

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖN ÜRETİMLİ İSKELET SİSTEMLERİN
DÜNYADAKİ GELİŞİMİ VE DEPREME DAYANIKLI
TASARIM YAKLAŞIMLARI**

Mimar Sunay SEYDİOĞLU

**FBE Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Z. Canan Girgin

İSTANBUL, 2008

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTIMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Problemin Belirlenmesi	1
1.2 Amaç	1
1.3 Önem	1
1.4 Varsayım.....	2
1.5 Kapsam	2
1.6 Yöntem	2
2. ÖN ÜRETİMLİ SİSTEMLERİN GELİŞİMİ.....	3
2.1 Ön Üretimli Sistemlerin Tarihsel Gelişimi.....	3
2.2 Ön Üretimli Sistemlerle İlgili Durum Analizi.....	8
2.3 Ön Üretimli Sistemler.....	10
2.4 Ön Üretimli Sistemlerin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri	10
2.5 Ön Üretimli İskelet Sistemler	12
2.5.1 Ön üretimli İskelet Sistemlerde Üretim, Nakliye ve Montaj Süreçleri	13
2.5.1.1 Üretim.....	13
2.5.1.2 Nakliye.....	13
2.5.1.3 Montaj.....	13
2.6 Ön Üretimli Panel Sistemler	15
2.6.1 Panellerde Büyüklük.....	16
2.6.2 Panellerde Ağırlık.....	16
2.7 Hücre Sistemler	18
2.7.1 Kapalı Hücre Sistemler.....	19
2.7.2 Açık Hücre Sistemler.....	19
2.7.3 Karma Hücre Sistemler	20
2.8 Ön Üretimli Sistemlerin Sismik Açıdan Aktif Ülkelerdeki Gelişimi.....	20
2.8.1 İtalya	20
2.8.2 Kanada.....	21
2.8.3 ABD.....	23
2.8.4 Şili.....	25

2.8.5	Meksika	26
2.8.6	Japonya	26
2.8.7	Yeni Zelanda.....	28
2.8.8	Türkiye.....	30
3.	ÖN ÜRETİMLİ SİSTEMLERİN DEPREM SIRASINDA UĞRADIĞI HASAR DURUMLARI	32
3.1	Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı	32
3.1.1	Depreme Dayanıklı Ön Üretimli İskelet Sistem Tasarımı.....	33
3.1.2	Ön Üretimli İskelet Sistemlerin Deprem Etkisi Altındaki Davranışları.....	33
3.2	Ön Üretimli Sistemlerin Geçmiş Büyük Depremlerdeki Hasar Durumları.....	36
4.	ÖN ÜRETİMLİ SİSTEMLERDE BİRLEŞİM DETAYLARI.....	53
4.1	Ön Üretimli İskelet Sistem Elemanları Arasındaki Birleşim Detayları	54
4.1.1	Kolon-Temel Birleşimi	55
4.1.2	Kolon-Kolon Birleşimi	61
4.1.3	Kolon-Kiriş Birleşimi	65
4.1.4	Kiriş-Kiriş Birleşimi	75
5.	ARD-GERME YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN ÖN ÜRETİMLİ İSKELET SİSTEM ELEMANLARININ SİSMİK ETKİLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI. 79	
5.1	Ard-Germeli Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Sismik Etkiler Altındaki Davranışı	79
5.1.1	NIST Kapsamında Yürütülen Deneysel Çalışmalar	81
5.1.2	PRESSS Programı Kapsamında Yürütülen Deneysel Çalışmalar	90
5.2	Ard-Germe Yöntemi İle Birleştirilen Beton Duvar Panellerin Sismik Etkiler Altındaki Davranışı.....	93
5.2.1	Aderansız Ön Üretimli Ard-Germe Beton Duvarların Monotonik Artan Yatay Yükler Altındaki Davranışı	94
5.2.2	Tasarımda Dikkat Alınacak Bazı Özellikler.....	99
5.3	Dünyadaki Karma Birleşim Yöntemi İle Uygulanmış Ön Üretimli İskelet Sistem Yapı Örnekleri	107
6.	SONUÇ.....	112
	KAYNAKLAR.....	114
	EKLER	120
	Ek 1 Rötne Yapmayan Harç.....	121
	ÖZGEÇMİŞ.....	123

SİMGE LİSTESİ

b	Perde genişliği
L	Perde boyu
I_w	Duvar uzunluğu
t_w	Duvar kalınlığı
$G_{\max, \min}$	Eksenel kuvvet düzeyi
f_c	Beton silindir basınç dayanımı
f_{cc}	Betonun üç eksenli basınç dayanımı
f_{py}	Ard-germe donatısı akma dayanımı
f_{pu}	Ard-germe donatısı kopma dayanımı
f_{pi}	Ard-germe donatısı gerilme düzeyi
f_y	Doğal sertlikte donatı çeliğinin akma dayanımı
f_u	Doğal sertlikte donatı çeliğinin kopma dayanımı
ρ_p	Ard-germe donatı oranı
ρ_s	S420a donatı oranı
d_p	Ard-germe donatısı çapı
A	Enkesit alanı
A_s	Doğal sertlikte donatı toplam alanı
A_p	Ard-germe donatısı toplam alanı
ρ_{sp}	Spiral donatı hacimsel oranı
d_{sp}	Spiral donatı çapı
s_{sp}	Spiral donatı adım aralığı
D_{sp}	İki spiral arasındaki mesafe (merkezden merkeze)
l_p	Aderanssız kısmın boyu
H	Yükseklik
F	Kuvvet
P	Yük
θ	Yerdeğiştirme açısı
Δ	Yerdeğiştirme oranı
δ	Yerdeğiştirme
M_w	Moment büyüklüğü
M_s	Yüzey dalgası cinsinden büyüklük
M_b	Cisim dalgası cinsinden büyüklük
a	Yer ivmesinin maksimum yatay bileşeni
μ	Süneklik katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
AJI	Architectural Institute of Japan
ASCE	American Society of Civil Engineers
DAE	Deprem Araştırma Enstitüsü
FIP	Federation for Prestressing
ISES	International Special Events Society
IKEA	Ingvar Kamprad, Elmtaryd, Agunnaryd
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
NZS	Standards of New Zealand
NHESS	Natural Hazards and System Sciences
NIST	National Institute of Standards and Technology
PRESSS	Precast Concrete Seismic Structural System
PCI	Precast/Prestressed Concrete Institute
RYH	Rötre Yapmayan Harç
SSCB	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
TPB	Türkiye Prefabrik Birliği
UBC	Uniform Building Code
UCSD	University of California, San Diego
UK	United Kingdom
USSR	Union of Soviet Socialist Republics

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Freyssinet tarafından geliştirilen ankraj elemanı [1].....	4
Şekil 2.2 Freyssinet'in ön-germe ve ard-germeyi birlikte uyguladığı 2. Dünya Savaşı sirasındaki bir çatı kemeri uygulaması [1].....	4
Şekil 2.3 Ön üretimli ön-germe uygulanmış boşluklu döşeme elemanları (PCI, 2005).....	5
Şekil 2.4 Philadelphia'daki Walnut Lane Köprüsü [2].....	5
Şekil 2.5 Hawaii'de inşa edilmiş ilk çok katlı konut yapısı, Diamond Head [3]	6
Şekil 2.6 MGM Hotel & Casino, Las Vegas, 1992 (Structure Magazine, 2005), [4]	7
Şekil 2.7 Dünyadaki en hızlı ön üretimli beton projelerden biri, AFPD LCD Fabrikası [5]	7
Şekil 2.8 1988 yılındaki çok katlı ön üretimli sistemlerin a) Tüm inşaat sektöründeki payı b) Konut sektörü içindeki payı c) Konut sektörü dışındaki alanlardaki payı (Elliott, 2000).....	8
Şekil 2.9 Ön üretimli sistemlerin ülkelere göre gelişimi (PCI, 2000'den değiştirerek).....	9
Şekil 2.10 Ön üretimli sistem elemanları (Lago, 2002)	10
Şekil 2.11 Ön üretimli iskelet sistem elemanları [7]	12
Şekil 2.12 Ön üretimli iskelet sistem elemanlarının taşınması [8].....	13
Şekil 2.13 Ön üretimli iskelet sistem elemanlarının montaj aşaması [9]	14
Şekil 2.14 Düşey Montaj	14
Şekil 2.15 Yatay Montaj.....	15
Şekil 2.16 Panellerde büyüklük a) Küçük paneller b) Büyük paneller [11].....	16
Şekil 2.17 Panellerin taşınması [11].....	17
Şekil 2.18 Panellerin montajı [11].....	18
Şekil 2.19 Habitat 67, Montreal (Eşsiz, 2001)	18
Şekil 2.20 Kapalı hücre sistem (Koncz, 1979).....	19
Şekil 2.21 Kapalı hücre sistem ünitenin taşınması [12]	19
Şekil 2.22 Açık hücre sistem (Koncz, 1979).....	19
Şekil 2.23 Karma hücre sistem (Koncz, 1979).....	20
Şekil 2.24 Taşıyıcı sistemi çelik olup duvarlar ön üretimli büyük boy panel sistem elemanlardan üretilen yapı, İtalya [13]	20
Şekil 2.25 Grosvenor House, Winnipeg, Kanada [11]	21
Şekil 2.26 Boşluklu paneller [11]	21
Şekil 2.27 Calgary'deki Bromley bölgesindeki 31 katlı apartman [11]	22
Şekil 2.28 Ön üretimli panel sistemler ile üretilen okul binası [11].....	22
Şekil 2.29 Colombia Üniversitesi Vancouver, Kanada [11]	22
Şekil 2.30 Walnut Lane Köprüsü, Philadelphia, ABD [2]	23
Şekil 2.31 Paramount apartman yapısı, San Francisco, California (Englekirk, 2002).....	24
Şekil 2.32 Ön üretimli sistem ile inşa edilmiş hastane binası [14].....	24
Şekil 2.33 Ön üretimli sistem ile inşa edilmiş otel binası [14].....	24
Şekil 2.34 Ön üretimli panel sistem ile üretilmiş yapı, Şili [15]	25
Şekil 2.35 Ön üretimli hücre sistem ile üretilmiş yapı, Şili [16].....	25
Şekil 2.36 Meksika'da ön üretimli sistem ile üretilen yapı [17]	26
Şekil 2.37 Japonya'da ön üretimli sistem ile üretilen konutlar (ISES, 2005)	27
Şekil 2.38 Ön üretimli iskelet sistem ile üretilmiş yapı, Ohkawabata Tower, Tokyo (Structure magazine, 2005).....	27
Şekil 2.39 Ön üretimli iskelet sistem ile üretilmiş yapı, Ohkawabata River City 21 Tower, Tokyo (Structure magazine, 2005)	27
Şekil 2.40 Bacchus Apartmanı, Browns Bay; Knox Street Car Park, Hamilton [18]	28
Şekil 2.41 St. Peters Koleji, Vero Centre [18].....	29
Şekil 2.42 Yeni Zelanda'da üretilen çeşitli ön üretimli sistem elemanlarından görüntüler [18].....	29
Şekil 2.43 Ön üretimli sistem ile üretilmiş tek katlı endüstri yapısı örnekleri [19]	31

Şekil 2.44 Çok katlı inşa edilen yapılar a) Panel sistem ile inşa edilen yapı b) Hücre sistem ile inşa edilen yapı [20].....	31
Şekil 2.45 Türkiye’de ard-germe yöntemi ile inşa edilmiş ön üretimli yapı örnekleri [20].....	31
Şekil 3.1 Kolonda plastik mafsal oluşması (Paksoy, 1993)	34
Şekil 3.2 Düğüm noktası birleşimlerinin yetersiz olma durumu [21]	34
Şekil 3.3 Kolonda meydana gelen basınç çatlakları (Bayülke, 1990).....	34
Şekil 3.4 Kolonda meydana gelen burulma çatlakları (Bayülke, 1990).....	35
Şekil 3.5 Kolonda meydana gelen kesme çatlakları (Bayülke, 1990).....	35
Şekil 3.6 Yatay yükler etkisi altında kirişte oluşan çatlaklar a) Basınç çatlakları b) Kayma çatlakları c) Çekme çatlakları (Bayülke, 1990)	35
Şekil 4.1 Ön üretimli iskelet sistem elemanları arasındaki birleşimler a) Kolon-temel birleşimi b) Kolon-kolon birleşimi c) Kolon-kiriş birleşimi d) Kiriş-kiriş birleşimi (Ghosh, 1997)	54
Şekil 5.1 Tersinir yükler altında a) Monolitik sistem b) Ard-germe sistem c) Karma sistemin yatay yük - yerdeğiştirme ($P-\delta$) değişimi (Hawileh, 2005)	80
Şekil 5.2 Aderanssız ard-germeli kolon-kiriş elemanlardan oluşan sistemin a) Birleşim detayı b) Sistemin ikili doğrusal yük-yerdeğiştirme eğrisi (Sheikh, 2000).....	80
Şekil 5.3 Ön üretimli karma sistemin a) Tipik detayı b) Kesit (Stanton vd., 1997).....	81
Şekil 5.4 Geliştirilen tipik bir birleşimin donatı yerleşiminin perspektif görünümü (PCI, 2002)82	
Şekil 5.5 Elemanların yarı birleşmiş üç boyutlu görünümü (Hawileh, 2005).....	82
Şekil 5.6 4 nolu modeldeki aderanssız çelik tüp içindeki donatıların yerleşimini gösteren detay (Stone vd., 1995)	88
Şekil 5.7 Örnek modellerin enerji yutma kapasitesi a) 1.Deney Seti b) 2.Deney Setindeki tasarımların enerji yutma kapasitesinin toplu gösterimi (Stone vd., 1995)	88
Şekil 5.8 Örnek modeller üzerinde yapılan test sonuçları a) Yerinde dökme betonarme birleşim üzerinde uygulanan test b) Ön üretimli karma birleşim üzerinde uygulanan test [29].....	90
Şekil 5.9 Sismik testler uygulanmak üzere inşa edilmiş % 60 ölçekli 5 katlı model (UCSD, <i>University of California, San Diego</i>) (Priestley vd., 1999)	91
Şekil 5.10 Yatay birleşim boyunca ön üretimli panel sistemin a) Eğilme tipi b) Kayma tipi davranışı (Kurama vd., 1996)	93
Şekil 5.11 Aderanssız ard-germeli ön üretimli beton duvar (Kurama vd., 1996)	94
Şekil 5.12 Tipik deney düzeneği (Holden vd., 2003’den değiştirilerek).....	94
Şekil 5.13 Aderanssız ard-germe uygulanmış ön üretimli duvarın taban kesme kuvveti-tepe yatay yerdeğiştirmesi değişim zarfı ve aderanslı uygulama ile karşılaştırılması95	
Şekil 5.14 Sistemin tipik yerleşim planı (Kurama, 2005)	96
Şekil 5.15 Aderanssız ard-germeli ön üretimli beton duvar alternatifleri (Kurama vd., 2002)97	
Şekil 5.16 Aderanssız olarak uygulanmış ard-germe işlemi sonucunda ön üretimli duvar alternatiflerinin taban kesme kuvveti-tepe yatay yerdeğiştirmesi oranı değişimi (Kurama vd., 2002)	98
Şekil 5.17 Tersinir yükler altında a) Yerinde dökme perde b) Ard-germeli beton duvar c) Ard-germeli ön üretimli karma beton duvar’ın yatay yük-tepe yerdeğiştirmesi değişimi (Holden vd., 2003)	98
Şekil 5.18 Gerilme-şekil-değiştirme diyagramları a) Beton b) S420a eşdeğeri donatı c) Ard-germe donatısı (Paulay ve Priestley, 1992).....	99
Şekil 5.19 Aderanssız ard-germeli karma sistem beton duvar (Kurama, 2005).....	99
Şekil 5.20 Sistemin üç boyutlu tipik detayı.....	100
Şekil 5.21 Duvar panelinin tasarımında, duvarın yapısal özelliklerinin a) Ard-germe donatısının yerleşimi b) Aderanssız ard-germe donatısının uzunluğu c) Ard-germe donatısının basınç gerilmesi d) Düşey yükten dolayı temelle birleşim bölgesindeki duvarda oluşan aksel kuvvet e) Betonun silindirik basınç	

dayanımı f) Spiral donatının çapı g) Ard-germe donatısının toplam alanı h) Duvar panelinin kalınlığı i) Duvar panelinin uzunluğu açısından etkisi (Kurama vd., 1999)	103
Şekil 5.22 Paramount apartman yapısı [29]	107
Şekil 5.23 NIST'te geliştirilen ve Paramount yapısında uygulanan karma birleşim detayı (Cheok vd., 1998)	108
Şekil 5.24 Donatı yerleşimleri a) Kolon içerisindeki ard-germe halat kanalı (ortada, aderanssız birleşim) ve diğer ard-germe donatı kanalları (aderanslı birleşim) b) Kirişte Dywidag® manşonu kullanımı (Englekirk, 2002).....	108
Şekil 5.25 a) Kenar b) Köşe kolon-kiriş birleşim detayları (Englekirk, 2002)	108
Şekil 5.26 Stanford Mall Parking Structure, (Palo Alto, California) [29].....	109
Şekil 5.27 Pacific Plaza, (Daly City, California) [29]	109
Şekil 5.28 Westside Media Center, (West Los Angeles, California) [29].....	110
Şekil 5.29 Ard-germeli birleşim yöntemiyle inşa edilen çok katlı iskelet sistem yapısı [20]...	110
Şekil 5.30 Ön üretimli ard-germe birleşim yöntemi uygulanmış kolon-kiriş birleşim detayı [20].....	110
Şekil 5.31 IKEA, Bayrampaşa, İstanbul [20]	111
Şekil 5.32 IKEA kompleksinin montaj süreçleri [20]	111

