerilmeli betondan- hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [9] **TS 7568 EN ISO 4172**, 2003. Teknik çizimler - yapı uygulama çizimleri- önyapımlı yapıların montaj çizimleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [10] **TS 500**, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [11] **Özden K.**, 1988. Betonarme ve Öngerilmeli Beton Prefabrike Taşıyıcı Eleman, Sistem ve Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Deprem Mühendisliği Türk Milli Komitesi, İstanbul.
- [12] **Özden K.**, 1997. Prefabrike İnşaatta Şartname Hükümleri ve Hesap Esasları, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/TR 97-009, İstanbul.

- [13] **Tezcan, S. ve Köylüoğlu, M. (Editörler)**, 1997. Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu, *Türkiye Deprem Vakfı*, TDV/TR 97-002, İstanbul.
- [14] **Bayülke, N.**, 1986. Depreme dayanıklı prefabrike yapılar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teknik Araştırma ve Uygulama Müdürlüğü, *Deprem Araştırma Bülteni*, Ankara, Sayı 54.
- [15] **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.
- [16] **Hartland, R.A.**, 1975. Design of Precast Concrete: an Introduction to Practical Design, Surrey University Press, London.
- [17] **Amerongen, V.**, 1967. Library Translation, International Recommendations for the Design and Construction of Large - Panel Structures, *Cement and Concrete Association*, London.
- [18] **Abdul Wahab, H.M.S and Sarsam, S.Y.H.**, 1988. Strenght of vertical plane joints between large, precast concrete panels, *The Structural Engineer*, Volume 66, No.14.
- [19] **Abdul Wahab, H.M.S and Sarsam, S.Y.H.**, 1991. Prediction of ultimate shear strenght of vertical joints in large panel structures, *ACI Structural Journal*, Volume 88, No.2.
- [20] **Frosch, R.J.**, 1999. Panel connections for precast concrete infill walls, *ACI Structural Journal*, Volume 96, No.4.
- [21] **Ghosh, S.K.**, 2001. Earthquake-Resistant Precast Buildings, MC Magazine Archive.
- [22] **Ashraf Habibullah , S.E.**, 2002. Physical Object Based Analysis and Design Modeling of Shear Wall Systems Using Etabs, Computers & Structures, Inc., Berkeley, California.
- [23] **Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, 1998. 2 Eylül 1997 Tarih ve 23098 mükerrer sayılı Resmi Gazete.

ÖZGEÇMİŞ

1 Eylül 1982 yılında İzmit’de doğan Çağatay Tümer lise öğrenimini Neşet Yalçın Süper Lisesi’nde tamamladı. Lisans öğrenimini 2000-2004 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde tamamlayan yazar, 2004 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans öğrenimine başladı. Kendisi halen Yapı Mühendisliği Programı’nda öğrenim görmektedir.