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Avrupa’da kullanılan ön üretimli beton döşeme sistemlerinin özellikleri (Elliott, 2000’den değiştirerek)	9
Çizelge 3.1 27 Mart 1964 Alaska depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar.....	36
Çizelge 3.2 28 Temmuz 1976 Tangshan depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar38	
Çizelge 3.3 4 Mart 1977 Romanya depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar	40
Çizelge 3.4 7 Aralık 1988 Ermenistan depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar42	
Çizelge 3.5 17 Ocak 1994 Northridge depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar	44
Çizelge 3.6 17 Ocak 1995 Kobe depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar	46
Çizelge 3.7 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar	48
Çizelge 3.8 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara (Kocaeli) depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar	51
Çizelge 4.1 Kolon-temel birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği	55
Çizelge 4.2 Kolon-temel birleşiminde elastik ankastre birleşimler.....	56
Çizelge 4.3 Kolon-temel birleşiminde moment aktaran (ankastre) birleşim tekniği.....	60
Çizelge 4.4 Kolon-kolon birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği	61
Çizelge 4.5 Kolon-kolon birleşiminde yarı rijit birleşim tekniği	62
Çizelge 4.6 Kolon-kolon birleşiminde moment aktaran birleşim tekniği	65
Çizelge 4.7 Kolon-kiriş birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği.....	65
Çizelge 4.8 Kolon-kiriş birleşiminde yarı rijit birleşim tekniği	70
Çizelge 4.9 Kolon-kiriş birleşiminde moment aktaran birleşim tekniği	72
Çizelge 4.10 Kiriş-kiriş birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği.....	75
Çizelge 4.11 Kiriş-kiriş birleşiminde yarı rijit birleşim tekniği	75
Çizelge 4.12 Kiriş-kiriş birleşiminde moment aktaran birleşim tekniği	77
Çizelge 5.1 Karma sistem birleşimlerin tersinir yükler altındaki davranış açısından karşılaştırılması	84
Çizelge 5.2 Karma sistem birleşimlerin enerji yutma kapasiteleri-yerdeğiştirme değişimi açısından karşılaştırılması	86
Çizelge 5.3 PRESSS Programı kapsamında geliştirilen birleşim detayları.....	92
Çizelge 5.4 İncelenen duvar modellerinin sismik özellikleri (Kurama vd., 2002).....	96
Çizelge 5.5 Yerinde dökme ve ön üretimli ard-germeli perdelerin boyutlar ve tersinir yükler altındaki davranış açısından karşılaştırılması	104
Çizelge 5.6 Yerinde dökme ve ön üretimli ard-germeli perdelerin boyutlar ve yatay yük altındaki davranış açısından karşılaştırılması	105
Çizelge 5.7 Yerinde dökme perde ve ön üretimli ard-germeli karma duvar sistemlerinin karşılaştırılması (Holden vd., 2003’den değiştirerek).....	106

ÖNSÖZ

Bu çalışmayı gerçekleştirmemde benden desteğini ve inancını esirgemeyen, her zaman yanımda olduklarını hissettiren aileme, yardımlarından dolayı arkadaşlarım Melda Yalvaç ve Ömer Yılmaz'a, özellikle danışmanlığı ve anlayışı için hocam, Yrd. Doç. Dr. Z. Canan Girgin'ne teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2008,

Sunay Seydioğlu

ÖZET

Ön üretimli elemanlar ile inşa edilmiş yapılar, İkinci Dünya Savaşından sonra özellikle Doğu Avrupa ülkeleri, Japonya, ABD ve SSCB’de yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Söz konusu yapılar, tümü veya bir bölümü sismik açıdan aktif bu ülkelerde meydana gelen depremlerden, değişik seviyelerde etkilenmiştir. Depremlerden elde edilen deneyimler, bu yapılarda en kritik noktaların birleşim bölgeleri olduğunu göstermiştir. Ön üretimli sistemlerin depreme dayanıklı olması, büyük ölçüde birleşim bölgelerinin depreme dayanıklı olmasına bağlıdır. Northridge ve Kobe depremlerinde oluşan hasarlar, özellikle sismik açıdan aktif bölgelerdeki taşıyıcı sistem tasarımında yapısal bütünlüğün sağlanmasının ne denli önemli olduğunu ortaya koymuştur.

Bu tez çalışmasının çıkış noktası ağırlıklı olarak, ülkemizde ve dünyada daha fazla uygulama alanı bulan, ön üretimli iskelet sistemlerin; gelişimi, mevcut durumu ve düğüm noktalarının deprem dayanımının artırılması üzerine son dönemdeki geliştirme çalışmaları üzerine odaklanmıştır. 1990’lardan başlayarak ön üretimli iskelet sistemlerde; sismik performansı yüksek, moment aktaran birleşimlerin geliştirilmesi üzerine yoğun deneysel araştırmalar yapılmıştır. Burada temel amaç, yerinde dökme betonarme sistemlere benzer enerji yutma kapasitesi sağlamak, bunun yanı sıra çok daha az hasar gören ve kolaylıkla onarılabilen birleşimler yaratmaktır. Ön üretimli iskelet sistem elemanlarının birleşimlerinin sabit, hareketli yükler ve deprem yükleri altında moment aktarma kapasitesini arttırmak için ard-germe donatısı ile doğal sertlikte donatı çeliğinin bir arada kullanıldığı karma birleşimler geliştirilmiştir. Bu birleşimlerde ard germe donatısı sabit, hareketli yükler ve deprem yüklerine karşı doğrusal elastik bölgede kalarak kayma dayanımı sağlarken, doğal sertlikte donatı çeliği de akarak sistemin enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır. Kiriş-kolon birleşim deneylerinden elde edilen sonuçlar, deprem performansı yetersiz olan ön üretimli beton paneller ile üretilen perde duvarlara da ışık tutmuş, benzer özellikte ard-germeli ön üretimli perde duvarların geliştirme çalışmaları başlamıştır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde ön üretimli sistemlerin tarihsel gelişimi, sismik açıdan aktif bölgelerdeki uygulamaları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde depreme dayanıklı ön üretimli iskelet sistem tasarımı ve geçmişteki büyük depremlerde ortaya çıkan hasarlar resimlerle desteklenerek açıklanmıştır.

Ön üretimli iskelet sistemlerde uygulanan birleşim detayları ile bu detayların olumlu ve olumsuz özellikleri Dördüncü Bölümün konusunu oluşturmuştur.

Ard-germe yöntemi ile birleştirilen ön üretimli iskelet sistem elemanlarının sismik etkiler altındaki davranışı Beşinci Bölüm’de incelenmiştir. Bu bölümde son dönemde depreme dayanıklı ön üretimli iskelet sistem tasarımı için geliştirilen ard-germeli karma birleşim yönteminin deney süreci ve geliştirilen birleşim tiplerinin tersinir yükler altındaki performansları yerinde dökme betonarme sistemlerle karşılaştırılarak incelenmiştir.

Sonuç bölümünde ise, mevcut ve son dönemde geliştirilen ön üretimli iskelet sistemlerin deprem etkisi altındaki davranışlarının değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Ön üretim, moment aktaran iskelet sistem, ard-germe, karma birleşim, deprem

ABSTRACT

Precast systems, have been started to be used extensively after Second World War especially in East European countries, Japan, USA and USSR. Precast systems were affected by the strong earthquakes in these seismically active countries. Lessons obtained from the earthquakes have indicated that the most critical points of these systems are the connections. In other words, the resistance to earthquake of a precast system mainly depends on the resistance to earthquakes of connections. Indeed, the recent disasters in Northridge and Kobe betrayed the requirement to a structural design providing structural integrity against seismic activity.

This study addresses the historical development and current applications of precast frame systems which have wider applications than other precast structure types; and the enhancements in connections of these systems. Since early 1990s intensive experimental investigations have been performed to develop the innovative connections which will provide the integrity of the structure against seismic activity. The main aim of this research for precast frame structures is further to attain the seismic performance similar to reinforced concrete frame systems under moderate to strong earthquakes. Meanwhile in this new competitive system, to reduce damage and to easily repair after a strong earthquake are possible. In this scope the hybrid connections, whose main components are high strength post-tensioned steel and mild steel, were developed by combining both elastic and inelastic action at the connections for precast moment resistant frames to resist the dead, live and seismic loads. While post-tensioned steel provides high shear strength and self-centering capability to the connection to resist the dead, live and seismic loads mild steel would be utilized to serve as an seismic energy dissipater by yielding. This new technology was initially developed for beam-column connections, subsequently, it was extended and adapted to precast shear walls.

The scope, importance, method and assumptions of this study are introduced in the First Section.

The Second Section establishes the history of the precast systems, the development of precast frame systems in the seismically actives countries.

Precast systems suffering damages during earthquakes are presented and shown in the Third Section.

In the Fourth Section the connection details applied in precast frame systems up to the present, the positive and negative features of these details are emphasized.

The Fifth Section covers the experimental studies on innovative precast hybrid connections to provide the integrity of the structure and their energy absorbing capacities under earthquake loading. This section includes two types of connection: beam-columns and shear walls. The nowadays applications of precast structures with hybrid connections under consideration are displayed as well.

The past and present status of precast frame systems; experimental studies and results rising from the investigations on innovative post-tensioned precast moment resisting systems are presented in the Conclusion Section.

Keywords: Precast, moment resisting frame, post-tensioned, hybrid connection, earthquake

1. GİRİŞ

1.1 Problemin Belirlenmesi

Dünyada, endüstri devrimi sonrasında hızlı nüfus artışı ile birlikte artan konut açığı, üretimde hız gereksinimini önemli kılmıştır. Bu durum, ön üretimli sistemleri daha çekici hale getirmiştir. Ancak ön üretimli sistemler hem üretim, taşıma ve montaj sırasında hem de kullanım aşamalarında işlevsel ve estetik bazı sorunları beraberinde getirmiştir.

Bu sorunlar esas olarak,

- Ülkelerin sosyo-ekonomik durumu,
- Ön üretimli sistemler ile ilgili standartların yetersiz olması veya hiç bulunmaması,
- Ön üretimli sistem birleşimlerinin deprem etkisi altındaki davranışlarının deneysel olarak yeterince incelenmemiş olması,
- Uygulayıcı firmaların bilgi ve deneyim eksikliğinden

kaynaklanmaktadır.

Ön üretimli sistem elemanları, fabrikada üretilip şantiyede montajı yapılmaktadır. Hem tasarım aşamasında yapılan hesaplar hem de montaj sürecinde birleşimler, deprem davranışı göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Meydana gelmiş birçok büyük depremde (1964 Alaska Depremi, $M_w=9.2$, 1994 Kaliforniya-Northridge Depremi, $M_w=6.7$ v.b.) birleşimler uygun şekilde yapılmadığı için ciddi can ve mal kayıpları olmuştur. Oysaki sismik açıdan aktif bölgelerde enerji yutma kapasitesi yüksek birleşimlerin tasarlanması, deneylerle güvenilirliğinin ispatlanması, ayrıca kolay uygulanabilir ve ekonomik olması gerekmektedir.

1.2 Amaç

Bu çalışmanın amacı, 1990'lı yıllara kadar inşa edilmiş ön üretimli iskelet sistemlerin olumlu ve olumsuz özelliklerini incelemek ve yeni geliştirilen birleşim detayları ile bu detayların deprem performanslarını araştırmaktır.

1.3 Önem

Dünyadaki bir çok ülkede ön üretimli iskelet sistemler, malzemedan zamana kadar birçok konuda tasarruf sağlamaktadır. Kaynakları sınırlı olan ülkeler için bu konu oldukça önemlidir.

Aynı zamanda deprem kuşağında yer alan ülkeler için bu sistemleri depreme dayanıklı olarak üretmek yaşamsal öneme sahiptir.

1.4 Varsayım

Ön üretimli iskelet sistemlerde, birleşimlerin deneysel çalışmaların desteğiyle depreme dayanıklı hale getirilmesi ve bu sistemlerin üretim, taşıma ve montaj ile bütünleştirilmesi sonucunda kısa zamanda depreme dayanıklı yapılar oluşturulabilir. Bu yaklaşım yapı sektöründe üretimin hız kazanması, etkin bir şekilde yürütülmesi ve ekonominin olumlu yönde etkilenmesini sağlayabilir. Ayrıca bu çalışmada, dünyadaki ön üretimli sistem uygulamaları ve deprem etkisi altındaki davranışlarının incelenmesi, uygulama aşamasında ve deprem sonrasında ortaya çıkabilecek problemlerin çözülmesi açısından iyi bir kaynak oluşturabilir.

1.5 Kapsam

Bu çalışma, dünyadaki ön üretimli sistemler hakkında genel bilgileri, deprem etkisi altındaki hasar durumlarını, birleşim detaylarını, geliştirilen ard-germeli birleşim yöntemleri ve sismik davranışlarını kapsamaktadır.

1.6 Yöntem

Öncelikle ön üretimli sistemler ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve dünyadaki gelişimleri örneklerle açıklanmıştır. Bu sistemler ile üretilmiş yapıların büyük depremler sonrasındaki hasar durumları karşılaştırılmış, uygulanan birleşim detayları ve bu detayların olumlu ve olumsuz özellikleri üzerinde durulmuştur. Ardından özellikle sismik açıdan aktif bölgelerde uygulanmak üzere geliştirilen ard-germe yöntemleri baz alınıp karakteristik özellikleri, yapılan deneysel çalışmalarla desteklenerek anlatılmıştır.

2. ÖN ÜRETİMLİ SİSTEMLERİN GELİŞİMİ

2.1 Ön Üretimli Sistemlerin Tarihsel Gelişimi

1850 yılında Fransa'da Joseph Monier ilk defa betonu donatı ile güçlendirmiştir. Kullandığı hasır tipi donatı ile saksılar, tüpler, su tankları ve heykeller üretmiştir. Bu, ön üretimli betonun ilk kullanım alanı olmuştur (Sheppard ve Phillips, 1989).

Betonda ön-germe uygulamasının ilk ne zaman kullanıldığı kesin olarak bilinmemektedir. Bilinen eski tarih olan **1886** yılında P. H. Jackson, çelik çubukları, ürettiği beton kemer ve suni taşların içinde açılan boşluklardan geçirip, germek ve ankre etmek sureti ile elemana dışarıdan basınç uygulamıştır, bu işlem betonda ön-germenin bilinen ilk uygulamasıdır.

1888 yılında Almanya'da C. W. Doehring, ön-germeli ürettiği döşemenin patentini almıştır.

İlk ön-germeli beton uygulamaları çok başarılı olamamıştır. O dönemlerde beton dayanımı düşük olduğundan, betonun zaman içerisinde rötre (*shrinkage*) ve sünme (*creep*) şekilde değişimleri nedeni ile kısılması sonucu, düşük ön-germe kuvvetleri ve düşük çelik dayanımları ile uygulanmış ön-germe kuvveti tamamen kaybolmaktadır. Bu nedenle ön-germeli beton, daha yüksek dayanımlı beton ve yüksek kalitede çeliğin kullanılmaya başlayacağı 20.yy'ın ilk çeyreğine kadar gelişme gösterememiştir (Sheppard ve Phillips, 1989).

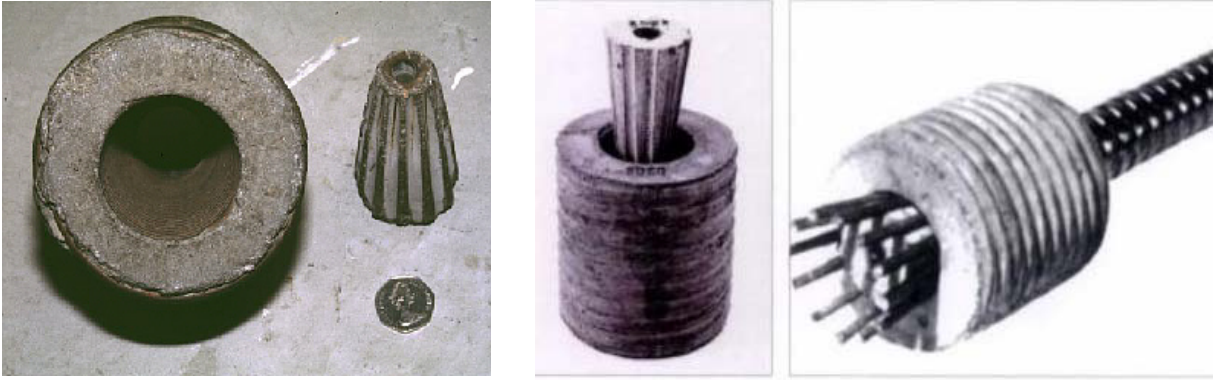
1908 yılında Norveçli J. Lund ve Amerikalı C.R. Stainer, betona, sünme ve rötresini tamamladıktan sonra, yeniden germe işlemi uygulanmasını (ard-germe) önermişlerdir.

1925 yılında ABD'de R.E. Dill, beton dayanımını kazandıktan sonra yüksek dayanımlı donatılar ile germe işlemi gerçekleştirilmeyi önermiştir. Beton yeterli dayanımı kazandıktan sonra kanallardan geçirilen donatıya aderanssız germe işlemi uygulamıştır. Bu işlem *ard-germe*'nin ilk uygulamasıdır. Ancak yüksek dayanımlı donatı ekonomik olmadığı için kullanımı yaygınlaşamamıştır. Betonda ard-germe uygulaması ancak 1950'li yıllardan sonra gelişim göstermiştir.

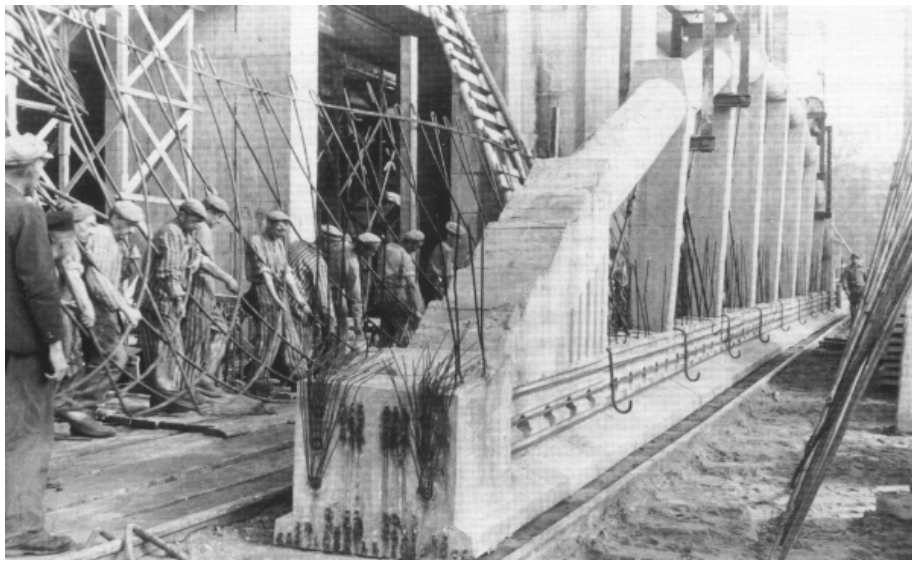
1930-1940 döneminde Fransa'da E. Freyssinet yüksek dayanımlı harç ve yüksek dayanımlı çelik kullanarak ilk önemli ön-germe uygulamasını yapmıştır. Beton boru içinden geçirdiği piyano tellerine ön-germe uygulayarak telgraf direkleri üretmiştir. Bu da sünme ve rötre probleminin aşılmasında bir dönüm noktası olmuştur. Aynı zamanda betonda sünme üzerine deneysel ve teorik araştırma yapan ilk kişidir. İlk kez kendisinin geliştirdiği ve patentini aldığı

(1939) ankraj elemanı (Şekil 2.1) ile, C30-40 betonu ve 1500-2500 MPa dayanımlı çelik kullanarak, akma dayanımının $\sim\%$ 70'i kadar ön-germe kuvveti ile, ön-germe ve ard-germeli sistemler üretmiştir (Şekil 2.2). *Ön-germeli betonun babası* olarak da bilinir. Freyssinet'in öncü çalışmalarına karşın, ön-germeli sistemin pratikte uygulanması konusunda Alman E. Hoyer ün kazanmış (1938) (Sheppard ve Phillips, 1989), uzun ön-germe yatakları ile üretim tekniğini geliştirmiştir.

E. Freyssinet ve G. Magnel tarafından bazı uygulamalarda ard-germe donatısının kirişin tarafsız eksenini boyunca yerleştirilmesi kabul görmüş ve geniş çapta birçok kişi tarafından uygulanmıştır. Özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında Freyssinet'in ön-germeli beton ve yapı malzemeleri üzerinde yaptıkları çalışmalar yol gösterici nitelikte olmuştur.



Şekil 2.1 Freyssinet tarafından geliştirilen ankraj elemanı [1]



Şekil 2.2 Freyssinet'in ön-germe ve ard-germeyi birlikte uyguladığı 2. Dünya Savaşı sırasındaki bir çatı kemeri uygulaması [1]

1934 yılında Otto Kuen isimli Alman mühendis sürekli formda boşluklu döşeme elemanı üretecek bir makine geliştirmiştir. Bu makinenin patentini Otto Kuen'den alan Henry Nagy 1952'de ilk sürekli formda ön-germe boşluklu döşeme elemanların (*spancrete*) seri üretimine Wisconsin'de başlamıştır (Şekil 2.3) (PCI, 2005).



Şekil 2.3 Ön üretilmiş ön-germe uygulanmış boşluklu döşeme elemanları (PCI, 2005)

Doğrusal yerleştirilen ön-germe halatları ABD'de ilk defa eğrisel formda yerleştirilmiş ve başlıca üretimi *Preload Company* kapsamında gerçekleştirilmiştir. 1935-1953 yılları arasında bu sistem ile 700 civarında dairesel su tankı üretilmiştir (Sheppard ve Phillips, 1989).

1949 yılında ilk büyük doğrusal kesitli ön-germeli beton ile *Walnut Lane Köprüsü* (Philadelphia, ABD) inşa edilmiştir (Şekil 2.4). 48m uzunluğunda ard-germe donatısı Magnel yöntemiyle ankre edilmiştir. I kesitli kirişler üretildikten sonra bırakılan boşluklardan ard-germe uygulanmıştır. Bu üretim tarzı başarılı bulunmuş ve ön üretilmiş elemanlar üreten küçük fabrikalar kurulmuştur. Bu fabrikalarda boşluklu döşeme elemanları, dikdörtgen, I, T kirişler ve kazık elemanlar üretilmiştir.



Şekil 2.4 Philadelphia'daki Walnut Lane Köprüsü [2]

1950 yılında ilk olarak *Arroyo Seco Footbridge* köprüsü (Pasadena, California) ön-germeli olarak inşa edilmiştir. Ön-germe donatısı kirişin altına ve üstüne ankre edilmiş ve bu yöntem oldukça kabul görmüştür.

1951 yılında, ön-germeli kirişler Pennsylvania (Hershey, ABD) yakınındaki 7m yüksekliğindeki bir köprünün üretiminde kullanılmıştır.

1952 yılında FIP (*Federation for Prestressing*) Avrupa'da kurulmuştur.

1954 yılında, ön-germe sistem ile inşa edilmiş ilk demiryolu köprüsü Burlington'da (ABD) inşa edilmiştir.

1954 yılında PCI (*Prestressed Concrete Institute*) kurulmuştur.

1956-1957 yılları arasında ilk çok katlı ön üretimli ön-germeli beton yapı (*Diamond Head*) konut yapısı olarak Hawaii'de inşa edilmiştir (Şekil 2.5). 14 katlı bu yapı ön-germeli I kirişlerden ve yerinde dökme döşemelerden oluşmaktadır.



Şekil 2.5 Hawaii'de inşa edilmiş ilk çok katlı konut yapısı, Diamond Head [3]

Avrupa ülkelerinde, gerek malzeme kıtlığı nedeniyle, gerekse II. Dünya Savaşının harap ettiği şehirlerin yeniden inşası için ön üretimli sistem kullanılmış ve bu sayede hızlı gelişim göstermiştir. Öte yandan çelik sistemler çok ekonomik olmadığı için fazla uygulama alanı bulamamıştır (Sheppard ve Phillips, 1989).

ABD'de ise ön üretimli sistemler daha düşük gelişim göstermiş, ancak 1950'li yıllardan itibaren ön üretimli sistem ile inşa edilmiş binalardaki bileşen sayısı Avrupa'ya göre daha fazla olmuştur. Bir yandan Güney Kore ile savaş halindeyken, diğer yandan artan çelik

maliyetleri ve malzeme kıtlığı nedeni ile çok sayıda küçük çaplı fabrika ortaya çıkmış ve böylece ürün kapasitesi artmıştır. Günümüzde ise Kuzey Amerika’da üretilen yapılardaki bileşen sayısı Avrupa’ya göre daha büyüktür. 30 katlı 5000 odadan oluşan, ön üretimli sistem ile inşa edilmiş *MGM Hotel & Casino* (Las Vegas) yapısı bunun en iyi örneğidir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 MGM Hotel & Casino, Las Vegas, 1992 (Structure Magazine, 2005), [4]

Sonraki 25 yıl içerisinde ön üretimli sistemler, teknik açıdan çok fazla gelişim gösterememiştir. Ön üretimli yapıların tüm inşaat sektörü içindeki payı %15 düzeyinde kalmıştır (Elliott, 2000).

1987 yılında NIST (*National Institute of Standards and Technology*) ve **1989** yılında ABD ve Japonya arasında PRESSS (*Precast Concrete Seismic Structural System*) adıyla araştırma programları başlatılmıştır. Bu programların amacı yeni birleşim tasarımı ve teknolojileri geliştirerek, sismik etkilere karşı dayanımı yüksek ön üretimli yapılar inşa etmektir (Priestley, 1991). Bu kapsamda ard-germe uygulanmış kolon-kiriş birleşimleri, tip ve farklı donatı yerleşimlerine göre test edilmiştir. Kapsamlı testlerin sonuçlarına göre geliştirilen yeni birleşim tipi, karma (*hybrid*) birleşim olarak isimlendirilmiştir (Stone vd., 1995). Daha sonra benzer yöntemler ile ön üretimli beton panellere ard-germe uygulayarak perde duvar oluşturulması üzerine çalışmalar yürütülmüştür (Kurama vd., 1996).

2001 yılında dünyadaki en büyük ve en hızlı ön üretimli beton projelerden biri Singapur’da (*AFPD LCD Fabrikası*) gerçekleştirilmiştir. Toplam 15.000 eleman 105 günde (~150 eleman/gün) birleştirilerek yapı tamamlanmıştır (Şekil 2.7).

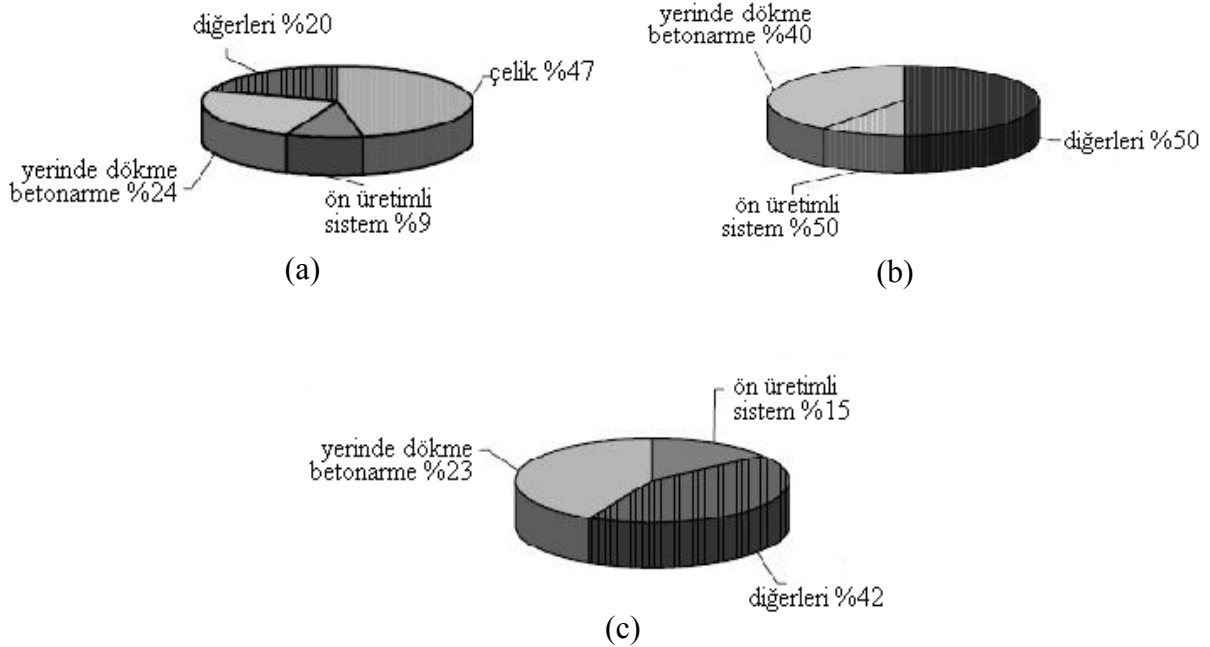


Şekil 2.7 Dünyadaki en hızlı ön üretimli beton projelerden biri, AFPD LCD Fabrikası [5]

2.2 Ön Üretimli Sistemlerle İlgili Durum Analizi

Ön üretimli sistemler, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra özellikle Doğu Avrupa ülkelerinde ve SSCB'de popüler olmuş, 20.yy'ın ikinci yarısından itibaren de birçok ülkede sıklıkla kullanılmaya başlamıştır.

Çok katlı ön üretimli sistemler ise son 20 yılda önemli gelişme göstermiştir. Ön üretimli beton sektöründe ticari bina, okul, ofis, hastane, otel ve otoparkların bütün inşaat sektörü içindeki payının %5-15 arasında değiştiği gözlenmiştir. Avrupa kıtası ve Kuzey Amerika'da üretilen ön üretimli beton iskelet sistem elemanları, döşeme ve cephe panellerinin inşaat sektöründeki payları diğer yapım sistemlerine oranla düşüktür. 1988 yılı itibari ile inşaat sektöründeki üretim payları Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Elliott, 2000).



Şekil 2.8 1988 yılındaki çok katlı ön üretimli sistemlerin a) Tüm inşaat sektöründeki payı b) Konut sektörü içindeki payı c) Konut sektörü dışındaki alanlardaki payı (Elliott, 2000)

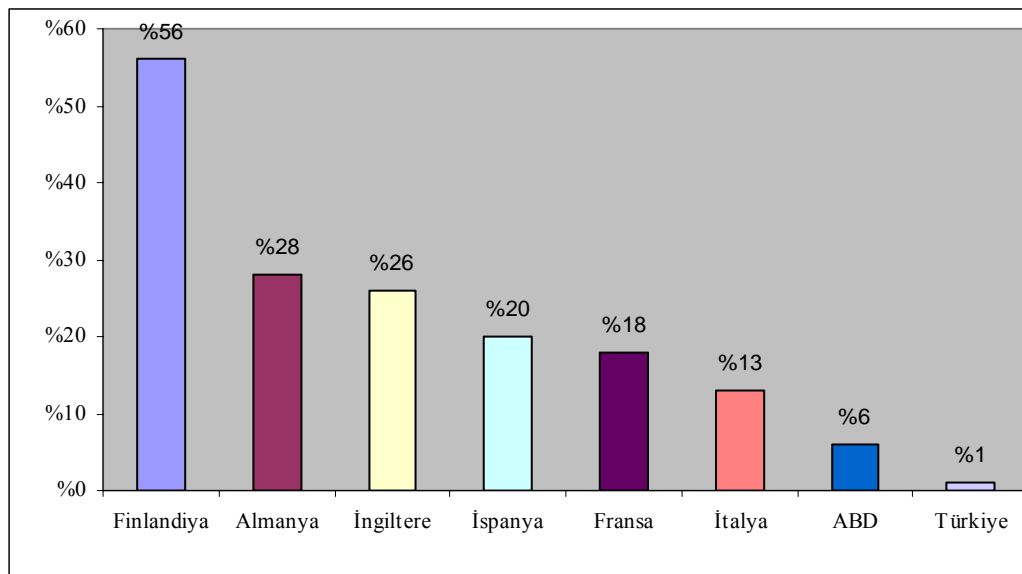
1990'lı yıllardan itibaren Avrupa'da ön üretimli beton döşeme sistemleri yaygın olarak kullanılmıştır. Bu ülkelerdeki ön üretimli beton döşeme sistemlerinin üretim miktarları ve birim maliyetleri Çizelge 2.1'de gösterilmiştir. Buna göre en fazla boşluklu döşeme üretimi yapan ülke Hollanda, birim maliyetin en düşük olduğu ülke ise Almanya'dır.

Avrupa kıtasındaki durumdan farklı olarak, Kuzey Amerika ve Yeni Zelanda'da orta yükseklikteki binalarda (5-10 kata kadar), yerinde dökme betonarme ve kompozit çelik döşemelere alternatif olarak, ön üretimli beton döşeme sistemleri halen uygulanmaktadır. İtalya'daki ön üretimli sektörler de çoğunlukla döşeme elemanlarına odaklanmıştır.

Çizelge 2.1 Avrupa’da kullanılan ön üretimli beton döşeme sistemlerinin özellikleri (Elliott, 2000’den değiştirerek)

Ülke	Boşluklu döşeme üretimi	
	10 ⁶ m ²	\$/m ³
Almanya	0.6	0.01
Fransa	1.6	0.03
İngiltere	2.8	0.05
İtalya	3.4	0.06
Belçika	0.8	0.08
Danimarka	0.7	0.15
Norveç	0.9	0.22
İsveç	0.9	0.22
Hollanda	5.1	0.36
Finlandiya	3	0.65

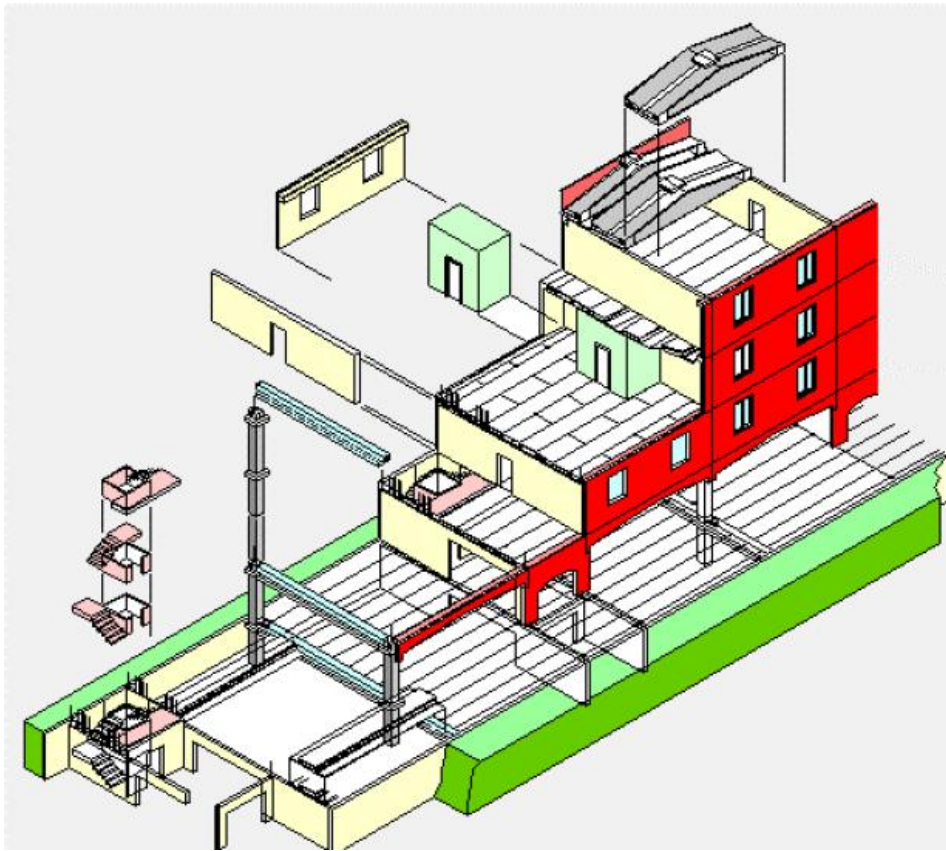
Ülkelerin iklim özellikleri ön üretimli sistem sektörünün gelişiminde çok etkili olmuştur. Şekil 2.9’den görüldüğü gibi sektör özellikle, soğuk iklimin hakim olduğu ülkelerde (örneğin, Finlandiya) daha fazla gelişme göstermiştir (PCI, 2000). Finlandiya’da ön üretimli eleman kullanım oranı bu kadar yüksek olmasına rağmen, elemanların taşıyıcı olarak kullanım yüzdesi ABD’de en yüksektir (%90).



Şekil 2.9 Ön üretimli sistemlerin ülkelere göre gelişimi (PCI, 2000’den değiştirerek)

2.3 Ön Üretimli Sistemler

Ön üretimli sistemler, endüstriyel olarak üretilmiş elemanların şantiyede birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Fabrikada kısa zamanda ve kaliteli üretilen elemanlar düşük maliyetli olup, birleşim teknikleri ile hızlı yapılaşmaya olanak sağlamaktadır. Ön üretimli elemanlar (Şekil 2.10) aynı zamanda planlamada da akılcı çözümler sağlamaktadır. Makineleşme ve seri üretim; kalite kontrol, kalifiye iş gücü, verim ve süreklilik bir araya getirilerek ürünler standardize edilir. Ancak bu standartlaşma, planlamada bazı sınırlamalara yol açabilir. Ön üretim bileşenlerinin önceden çok iyi tasarlanmış ve planlanmış olması gerekir. Çünkü montaj sırasında herhangi bir değişikliğe olanak vermediklerinden yerinde müdahale yapılamaz [6].



Şekil 2.10 Ön üretimli sistem elemanları (Lago, 2002)

2.4 Ön Üretimli Sistemlerin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

Geleneksel sistemlerden farklı olarak makinelerin yoğun olarak kullanılması ve ön yatırım maliyeti bulunması sebebiyle, ön üretimli sistemlerin ekonomik olmadığı düşünülebilir. Ancak, olumlu yönleri ile yatırımcısına uzun vadede önemli kazançlar getirebilmektedir (Toprak, 2002). Ön üretimli sistemlerin olumlu ve olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir:

Olumlu Özellikleri;

- Fabrikada ön üretimli elemanlar yüksek kalitede üretilir.
- Eleman üretimden 24-48 saat sonra şantiyeye sevke hazır hale gelir.
- Beton üretimi kontrol altında olduğu için dayanım ve dayanıklılığı (durabilite) yüksektir.
- Ön üretimli sistem elemanlarında rötre ve termal çatlak sorunu yaşanmaz.
- Ön-germe beton elemanlar ile büyük açıklıklar geçilebilir. Açıklık/kesit yüksekliği oranı yerinde dökme betonarme sistemlere kıyasla yüksektir.
- Üretim ve montaj iklim şartlarından etkilenmez.
- Üretim ve montaj maliyeti açısından ekonomik sistemlerdir.
- İlk kalıp maliyeti önemli olsa da kalıplar tekrar tekrar kullanılabilirdiği için kalıp maliyeti açısından ekonomik bir sistemdir.
- İmalatın her aşaması deneyimli mühendislerin kontrolünde olduğu için malzeme kaybı az ve montaj kalitesi yüksektir.
- Tekrarlanır birimler ne kadar fazla olursa inşaat maliyeti o kadar az ve hızlı olur.
- Toplu yapı üretimine olanak sağlar.
- Birim zamanda alınan verim yüksektir.
- İşgücü ihtiyacı yerinde dökme sisteme göre daha azdır.
- Deprem hasarları uygun birleşim yöntemleri ile en aza indirilebilir.
- Ön üretimli elemanların kullanıldığı bir projede teorik maliyet ile gerçek maliyet arasında çok büyük farklar ortaya çıkmaz, belirlenen bütçe dahilinde kalınması sağlanabilir.
- Yapının en kısa sürede kullanıma hazır olması nedeniyle, yatırılan sermayenin çabuk kazanca dönüşmesi sağlanabilir.

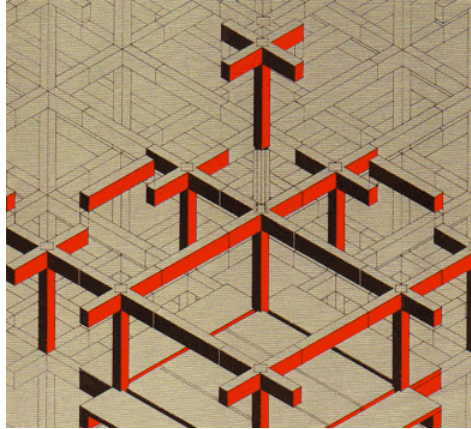
Olumsuz Özellikleri;

- Birleşim bölgeleri iyi tasarlanmadığı takdirde, sistem depremde ağır hasar alabilir.
- Ağır ön üretimli beton elemanların kaldırılması için vinçlere gereksinim vardır.

- Karayolu ile taşınmanın yapılması durumunda fabrika ile şantiye arasındaki yüksek taşıma maliyetleri nedeni ile ulaşım mesafeleri sınırlanır.
- Ön üretilmiş sistem, mimari tasarımda sınırlamalara neden olur.
- İnşaat sektöründe makineleşmenin artmasıyla beraber insan gücüne olan ihtiyaç büyük oranda azalır ve buna bağlı olarak işsizlik artar.
- Ön üretilmiş sistem montajı belirli nitelikte işçilik gerektirir.

2.5 Ön Üretilmiş İskelet Sistemler

Ön üretilmiş iskelet sistemler yapının taşıyıcı sistemini oluşturan kolon, kiriş ve döşeme elemanlarının şantiyede çeşitli yöntemlerle birleştirilmesinden oluşmaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Ön üretilmiş iskelet sistem elemanları [7]

Ön üretilmiş sistemlerin gerek tasarım, gerek fabrikada üretim, gerekse şantiyede montaj aşamalarında deprem etkisine karşı dayanıklı olmalıdır. Bu bakımdan özellikle birleşim noktalarının titizlikle tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir.

Ön üretilmiş betonarme iskelet sistemlerde, yerinde dökme betonarme sistemlerde olduğu gibi taşıma ve bölme işlevleri farklı elemanlara yüklenilmiştir. Taşıma görevi; yatay (kiriş, döşeme) ve düşey (kolon, perde) elemanlarla sağlanırken, bölme işlevi taşıyıcı olmayan, yerinde veya önceden üretilmiş düzlemsel elemanlar tarafından yerine getirilmektedir. Duvarlar ise iskelet sistemlerde mekânı bölme veya dış ortamdan ayırma işlevi görür ve sistemin rijitliği için yardımcı eleman olarak görev yapar (Ancak statik tasarımda katkısı dikkate alınmaz).

2.5.1 Ön üretimli İskelet Sistemlerde Üretim, Nakliye ve Montaj Süreçleri

2.5.1.1 Üretim

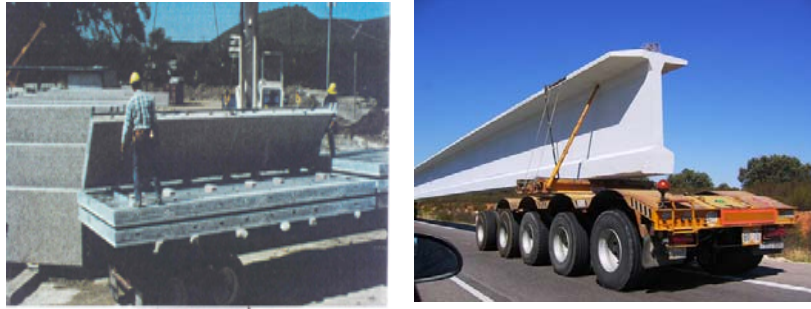
Ön üretimli iskelet sistem elemanları fabrikada üretildiği gibi, şantiyede de seri olarak üretilir. Üretimde daha geniş açıklıkları geçmek ve daha yüksek yapılar üretebilmek için elemanlara ön-germe veya ard-germe uygulanır.

Üretim maliyetine etki eden faktörler şöyle sıralanabilir:

- Elemanların üretim yerleri ve üretimin miktarı
- Bileşen boyutları
- Bileşen tipleri
- Bileşenlerin malzemeleri
- Üretimde kullanılan makine, kalıp ve amortisman giderleri
- İşçilik giderleri

2.5.1.2 Nakliye

Ön üretimli sistem elemanlarının üretildiği yerden, montajının yapılacağı yere ulaşmasını sağlayan süreçtir. Elemanların nakliyesi boyutları ve ağırlıklarına göre çeşitlilik gösterir. Küçük boyutlu elemanların bir arada taşınabilmesinin yanında büyük kiriş, kolon elemanların tek başına taşınması gerekebilir. (Şekil 2.12). Elemanların boyutları, bunları taşıyan tırların boyutları ile sınırlıdır.



Şekil 2.12 Ön üretimli iskelet sistem elemanlarının taşınması [8]

2.5.1.3 Montaj

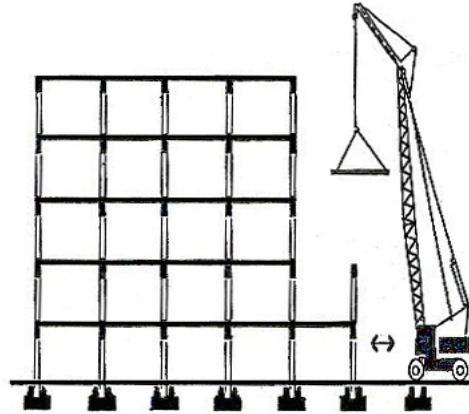
Fabrikada ya da şantiyede üretilmiş iskelet sistem elemanlarının şantiye ortamında bir araya getirilip birleştirilmesi montaj sürecini oluşturmaktadır (Şekil 2.13). Montaj sürecinde küçük boyutta elemanlar basit mekanik araçlarla taşınırken, büyük boyutta elemanlar vinç vb. yardımıyla taşınmaktadır.



Şekil 2.13 Ön üretimli iskelet sistem elemanlarının montaj aşaması [9]

Düşey Montaj

Düşey montaj yönteminde, yapının yüksekliği boyunca kolon, kiriş ve diğer parçalar dilimler halinde düşey olarak kurulur (Şekil 2.14). Bir dilim bittikten sonra başka bir dilime geçilir. Bu sistem daha çok sürekli kolon kullanılan yapılarda tercih edilir. Çok katlı iskelet sistem yapılarda kolonlara destek yapılması montaj süresini azaltır. Çünkü stabilitenin sağlanması için gerekli süresi bitmeden bir başka elemanın montajına başlanabilir.

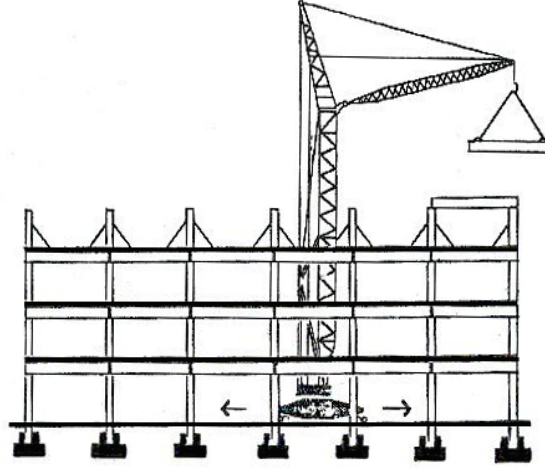


Şekil 2.14 Düşey Montaj

Yatay Montaj

Bu yöntemde kolon ve kirişlerin tam bir kat boyunca yatay yönde montaj işlemi bitirilinceye kadar bir üst kat elemanlarının kurgusu yapılamaz. Ön üretimli iskelet sistem elemanları genellikle bir kat yüksekliğindedir. Stabilite için birleşim bölgelerindeki yerinde dökme betonun gerekli mukavemeti sağlayacak duruma gelmesi ve bunun için geçen süre çok

önemlidir. Bir yandan yatay montaj devam ederken diğer yandan da diğer işler (elemanların montaja hazır hale getirilmesi, taşınması vb.) yapılarak bir kat tamamen bitirildikten sonra bir üst katın montaj işlemine başlanır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Yatay Montaj

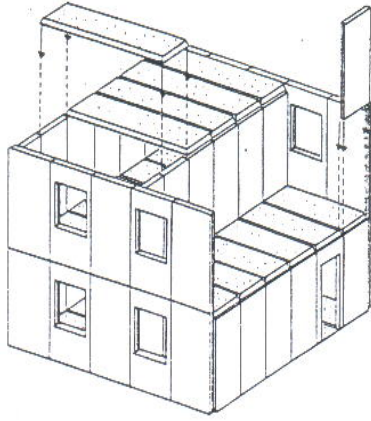
2.6 Ön Üretimli Panel Sistemler

Panel sistem, elemanları döşeme ve duvar olarak kullanılan yatay ve düşey panolarla oluşturulmuş düzlem taşıyıcılardır. Bu sistemler genellikle konut üretiminde kullanılır (Sey ve Tapan, 1987). Ayrıca sanayi yapılarının geniş açıklıklı üretim mekanlarının, giydirme dış cephe, iç bölücü düşey duvarları ve döşemelerinde çoğunlukla panel sistemler kullanılmaktadır. Herhangi bir ürünün panel olarak isimlendirilebilmesi için o ürünün eni ve boyunun kalınlığına oranının büyük olması gerekmektedir [10]. Bu sistemler hacmi sınırlayan alan büyüklüğünde yapılacağı gibi daha küçük boyutta da üretilebilir (Sey ve Tapan, 1987). Panellerin üretiminde en çok beton kullanılır. Panel sistemlerde beton, bileşenlere taşıyıcılık özelliği kazandırmaktadır. Böylece çok katlı yapılara da olanak tanımaktadır. Beton paneller yapıları itibariyle genel olarak betonun fiziksel özelliklerini taşır. Masif panel öğelerde öngermeli betonlar kullanılır. Panel elemanlar genellikle boşluklu beton ya da hafif betondan oluşur. Mekanların tasarımı, malzeme ve teknolojik olanaklar panel boyutlarında etkili olur. Panel sistemleri oluşturan elemanlar (paneller) yapıda, farklı işlevleri karşılamaya yönelik olarak, farklı büyüklük ve ağırlıkta, farklı malzemelerden ve farklı yapısal özelliklerde üretilebilir [10].

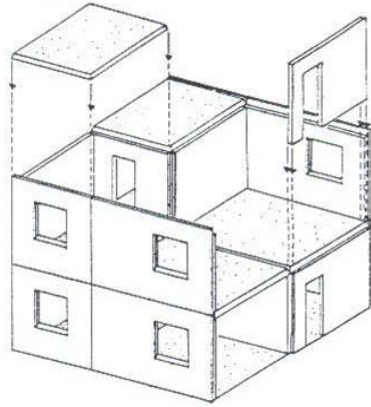
2.6.1 Panellerde Büyüklük

Paneller büyüklüklerine göre küçük paneller ve büyük paneller olmak üzere ikiye ayrılır. Küçük paneller; mekanın bir yüzeyinin kapatılması için birkaçının birlikte kullanıldığı panellerdir ve alanları 2m^2 'den küçüktür (Şekil 2.16a)

Büyük paneller; genişlikleri mekan boyutuna eşit veya daha fazla, yükseklikleri ise yine kat yüksekliğine eşit veya daha fazla olan büyük yüzeyli yapı elemanlarıdır ve alanları 2m^2 'den fazladır (Şekil 2.16b). Yatay konumda kullanılan elemanlarda diğer panel türleri arasındaki en belirgin fark; montaj sırasında geçici bağlantıya gerek duyulmamasıdır. Oysaki diğer panel türleri kendi kendilerine dengeli olarak ayakta duramayacaklarından geçici bağlantı zorunlu olmaktadır [9].



(a)



(b)



Şekil 2.16 Panellerde büyüklük a) Küçük paneller b) Büyük paneller [11]

2.6.2 Panellerde Ağırlık

Panellerin ağırlıkları büyüklüklerinin yanı sıra imalatlarında kullanılan malzemelere bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Paneller ağırlıkları açısından; hafif paneller (0,5-1,5t), orta ağırlıkta paneller (2-5t), ağır paneller (>5t) olmak üzere üç grupta toplanabilmektedir.

Paneller işlevlerine göre;

1. Taşıyıcı Paneller

a) Düşey duvar panelleri

b) Yatay döşeme panelleri

2. Bölme İşlevli Paneller

a) Cephe panelleri

b) İç mekan bölme panelleri

3. Özel İşlevli Paneller

4. Özel Cephe Panelleri olarak sınıflandırılır.

Panellerin taşınması öğelerin boyut ve ağırlıklarını belirler (Şekil 2.17). Karayolu taşımacılığında, yollar üzerindeki tünel yükseklikleri, yol genişlikleri, yol yüzeyinin durumu, ulaşım ile ilgili tüzükler panel elemanların boyutlarının saptanmasını etkiler. Böylece oluşan taşıma modülü tasarım modülünü etkiler.



Şekil 2.17 Panellerin taşınması [11]

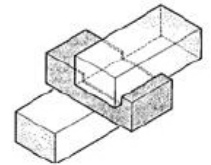
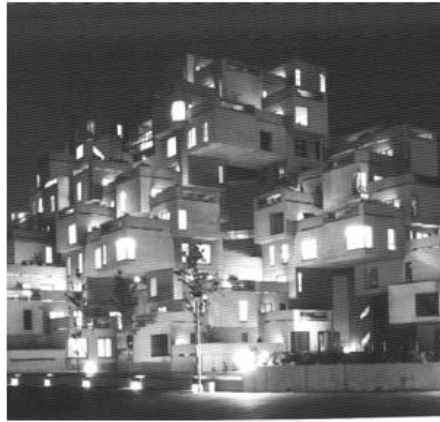
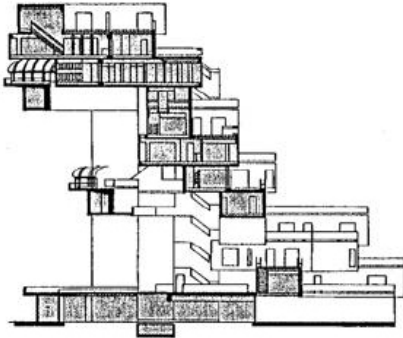
Panel boyutlarındaki büyüme, birleştirilecek panel sayısını azalttığından montaj giderleri azalır. Vinçlerin kapasiteleri büyük ve en ağır elemanlara göre seçildiğinden montaj sırasında vinç kapasitesinden maksimum derecede yararlanma ekonomik bir zorunluluktur (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Panellerin montajı [11]

2.7 Hücre Sistemler

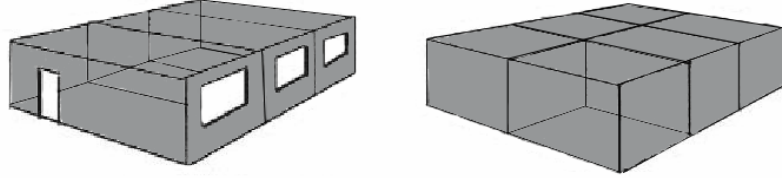
Sistem monolitik özellik gösterir. Düşey ve yatay taşıyıcıları ile taşıyıcı sistemi kendi içinde oluşan sistemlerdir. Hücre birimleri fabrikada parça parça üretilebileceği gibi tamamen bitmiş olarak da üretilebilir. Parçalı üretimler şantiyede bir araya getirilerek bitmiş hücre haline dönüştürülür. Hücre sistemler özellikle konut (Şekil 2.19) ve okul yapılarında kullanılmalarına karşın, diğer yapılarda da uygulanabilirliği görülmektedir. Hücreler, kütsel rijitlikleri deprem ve rüzgar yüklerine karşı dayanım gösterebildikleri için çok katlı olarak güvenle uygulanabilmektedir. Hafif panel sistemlerin ardından ortaya çıkan bu sistemlere, ürünün, yani binanın, fabrika üretimine dayanan ileri bir bitmişlikle elde edilmesi amacıyla yönelme olmaktadır. Hücre sistemler kapalı, açık ve karma olmak üzere üç gruba ayrılır.



Şekil 2.19 Habitat 67, Montreal (Eşsiz, 2001)

2.7.1 Kapalı Hücre Sistemler

Mekânlar bitmiş olarak fabrikada üretilen tavan, döşeme duvar elemanlarıyla sınırlıdır (Şekil 2.20). Bu tür sistemlerin ince işçiliği fabrikada bitirildiği için montaj süresi kısalmaktadır. Üç boyutlu üniteler oldukları için nakliye, yapının boyutlarıyla sınırlanmaktadır (Şekil 2.21). Hücrelerin derinliği tüm yapı derinliğince olabilmektedir (Koncz, 1979).



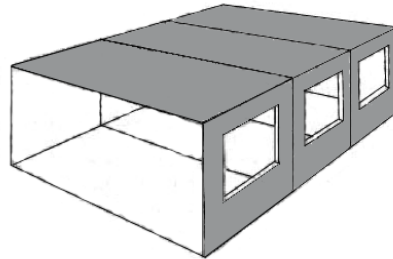
Şekil 2.20 Kapalı hücre sistem (Koncz, 1979)



Şekil 2.21 Kapalı hücre sistem ünitenin taşınması [12]

2.7.2 Açık Hücre Sistemler

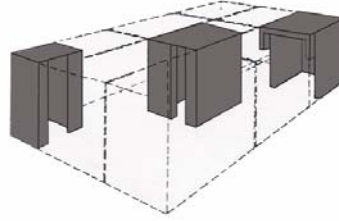
Mekanın iki yanı kapalı, diğer yanları açıktır. Kapalı yüzeyleri taşıyıcı duvar, taşıyıcı iç duvar veya iskelet sistem olabilir (Şekil 2.22). Hücrelerin genişliği taşıma olanaklarıyla sınırlıdır. Planlama enine yönünde esneklik gösterir.



Şekil 2.22 Açık hücre sistem (Koncz, 1979)

2.7.3 Karma Hücre Sistemler

Yapının ince işçiliği fazla olan birimlerinin hücrelerle elde edilmesi ile oluşan sistemlerdir. Bu sistemlerde mutfak, banyo, asansör ve merdiven gibi birimler hücreler, diğer bölümler ise başka yapım sistemleri ile oluşturulmaktadır (Şekil 2.23).



Şekil 2.23 Karma hücre sistem (Koncz, 1979)

2.8 Ön Üretimli Sistemlerin Sismik Açından Aktif Ülkelerdeki Gelişimi

2.8.1 İtalya

İtalya'da 1940'larda yeterli endüstriyel üretim ve deneyimli ön üretimli beton inşası sınırlı olmuştur. 1950'lerde ön-germe sistem uygulamalarının başlaması ile endüstriyel binaların üretimi hızla yaygınlaşmıştır. Ön üretimli elemanlar; ticari binalar, kompleks endüstriyel binalar, sosyal binalar, ofis binaları, taşıt parkları ve konutlarda sıkça kullanılmaya başlamıştır. Bu sistemi oluşturan elemanlar başlangıçta kolon ve kiriş elemanları iken, gün geçtikçe panel sistem ve modüler (hücre) sisteme kadar genişlemiştir. Tam veya kısmi ön üretimli sistem uygulamaları da mevcuttur. Bunlar, yerinde dökme betonarme elemanlar ile birlikte uygulanır. Kısmi ön üretim sistemlerde daha çok döşeme elemanları kullanılmaktadır (Park, 2003). Şekil 2.24'de taşıyıcı sistemi çelik olup, duvarları ön üretimli panel sistem ile inşa edilen yapı görülmektedir.



Şekil 2.24 Taşıyıcı sistemi çelik olup duvarlar ön üretimli büyük boy panel sistem elemanlardan üretilen yapı, İtalya [13]

2.8.2 Kanada

Ön üretimli yapılar 1950'lerde göze çarpan birkaç bina üretimi ile başlamıştır. Edmonton'daki (1955) 10000 m²'lik tek katlı ön üretimli beton iskelet sistemden oluşan T çatı kirişli yapı ile Winnipeg'de (1960) inşa edilmiş 8 katlı apartman yapısı (*Grosvenor House*) ilk konut örnekleridir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 Grosvenor House, Winnipeg, Kanada [11]

1962'de ön üretimli ön-germe elemanlar standartlaştırılmıştır. İlk tek katlı endüstriyel ve ticari binalar, tipik duvar panellerinden oluşmuş, bazıları T şeklindeki ön-germe kiriş elemanlarından oluşup kolonla desteklenmiştir. 1962'de Winnipeg'de boşluklu ön-germe paneller üretilmiş ve her yıl 1.400.000 m²'lik boşluklu panel (*hollow-core*) eleman üretimi ile dünyada ün kazanmıştır. Konut inşaatlarında birçok perde duvar, iç ve dış duvarlar boşluklu olarak inşa edilmiştir (Şekil 2.26). 1980'lerde çok katlı ön üretimli iskelet sistemlerin moment aktarma kapasitesinin yerinde dökme betonarme sistemlere benzer olması yönünde çalışılmıştır. 1985 yılında Calgary, Bromley bölgesinde inşa edilen 31 katlı konut yapısı (Şekil 2.27) Kanada'nın en yüksek ön üretimli beton eleman kullanılan yapısıdır (Park, 2003). Kanada'da uygulanmış diğer ön üretimli sistem yapı örnekleri Şekil 2.27, Şekil 2.28 ve Şekil 2.29 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.26 Boşluklu paneller [11]



Şekil 2.27 Calgary'deki Bromley bölgesindeki 31 katlı apartman [11]



Şekil 2.28 Ön üretilmiş panel sistemleri ile üretilen okul binası [11]



Şekil 2.29 Columbia Üniversitesi Vancouver, Kanada [11]

2.8.3 ABD

1949 yılında ilk kez ön üretimli sistem ön-germeli olarak *Walnut Lane Köprüsü* (Philadelphia, ABD) inşaatında kullanılmıştır (Şekil 2.30). 1950'lerden itibaren ABD'de ön üretimli ön-germeli sistem uygulamaları giderek gelişen bir endüstri haline gelmiştir. 1960'lı yıllarda ön üretimli sistem tasarımı standartlaştırılmıştır. 1970'lere gelindiğinde köprü uygulamalarına bu sistemler ile yenilikler getirilmiş ve 1980'lerde gelişen teknoloji ile daha dayanıklı hale getirilip yaygınlaştırılmıştır.

1990'larda sismik açıdan aktif bölgelerde uygulanmak üzere yeni ön üretimli sistem tasarımları geliştirilmiştir. Bu gelişmeler ABD'deki sismik açıdan en aktif bölgede en yüksek ön üretimli yapının inşaatı ile sonuçlanmıştır (Park, 2003). Bu ön üretimli sistem apartman binası (*Paramount*), San Francisco'da inşa edilmiş, 39 katlı ve 128m yüksekliğindedir (Şekil 2.31). Bu bina ön üretimli moment aktaran sünek birleşimli iskelet sistem ile inşa edilmiştir. Bina, bu sistemle üretilmiş ilk yüksek yapı olma özelliğini taşımaktadır. Sünek birleşimler ard-germe donatısı ve yüksek dayanımlı doğal sertlikte donatı çeliği içermektedir (Bkz. Bölüm 5.3). Bu özellikleriyle yapı, ön üretimli yapı tasarımında önemli bir kilometre taşı olarak gösterilmektedir. ABD'de uygulanmış diğer ön üretimli sistem yapı örnekleri Şekil 2.32 ve Şekil 2.33'de gösterilmiştir.



Şekil 2.30 Walnut Lane Köprüsü, Philadelphia, ABD [2]



Şekil 2.31 Paramount apartman yapısı, San Francisco, California (Englekirk, 2002)



Şekil 2.32 Ön üretimli sistem ile inşa edilmiş hastane binası [14]



Şekil 2.33 Ön üretimli sistem ile inşa edilmiş otel binası [14]

2.8.4 Şili

Şili’de ön üretilmiş beton inşası, büyük boy panel ve döşeme elemanları ile üretilmiş (Şekil 2.34) bir, iki katlı konut ve tek katlı endüstriyel yapılar ile 1950 yılında başlamıştır. 1970’lerde 4-5 katlı yapıların duvarları ön üretilmiş panel elemanlar kullanılarak inşa edilmiştir. Şili’de, sismik açıdan iyi tasarlanmış ön üretilmiş yapıların, depremlerde kötü performans göstermesi, depreme dayanıklı sistem tasarımında ön üretilmiş elemanların kullanılabilirliğini tartışmaya açmıştır. Son yıllarda yerinde dökme betonarme sistemler ile ön üretilmiş elemanlar ve perde duvarlar birarada uygulanmaktadır. Ön üretilmiş döşeme elemanları 1980’lerden bu yana kullanılsa da birçok yapıda hala yerinde dökme betonarme döşeme sistemleri uygulanmaktadır (Park, 2003). Şili’de hücre sistemler ile inşa edilmiş bir yapı Şekil 2.35’de gösterilmiştir.



Şekil 2.34 Ön üretilmiş panel sistem ile üretilmiş yapı, Şili [15]



Şekil 2.35 Ön üretilmiş hücre sistem ile üretilmiş yapı, Şili [16]

2.8.5 Meksika

Ön üretimli sistem, Meksika'da ilk kez 1950'li yıllarda döşeme elemanları ile konut sektöründe kendini göstermiştir. Ön üretimli sistem elemanları, monolitik sistemlerde 1960'a kadar çok az sayıda kullanılmıştır. 1976'da diğer yapı sistemlerine benzetilerek ön üretimli yapılar ile ilgili bina standartları düzenlenmiş ve kolon-kiriş birleşimlerinde kaynaklı, bulonlu birleşim yöntemleri uygulanmıştır. 1994 California Northridge depreminde, kaynaklı birleşim yöntemi uygulanmış yapılarda gözlenen hasarlardan dolayı, bu yöntem sonra hiç kullanılmamıştır. Ön üretimli kolon-kiriş elemanlarının birleşim yöntemleri için son yıllarda alternatifler geliştirilmiştir. Bu alternatif yöntemlerden biri yerinde dökme (ıslak) birleşim tekniğidir (Kolon ve kirişten çıkan donatı filizleri birbirine kaynaklanır, daha sonra boşluklar rötre yapmayan harçla doldurulur). Meksika'da ön üretimli moment aktaran iskelet sistemler genellikle tam sünek olmayan birleşimler olarak tasarlanmıştır (Park, 2003). Meksika'da ön üretimli sistem ile inşa edilmiş yapı örnekleri Şekil 2.36'de gösterilmiştir.



Şekil 2.36 Meksika'da ön üretimli sistem ile üretilen yapı [17]

2.8.6 Japonya

1950'lerin sonunda Japonya'da ön üretimli sistemlerin kullanımı ard-germe yöntemi ile tek veya çift T kirişler ve boşluklu döşeme elemanları ile başlamıştır. Ön üretimli sistemler, az ve orta yükseklikteki yapılarda, monolitik sistem ve perde duvarlar ile birlikte kullanılarak 1970'lerde yaygınlaşmıştır.

Ön-germe uygulanmış ön üretimli elemanların gelişimi 1950'lerin sonunda başlamıştır. Ön-germeli beton yapı elemanların yapım teknikleri 1961'de AJI (*Architectural Institute of Japan*) tarafından standartlaştırılmıştır. Bu standartlar 1983 yılında Yapı Bakanlığı tarafından Bina Standartları Kanununa (*Building Standard Law*) eklenmiştir. Bu durum, yüksek sismik dayanımlı tasarımlara olanak vermiştir. Daha sonra ön üretimli yapı sistemleri Japonya'da hızla yayılmıştır. Son yıllarda ön üretimli sistemlerde ard-germe yöntemi uygulanmaktadır (Park, 2003). Japonya'da ön üretimli sistem ile inşa edilmiş yapı örnekleri Şekil 2.37, Şekil 2.38 ve Şekil 2.39'da gösterilmiştir.



Şekil 2.37 Japonya’da ön üretimli sistem ile üretilen konutlar (ISES, 2005)



Şekil 2.38 Ön üretimli iskelet sistem ile üretilmiş yapı, Ohkawabata Tower, Tokyo (Structure magazine, 2005)



Şekil 2.39 Ön üretimli iskelet sistem ile üretilmiş yapı, Ohkawabata River City 21 Tower, Tokyo (Structure magazine, 2005)

2.8.7 Yeni Zelanda

Yeni Zelanda'da ön üretimli ve genellikle ön-germe uygulanmış döşeme elemanların kullanımı 1960'larda hızla yaygınlaşmıştır. 1960'larda yerinde dökme betonarme döşemelerin kullanımına az rastlandığından rekabet ortamı oluşmamıştır. Günümüzde ise döşeme sistemlerinin tümü ön üretimli sistem elemanlarından oluşmaktadır.

1950-1960 yılları arasında moment aktaran birleşimli iskelet sistem oluşturmak için ön üretimli ard-germe uygulanmış elemanlar kullanılmıştır. 1970'den 1980'e dek ön üretimli moment aktaran kolon-kiriş ve duvar birleşimlerinin genellikle sismik açıdan dayanıklı olduğu kabul edilmiştir. 1980'lerin ortalarından itibaren Yeni Zelanda'daki ön üretimli moment aktaran iskelet uygulamalarında önemli artış gözlenmiştir. Son yıllarda ise ön üretimli elemanlar ile monolitik sistemler birlikte kullanılmaktadır. Ön üretimli elemanlar arasındaki birleşimler monolitik sistemlere benzer olarak tasarlandığı için deprem sırasında monolitik sisteme eşdeğer davranış göstermektedir.

Ön üretimli beton duvarlar sık sık az katlı ticari ve endüstriyel binalarda kullanılmaktadır. Duvarlar monolitik sistemlere benzer tasarlanmıştır ancak birleşimleri monolitik sistemlere benzer yapılmamıştır. Son yıllarda Yeni Zelanda'da aderansız ard-germe donatı ile doğal sertlikte donatı çeliğinin bir arada kullanıldığı karma sistemler uygulanmaktadır. Bu sistemlerden oluşan yapı elemanları NZS (*Standards of New Zealand*) tarafından standartlaştırılmıştır (Park, 2003). Yeni Zelanda'da ön üretimli sistem ile inşa edilmiş yapı örnekleri Şekil 2.40-2.42'de gösterilmiştir.



Şekil 2.40 Bacchus Apartmanı, Browns Bay; Knox Street Car Park, Hamilton [18]



Şekil 2.41 St. Peters Koleji, Vero Centre [18]



Şekil 2.42 Yeni Zelanda'da üretilen çeşitli ön üretimli sistem elemanlarından görüntüler [18]

2.8.8 Türkiye

1950'li yıllarda ortaya çıkan konut açığı hem inşaat sektörünün buna hazır olmayışı hem de gecekondulaşma, ön üretimli sistemin gelişimini engellemiş ve ön üretimli yapı sektörü 1960'lı yıllara kadar imalat sürecine geçememiştir. 1960'lı yıllarda Türkiye'de uygulanmaya başlanan ön üretimli yapı inşaatları, ikinci beş yıllık kalkınma programında (1968–1972) yer almıştır. Bu programda ön üretimli sistemin işsizliğe yol açacağı düşünülerek, mümkün olduğu kadar kaçınılması önerilmiştir. Konut inşaatının istihdam yaratıcı niteliği dikkate alınarak, bu sektörde işgücü yoğunluğuna dayanan geleneksel teknolojilerin kullanımına devam edilmiştir. Teknolojik gelişmelerle, rasyonalizasyon ve standartlaşmaya yönelecek ön üretimli konut yapımından kesin zorunluluk olmadığı hallerde kaçınılmıştır. Ancak yapılan araştırmalar bu öngörünün yanlış olduğunu ve ön üretimli yapı sektörünün yaklaşık 15 senelik gecikmeye maruz kaldığını göstermiştir. Ön üretimli yapı sektörüne gereken ilgi gösterilmediği için, hem sektör geri kalmış hem de yapı maliyetleri artmıştır. Dünyada 1940'lı yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan ön üretimli yapı sistemleri, birkaç ufak girişim göz önüne alınmazsa, Türkiye'de kendine ancak 1970'li yıllardan itibaren yer bulmuştur. Ön üretimli sistemlerin gelişimi genellikle mafsallı birleşim esasına dayanan tek katlı sanayi yapıları inşa edilmesiyle olmuştur (Şekil 2.43).

Türkiye'de ön üretimli sistemlerin inşaat sektörü içindeki payı %5 düzeyindedir. Konut inşaatlarında ise payına sadece %1.5 düşmüştür (Barka vd, 1997). 1984 yılında kurulan TPB (*Türkiye Prefabrikasyon Birliği*), sektörün hem bilimsel yönde gelişmesine önderlik etmiş, hem de bir çatı altında toplanmasını sağlamıştır. Türkiye Prefabrik Birliği verilerine göre Türkiye'de bugün, bir yıl içerisinde yapılan tüm sanayi yapılarının % 85'i, ön üretimli sistem teknolojileri kullanılarak inşa edilmektedir. Ancak sektör; konut, eğitim, sağlık, ticaret alanlarında ve çok katlı yapılarda gelişim gösterememiştir. Tek katlı sanayi yapılarındaki başarının temel nedeni, alternatifi olan çelik sistemlere göre çok daha ekonomik olmasıdır. Çok katlı yapılardaki başarısızlığın nedeni ise, yapılar ön üretimli hücre ve panel sistemler (Şekil 2.44) ile inşa edildiğinden, bu sistemlerin alternatifi olan yerinde dökme betonarme sistem ya da tünel kalıp sistemlere kıyasla, ön yatırım maliyetinin yüksek olmasının yanı sıra kaliteli beton miktarının fazlalığı ve üretim arzının sınırlı olmasından dolayı ekonomik birim fiyatlara ulaşamamasından kaynaklanmaktadır. Çok katlı yapılarda moment aktaran birleşim tekniğini geliştirmek için yurtdışı lisanslı sistemler yaygın olarak uygulanmıştır. Bu da yeni sistemlerin Türkiye'de geliştirilmesine engel olmuştur. Son yıllarda ard-germe yöntemi ile ön üretimli moment aktaran birleşim teknikler, çok yaygın olmamakla beraber uygulanmaktadır (Şekil 2.45).



Şekil 2.43 Ön üretilmiş sistem ile üretilmiş tek katlı endüstri yapısı örnekleri [19]



(a)



(b)

Şekil 2.44 Çok katlı inşa edilen yapılar a) Panel sistem ile inşa edilen yapı b) Hücre sistem ile inşa edilen yapı [20]



Şekil 2.45 Türkiye’de ard-germe yöntemi ile inşa edilmiş ön üretilmiş yapı örnekleri [20]

3. ÖN ÜRETİMLİ SİSTEMLERİN DEPREM SIRASINDA UĞRADIĞI HASAR DURUMLARI

3.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı

Binaların deprem performansı, yapıya etkiyen düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem kuvvetlerinin birleşik etkileri altında değerlendirilir. Depreme dayanıklı yapı tasarımının amacı, yapıların ekonomik ömürleri içinde olacak hafif ve orta şiddetli depremlerde hiç hasar görmemelerinin ve yine aynı süre içinde oluşabilecek en şiddetli depremlerde de can kaybına yol açmayacak ve ekonomik biçimde onarılabilecek düzeyde hasar görmelerinin sağlanmasıdır. Yapının taşıyıcı sistemi, deprem enerjisini önemli düzeyde yutarak, bu sırada büyük yerdeğiştirmeler, büyük şekildeğiştirme ve büyük çatlaklar oluşmaksızın, yüklerini temele emniyetle aktarabilmelidir.

Bir yapının deprem performansının yeterli olabilmesi için şu üç koşulu sağlaması gerekmektedir:

- Yeterli dayanım
- Yeterli rijitlik
- Yeterli süneklik

Yapıların şiddetli depremler altında bile doğrusal-elastik olarak davranacak şekilde tasarlanması genel olarak ekonomik bir yaklaşım değildir. Depremi yapıya uyguladığı enerjinin yapı tarafından, büyük yerdeğiştirme, büyük çatlak ve toptan göçmeye neden olmayacak biçimde tüketilmesi gerekir.¹ Bu davranış ancak sünek² yapı tasarımı ile sağlanabilir. Yeterli sünekliği olmayan kesitler şekildeğiştirme kapasitelerine erişerek binada göçme mekanizmaları oluşturabilir. Bu nedenle süneklik, yapıda deprem enerjisinin tüketilmesi ve deprem etkisi altında binanın göçme sınırından uzakta kalabilmesi için çok önemlidir (Özer, 2007).

¹ Şiddetli deprem etkisi altında, yapı sisteminin kiriş, kolon ve perde türü taşıyıcı sistem eleman kesitlerindeki gerilmeler malzemenin akma dayanımına ulaşınca, yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar, betonarme yapılar) *plastik mafsallar* (veya plastik kesit) oluşur. Eğer eleman sadece eğilmeye çalışıyorsa, plastik mafsallı boyu kesit yüksekliğinin yarısına eşit alınır (DAE, 2007).

² Süneklik, yapı elemanlarının veya bir kesitin dayanımında önemli bir azalma olmaksızın, yapı sisteminin büyük şekildeğiştirme yapabilme özelliğidir ve sayısal olarak *süneklik katsayısı* (μ) ile tanımlanır. Bu katsayı, iç kuvvet etkileri (moment, kesme kuvveti, normal kuvvet) altındaki yapı, yapı elemanı veya kesitin, en temel anlamı ile göçme şekildeğiştirmesinin akma şekildeğiştirmesine oranıdır.

3.1.1 Depreme Dayanıklı Ön Üretimli İskelet Sistem Tasarımı

Ön üretimli iskelet sistem elemanlarının depreme dayanıklı olması büyük ölçüde birleşim noktalarının depreme dayanıklı olmasına bağlıdır. Birleşim noktaları, yeterli dayanıma sahip olmanın yanında, yeterli süneklik ve rijitlikte olmalıdır. Birleşim detayı ne kadar iyi olursa olsun, ön üretimli kolon-kiriş birleşimlerinde tersinir yükler altında gözlenen rijitlik azalması, yerinde dökme betonarme sisteme oranla daha fazla olmaktadır. Bu nedenle ön üretimli yapılarda daha fazla yanal ötelenme beklenmektedir. Ön üretimli kolon-kiriş birleşimleri için deprem davranışını belirleme ve performansını geliştirmenin en etkili yolu, birleşimlerin benzeşik dinamik yükler altında denenmesidir.

Depreme dayanıklı ön üretimli sistem tasarımında dikkat edilmesi gereken en temel özellikler şöyle sıralanabilir :

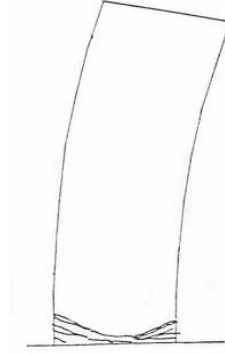
- Yanal ötelenmede büyük sorunlar doğurabilen mafsallı kolon-kiriş birleşimlerine izin verilen tek katlı ön üretimli yapılar için ek koşullar getirilmelidir.
- Tasarım aşamasında, birleşim detayları oluşturulurken tersinir yükler mutlaka dikkate alınmalı ve sistemin tersinir yükler altında kapasitesine kadar zorlanacağı unutulmamalıdır.
- Kaynaklanacak donatı çubukları varsa, bu çubukların kaynaklanabilir olduğu yapılacak metalürjik testlerle kanıtlanmalıdır.
- Kullanılacak donatı tipleri üzerinde çekme testleri ve gerekli metalürjik testler mutlaka yapılmalıdır.

Ön üretimli sistemlerde birleşim noktaları, deprem hareketinden doğabilecek tüm sorunlar göz önünde bulundurularak tasarlandığı takdirde, yerinde dökme betonarme sistem kadar iyi ya da daha iyi davranış göstereceği yapılan deneysel ve analitik çalışmalarla (Cheok vd., 1992; Nakaki vd., 1999) ispatlanmıştır.

3.1.2 Ön Üretimli İskelet Sistemlerin Deprem Etkisi Altındaki Davranışları

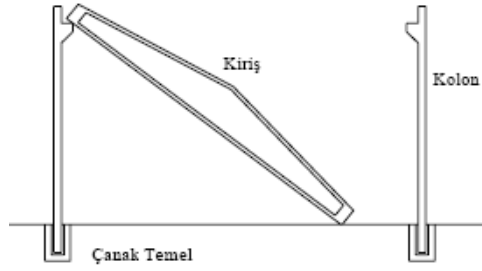
Ön üretimli iskelet sistem elemanlarının, birleşim bölgelerinin deprem yükleri altındaki davranışlarının deneylerle test edilip, uygun birleşim yönteminin uygulanması gerekmektedir. Bu birleşim bölgelerinin gerekli mühendislik hesapları yapılmadan tasarlanması sonucu yapının hasar alması kaçınılmazdır. Ön üretimli iskelet sistemlerde meydana gelen hasarlar şu şekilde özetlenebilir:

- Ön üretimli kolonun yatay yük altında gösterdiği eğilme tipi davranış nedeniyle plastik mafsall oluşması (Şekil 3.1).



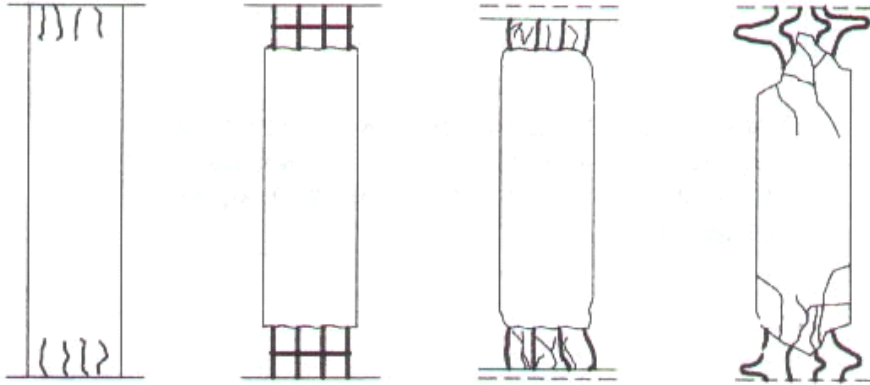
Şekil 3.1 Kolonda plastik mafsall oluşması (Paksoy, 1993)

- Düğüm noktası birleşimlerinin yetersizliği nedeniyle kirişin devrilip yere düşmesi (Şekil 3.2).



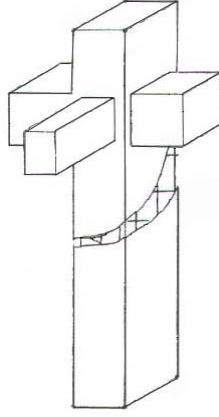
Şekil 3.2 Düğüm noktası birleşimlerinin yetersiz olma durumu [21]

- Kolondaki donatı burkulması sonucu betonun patlaması ile oluşan basınç çatlakları (Şekil 3.3).



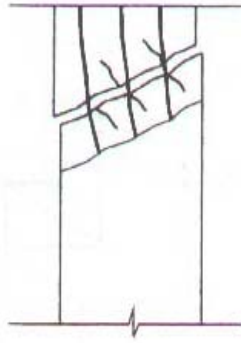
Şekil 3.3 Kolonda meydana gelen basınç çatlakları (Bayülke, 1990)

- Düşey ve yatay kuvvetler sonucu dönme ve diyagonal şekilde kolonda oluşan burulma çatlakları (Şekil 3.4).



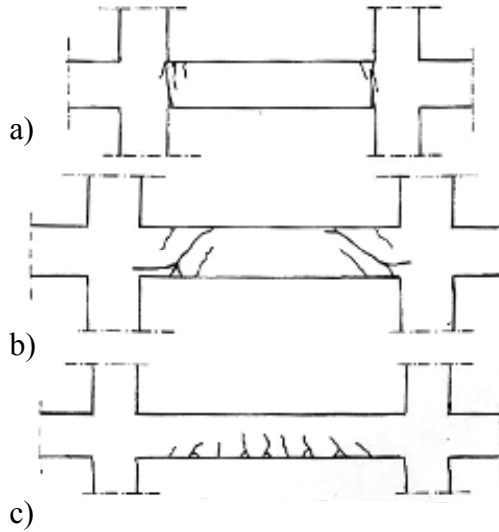
Şekil 3.4 Kolonda meydana gelen burulma çatlakları (Bayülke, 1990)

- Kolonda oluşan diyagonal kesme çatlakları (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Kolonda meydana gelen kesme çatlakları (Bayülke, 1990)

- Kirişte oluşan basınç, kayma ve çekme çatlakları (Şekil 3.6).





Şekil 3.6 Yatay yükler etkisi altında kirişte oluşan çatlaklar a) Basınç çatlakları b) Kayma çatlakları c) Çekme çatlakları (Bayülke, 1990)

3.2 Ön Üretimli Sistemlerin Geçmiş Büyük Depremlerdeki Hasar Durumları

Geçmişte yaşanmış büyük depremlerin karakteristik özellikleri ve ön üretimli sistemlerde meydana gelen hasarlar, resim ve fotoğraflarla desteklenerek, çizelgeler halinde aşağıda açıklanmıştır.

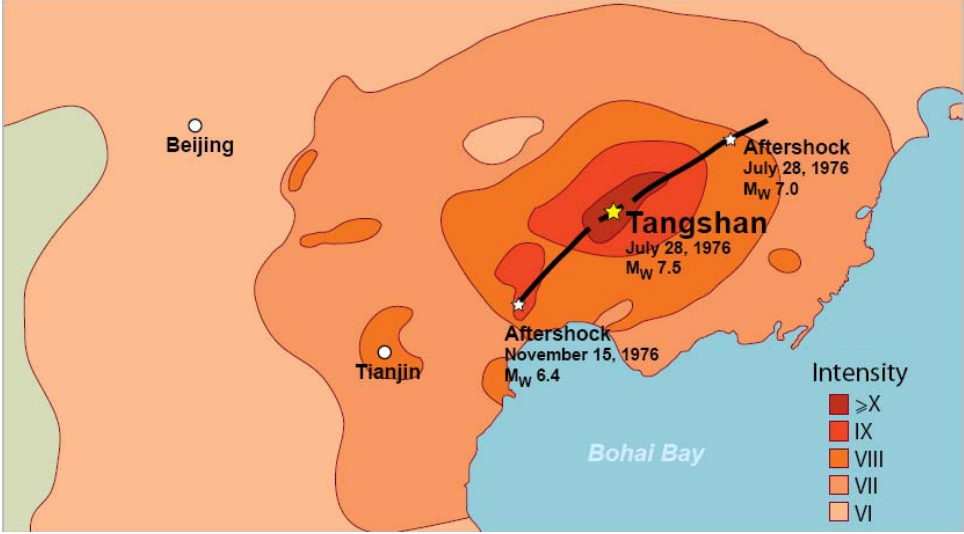


Çizelge 3.1 27 Mart 1964 Alaska depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

ALASKA	
	
[22] kaynağından alınmıştır.	
<p>Depremin Yeri: Alaska</p> <p>Depremin Tarihi: 27.03.1964, saat:17.36</p> <p>Depremin Dış Merkezi: Anchorage (61°04K, 147°73B)</p> <p>Odak Derinliği: 25 km</p> <p>Depremin Büyüklüğü: $M_w=9.2$</p>	<p>Depremin Şiddeti: XI</p> <p>Maksimum yer ivmesi: $a=0.98g$</p> <p>Ölü Sayısı: 131</p>
	<p>Depremde yıkılan ön üretimli yapılarda, o yıllarda ön-germeli çift T kiriş-döşeme elemanları, T kolon ve boşluklu duvar panellerinin sıklıkla kullanıldığı gözlenmiştir. Fotoğraftaki tek katlı yapı da bunun bir örneğidir. Ön üretimli elemanlar arasındaki birleşimler kaynaklı birleşimdir. Depremde kirişler ve duvarlarda eğilme etkisi ile büyük ötelenmeler oluşmuş, yapının batı ve kuzey duvarları tamamen çökmüştür [23].</p>
Yapının Özellikleri: Ön üretimli sistem	




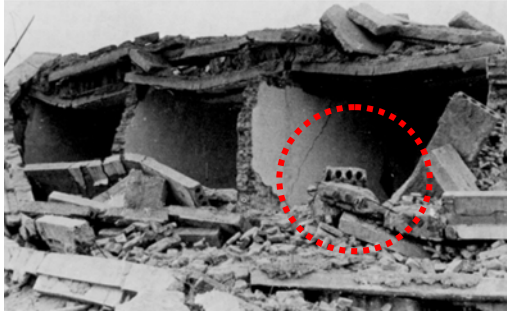

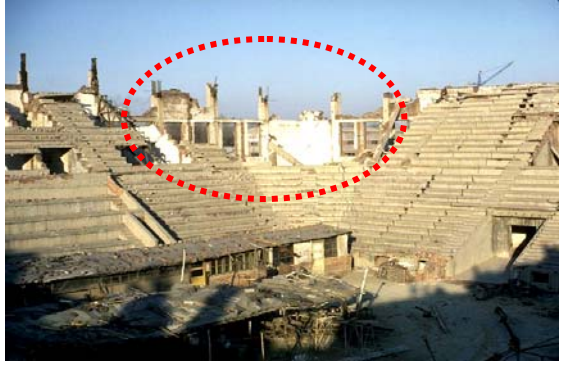
Çizelge 3.1'in devamı

	
<p>Fotoğraftaki yapı ön üretilmiş ön-germeli T kiriş-döşeme elemanı, T kolon ve duvar panellerinden oluşmuştur. Depremde kolon ve duvarlar arasındaki birleşimler hasar aldığından, yapı çökmüştür [24].</p>	<p>5 katlı <i>Avenue Chrysler Center</i> yapısı ön üretilmiş ön-germeli T kiriş-döşeme elemanı ve duvar panellerinden oluşmuştur. Kolonlar ile çatı birleşimlerinin zayıflığından dolayı, depremde yapı tamamen çökmüş, T kiriş binanın bitişiğindeki aracın üstüne düşmüştür [24].</p>
	
<p>60m uzunluğundaki yapı ön üretilmiş ön-germeli T kirişli döşeme elemanları, T kolon ve duvar panellerinden oluşmaktadır. Deprem sırasında ön üretilmiş elemanlar arasındaki birleşimler yetersiz olduğundan dolayı, ön üretilmiş elemanlar mesnetten düşmüştür. Ancak elemanların kendilerinde hasar meydana gelmemiştir [23].</p>	<p>Fotoğraftaki yapı ön üretilmiş ön-germeli T kirişli döşeme elemanı ve boşluklu duvar panellerinden oluşmaktadır. Deprem sırasında duvar panelleri ile kiriş arasındaki birleşimlerin yetersiz olması sonucu mesnetten düşmeler gözlenmiş ve paneller yıkılmıştır [23].</p>
	
<p>Depremde birleşim noktalarında meydana gelen hasarlar [23].</p>	

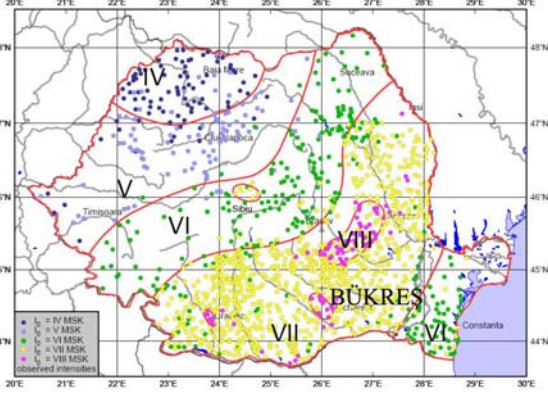


Çizelge 3.2 28 Temmuz 1976 Tangshan depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

ÇİN	
 <p>[25] kaynağından alınmıştır.</p>	
<p>Depremin Yeri:Çin</p> <p>Depremin Tarihi: 28.07.1976, saat:3.42</p> <p>Depremin Dış Merkezi: Tangshan (39°60K, 118°20D)</p> <p>Odak Derinliği: 15 km (USGS)</p> <p>Depremin Büyüklüğü: $M_w=7.5$, $M_s=7.8$</p>	<p>Depremin Şiddeti: XI (USGS)</p> <p>Maksimum yer ivmesi: $a > 0.2g$</p> <p>Ölü Sayısı: 242419</p> <p>Yaralı sayısı: 779000</p> <p>Ölü Sayısı/ Yaralı Sayısı: 0.30</p>
	<p>Tamamen ön üretimli elemanlardan oluşmuş yapı, deprem sırasında birleşim yerlerinden hasar almış, elemanlarının kendilerinde hasar oluşmamıştır. Deprem sonrasında solda görüldüğü gibi güçlendirme yapılmıştır [23].</p>
<p>Yapının Özellikleri: Ön üretimli iskelet sistem ve panel sistem</p>	







Çizelge 3.2'nin devamı

	
<p>Ön üretilmiş iskelet sistem olarak tasarlanmış ve depremde büyük hasar almış üniversite yapısıdır [23].</p>	
	
<p>Dış duvarları tuğla, döşeme sistemi ön üretilmiş elemanlardan oluşmuş konut yapısının dış duvarları depremde tamamen çökmüş, döşemeler ise birleşim yerlerinden hasar almıştır [26].</p>	<p>Taşıyıcısı yerinde dökme betonarme sistem olan yapının döşeme sistemi ön üretilmiş boşluklu döşeme elemanlarından oluşmaktadır. Depremde döşemelerin tümü hasara uğramıştır [26].</p>
	
<p>Dış duvarları tuğla olan yapının kirişleri ve döşeme elemanları ön üretilmiş sistemdir. Depremde yapının sadece köşesindeki dış duvar çökmüştür [26].</p>	<p>Ön üretilmiş iskelet sistem üzerine oturtulmuş stadyum yapısı depremde kısmen çökmüştür [23].</p>

Çizelge 3.3 4 Mart 1977 Romanya depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

ROMANYA	
 <p>(NHES, 2005) kaynağından alınmıştır.</p>	<p>Deprem Yeri: Romanya</p> <p>Deprem Tarihi: 04.03.1977, saat:21.21</p> <p>Deprem Dış Merkezi: Bükreş (45°80K, 26°70D)</p> <p>Odak Derinliği: 94-110 km</p> <p>Deprem Büyüklüğü: $M_w=7.2$</p> <p>Deprem Şiddeti: VII- IX (MSK)</p> <p>Maksimum yer ivmesi: $a=0.29g$</p> <p>Ölü Sayısı: 1000-1570</p> <p>Yaralı sayısı: 4000-11300</p> <p>Ölü Sayısı/ Yaralı Sayısı: 0.1-0.25</p>
	<p>Romanya'da 1960-1990 yılları arasında ön üretimli sistem inşası gelişme göstermiştir. Özellikle 1977 Bükreş depreminde yerinde dökme betonarme sistem olarak inşa edilmiş 30'un üzerinde yapı çökmüştür. Ön üretimli sistem ile üretilmiş binalarda ise daha az hasar meydana gelmiştir. Bu depremden sonra ön üretimli sistemle ilgili tecrübe kazanılmış ve üretimi yaygınlaşmıştır. Yandaki fotoğrafta Bükreş'in güney bölgesindeki ön üretimli olarak inşa edilmiş yapı depremde hasar almadan ayakta kalmıştır [23].</p>
	<p>Yapının Sistem Özellikleri: Ön üretimli sistem</p>



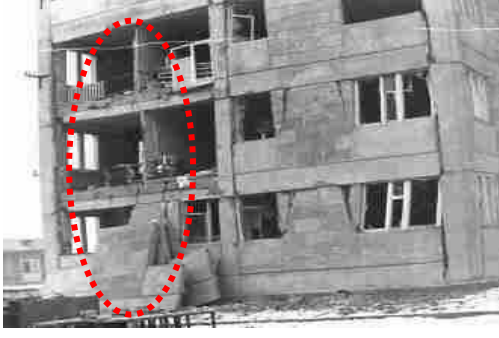



Çizelge 3.3'ün devamı

	
<p>Ön üretimli olarak inşa edilmiş yapıda oluşan kolon hasarları görülmektedir. Ayrıca kolonlarda bulunan etriye çap ve aralıkları yetersizdir [23].</p>	
	
<p>Depremde yapının eğilmesinden dolayı kolonlarda ezilmeler oluşmuş ve kolon merkezinden çökmüştür [23].</p>	<p>Fotoğraftaki iki binadan hasar almadan ayakta duran yapı ön üretimli hücre sistem ile inşa edilmiştir. Diğer yapı ise temel sisteminin yeterli dayanımda olmamasından dolayı eğilerek hasar almış yerinde dökme betonarme sistem yapıdır [23].</p>
	
<p>Fotoğraflarda eğilmeden kaynaklanan aşırı ötelenmelerden dolayı ön üretimli yapının cephesinde oluşan hasarlar görülmektedir [23].</p>	

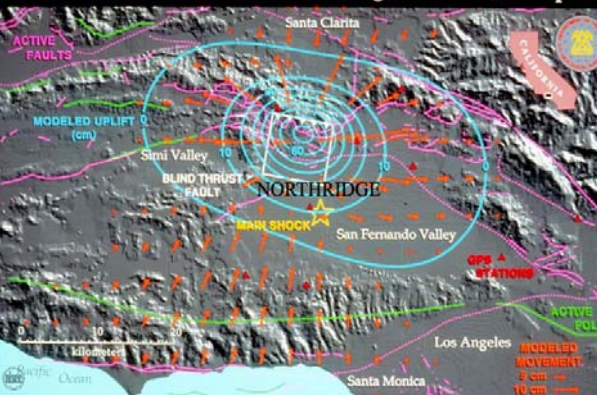

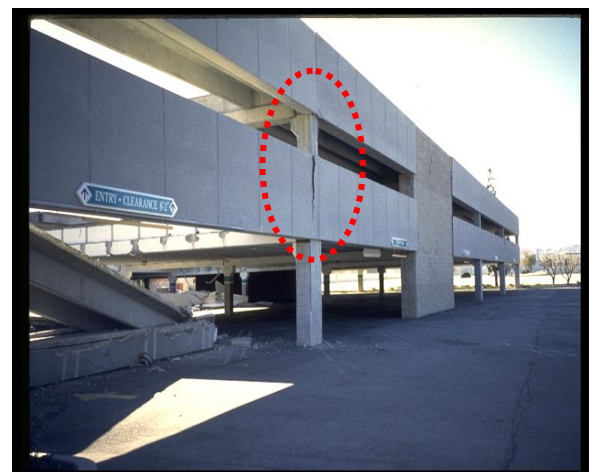

Çizelge 3.4 7 Aralık 1988 Ermenistan depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

ERMENİSTAN	
 <p>(Balassanian, 1995) kaynağından değiştirilerek alınmıştır.</p>	<p>Depremin Yeri: Ermenistan</p> <p>Depremin Tarihi: 07.12.1988, saat:11.41 (yerel saat 07.41)</p> <p>Depremin Dış Merkezi: Spitak (40°91K, 44°25D)</p> <p>Odak Derinliği: 10 km</p> <p>Depremin Büyüklüğü: $M_w=7.1$, $M_s=6.9$</p> <p>Depremin Şiddeti: IX (MSK)</p> <p>Maksimum yer ivmesi: $a=0.119g$</p> <p>Ölü Sayısı: 25000</p> <p>Yaralı Sayısı: 15000</p> <p>Ölü Sayısı/ Yaralı Sayısı: 1.66</p>
	<p>1988 Spitak depreminde 19 adet iskelet sistem olarak inşa edilmiş ön üretimli yapı depremde hasar alarak çökmüştür. Ön üretimli büyük boy panel sistem binalar ise ayakta kalmış, sadece yatay ve düşey birleşim noktalarında küçük çatlaklar oluşmuştur. Depremin merkezine yakın olan Leninakan şehrinde endüstriyel yapılar tamamen çökmüştür. Bu depremde çok fazla yıkım olmasının nedenleri, bölgenin yüksek sismik aktivitesi düşünülmeden tasarım yapılmış olması, yetersiz kalite kontrol ve yetersiz mühendislik hizmetleridir [26].</p>
<p>Yapının Sistem Özellikleri: Ön üretimli büyük boy panel sistem, Ön üretimli iskelet sistem</p>	

Çizelge 3.4'ün devamı

	
<p>Depremde hasar almış ön üretimli iskelet sistem yapı [26].</p>	<p>Depremde hasar almış ön üretimli kolon [26].</p>
	
<p>Leninakan bölgesinde hasar almış ön üretimli panel sistem yapı [26].</p>	<p>Depremde hasar almış ön üretimli kiriş [26].</p>
	
<p>Leninakan bölgesinde dört katlı yığma yapının orta bölümü ön üretimli elemanlardan oluşmuştur. Döşemeler ve duvarlar arasındaki birleşim zayıflığından dolayı ön üretimli elemanlar hasar alarak çökmüştür [26].</p>	<p>Depremde çöken 5 katlı bu bina, ön üretimli iskelet sistem olarak inşa edilmiştir. Deprem sonrasında çıkan yangının sonucunda sadece bina köşeleri ayakta kalmıştır. Binanın orta bölgesindeki kolon, kiriş ve döşeme elemanları arasındaki birleşimlerin yetersiz olması nedeniyle yapı büyük ölçüde çökmüştür [26].</p>

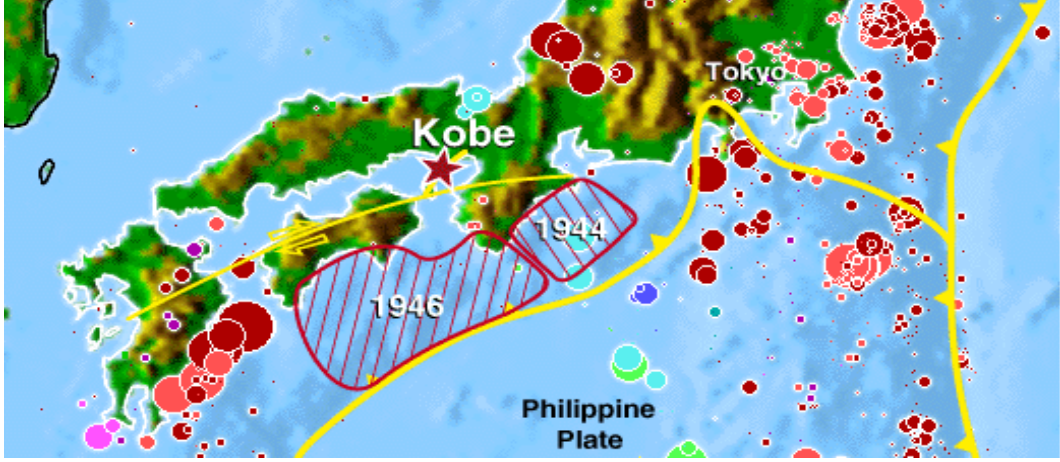

Çizelge 3.5 17 Ocak 1994 Northridge depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

ABD	
<p>Deformation of the 1994 M=6.7 Northridge, California, Earthquake</p>  <p>[24] kaynağından alınmıştır.</p>	<p>Depremin Yeri: California</p> <p>Depremin Tarihi: 17.01.1994, saat:4.31</p> <p>Depremin Dış Merkezi: Northridge (34°12K, 118°32B)</p> <p>Odak Derinliği: 17 km</p> <p>Depremin Büyüklüğü: $M_w=6.7$</p> <p>Depremin Şiddeti: IX (USGS)</p> <p>Maksimum yer ivmesi: $a=0.4g$</p> <p>Ölü Sayısı: 57</p> <p>Yaralı sayısı: 1500</p> <p>Ölü Sayısı/ Yaralı Sayısı: 0.04</p>
	<p>Bu depremde yapıların çok büyük hasar almasının nedeni, zemin yapısının zayıflığı ve depremden sonra bir düzine yangının çıkmasıdır. Özellikle San Fernando Vadisi bölgesi depremin dış merkezine yakın ve yapılaşmanın yoğun olduğu bir bölge olduğu için çok büyük kayıplar oluşmuştur. Fotoğraflarda, bu depremde çok büyük hasar almış, ön üretimli iskelet sistem olarak inşa edilmiş <i>Northridge Fashion Center</i> yapısının otopark binası görülmektedir. Döşeme sistemleri ve binayı çevreleyen dış duvarlar ön üretimli olarak üretilmiştir [27].</p>
<p>Yapının Özellikleri: Ön üretimli iskelet sistem</p>	
	


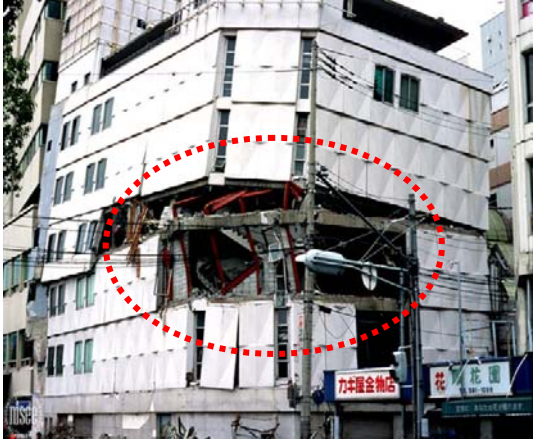
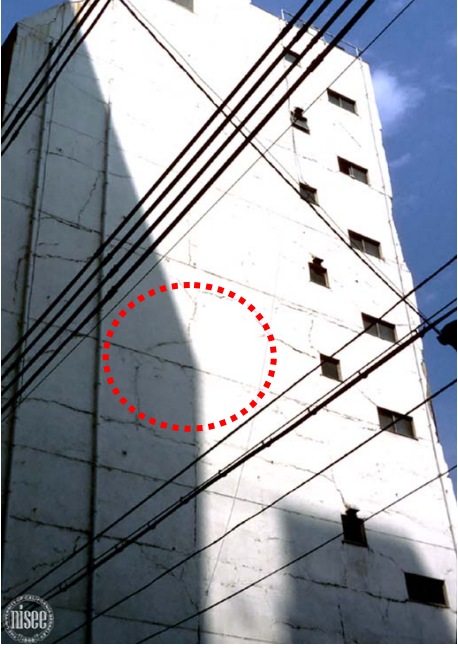

Çizelge 3.5'in devamı

	
<p>Yapının dış çerçevesi ön üretimli ard-germeli moment aktaran sistemle inşa edilmiştir. İç kısmında ise kiriş-kolon birleşimleri mafsallı olup sadece sürtünme ile kesme kuvvetinin aktarıldığı kirişler mesnetlerinden koparak düşmüştür. İç kısımdaki çerçevelerin göçmesi sonucu dış çerçeve de içeri doğru eğilmiştir. Kirişlerin yerinden kopmasında, mesnet bağlantısının yetersizliği, oturma boyunun kısa olması ve depremin düşey yer ivmesi etkili olmuştur (Erdey, 2007).</p>	
	
<p>Glendale Kent Merkezinin arkasında bulunan ön üretimli iskelet sistem otopark yapısının döşemeleri büyük hasar almıştır [23].</p>	<p>Culver City yakınında (Los Angeles, California) bulunan ön üretimli olarak inşa edilmiş otopark yapısının kolonlarında çatlaklar oluşmuştur [23].</p>
	
<p>Taşıyıcı sistemi çelik çerçeve olan 4 katlı yönetim binasının ön cephesi ise panel elemanlarla kaplanmıştır. Yapı, Northridge depreminde önemli hasar almamış, sadece pencere kenarlarında küçük çatlaklar oluşmuştur [23].</p>	<p>Köprü tabliyesi mesnetten kayarak düşmüştür (PCI, 2002).</p>

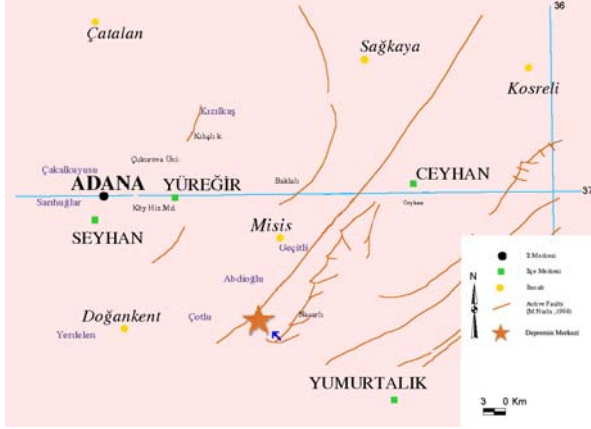
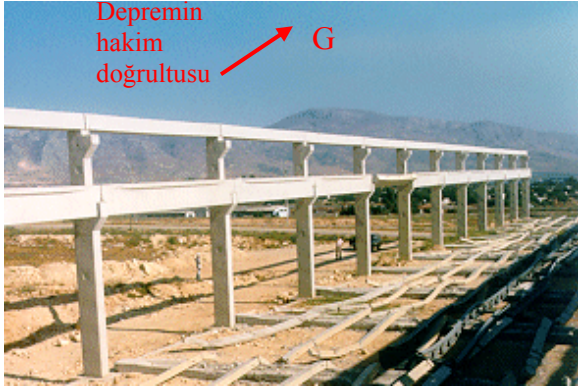
Çizelge 3.6 17 Ocak 1995 Kobe depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

JAPONYA	
 <p>[24] kaynağından alınmıştır.</p>	
<p>Depremin Yeri: Japonya</p> <p>Depremin Tarihi: 17.01.1995, saat:5.46</p> <p>Depremin Dış Merkezi: Kobe/Hanshin (34°6K, 135°0D)</p> <p>Odak Derinliği: 14 km</p> <p>Depremin Büyüklüğü: $M_w=6.9$</p>	<p>Depremin Şiddeti: VII</p> <p>Maksimum yer ivmesi: $a=0.9g$</p> <p>Ölü Sayısı: 6000</p> <p>Yaralı sayısı: 26000</p> <p>Ölü Sayısı/ Yaralı Sayısı: 0.23</p>
	<p>Şekildeki yapının taşıyıcı sistemi çelik çerçeve olup, içindeki konut blokları ön üretimli hücre sistemden üretilmiştir. 25-35m uzunluğunda kazıklar üzerine oturtulmuş yapı 1979'da tamamlanmıştır. Yapının bulunduğu zeminin alüvyonel olmasından dolayı, 1995 Kobe depreminde geniş bir alanda sıvılaşma gözlenmiştir. Buna rağmen yapım sistemi açısından depreme dayanıklı olarak üretildiği için yapı çok az hasar almıştır [23].</p>
<p>Yapının Sistem Özellikleri: Çelik iskelet sistem+ön üretimli hücre sistem</p>	

Çizelge 3.6'nın devamı

	
<p>Yapının taşıyıcı sistemi yerinde dökme betonarme sistem olup, cephe elemanları ön üretimli paneller ile oluşturulmuştur. Depremde cephe panelleri köşe birleşim noktalarından önemli ölçüde hasar almıştır [23].</p>	
	
<p>60m yüksekliğinde çelik taşıyıcı sistem ve ön üretimli paneller ile inşa edilmiş 14 katlı bu yapının taşıyıcı sistemi hasar almamıştır. Depremde yapının görece kat yer değiştirmesi yaklaşık olarak %1 olarak ölçülmüştür. Hasar cephedeki panel elemanlarda oluşan çatlaklar ile sınırlıdır [23].</p>	<p>Çökmeye varan ciddi hasarlar oluşmuş diğer bir yapı örneğidir [23].</p>

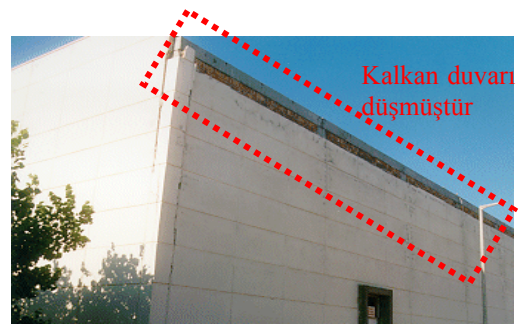
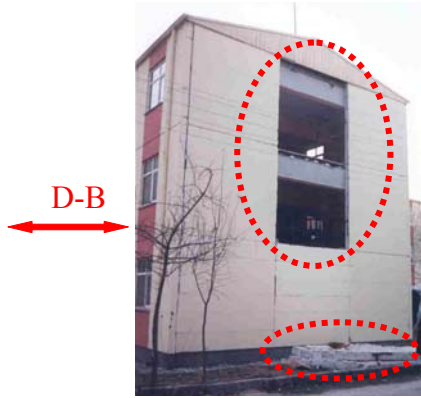
Çizelge 3.7 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

TÜRKİYE	
 <p>[28] kaynağından alınmıştır.</p>	<p>Depremin Yeri: Türkiye</p> <p>Depremin Tarihi: 27.06.1998, saat:16.56</p> <p>Depremin Dış Merkezi: Ceyhan (35°85K, 35°55D)</p> <p>Odak Derinliği: 13 km (MAM), 22 km (DAE)</p> <p>Depremin Büyüklüğü: $M_s = 6.3$</p> <p>Depremin Şiddeti: VIII</p> <p>Maksimum yer ivmesi: $a=0.22g$</p> <p>Ölü Sayısı: 145</p> <p>Yaralı sayısı: 1000-1500</p> <p>Ölü Sayısı/ Yaralı Sayısı: 0.1</p>
 <p>Adana Organize Sanayi Bölgesindeki Kompresör Fabrikası inşaatından geriye kalanlar [21].</p>	<p>Bu depremin önemli bir özelliği de en fazla hissedildiği Misis bölgesinde çok sayıda ön üretimli yapı bulunması ve bazı ön üretimli yapıların tamamen yıkılmış olmasıdır. Adana Organize Sanayi Bölgesinde önemli sayıda fabrika yapısında yer yer yıkıma varan ağır hasarlar oluşmuştur. Yine aynı tip ön üretimli sistem ile yapılmış bir fabrikada inşa halinde bir ön üretimli çerçevenin bütün kiriş ve aşıkları mesnetlerden düşerek yıkılmıştır. Hasar gören ön üretimli yapılar içinde genellikle kirişleri yaklaşık doğu-batı yönünde uzanan yapılarda, kirişler güney yönünde yıkılmıştır. Bu da çerçevelerin düzlemine dik doğrultudaki deprem etkisine karşı zayıf olduğunu, uygun tasarlanmadığını göstermektedir. Bu deprem ön üretimli sistem uygulamaları için ciddi bir uyarı niteliğinde olup, birleşim noktalarının depreme dayanıklı tasarlanması konusunda önemli bir deneyim olmuştur [21].</p>
 <p>Coşkunlar Ltd., Ceyhan [21].</p>	
<p>Yapının Özellikleri: Ön üretimli iskelet sistem</p>	

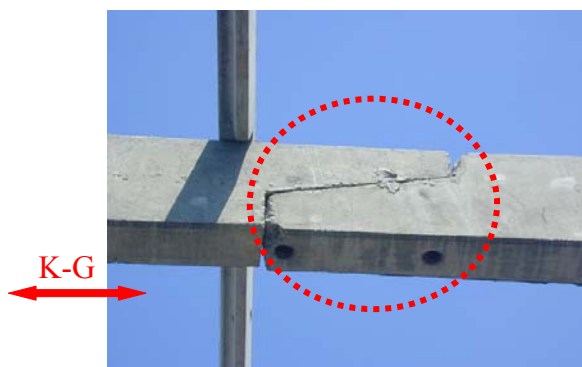
Çizelge 3.7'nin devamı



Deprem sırasında kirişlerde oluşan atalet kuvvetleri, mesnet bağlantılarının yetersizliği nedeniyle kolonlara aktarılamamış, bunun sonucunda eğik çatı kirişleri ve aşıklar çatı kaplamalarıyla birlikte aynı yönde devrilip yere düşmüştür [21].









Adana Organize Sanayi Bölgesinde bir ilaç firmasına ait depolama ve paketleme tesisinin dış duvarları üst kısmından ayrılmıştır. Taşıyıcı sistemi ön üretimli iskelet sistem olan yapının dış cephesi, 8-8.5m yüksekliğinde tuğla duvar ile kaplanmıştır. Yapının doğu-batı yönünde uzanan yaklaşık 1m yüksekliğindeki kalkan duvarları mesnetten koparak düşmüş, dış duvarların da bir bölümü yıkılmış ve köşelerde duvarlar birbirlerinden ayrılmıştır [21].



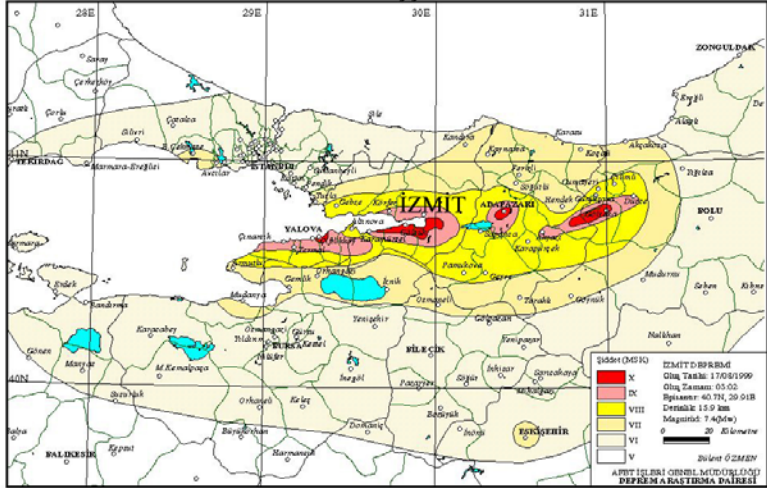

Kuzey-güney yönünde uzanan ön üretimli sistemlerde hasar, kirişlerin uçlarında kolonlara bağlantı deliklerinin bulunduğu yerlerde düşey çatlaklar biçiminde olmuştur [21].

Ön üretimli "T" kolon üzerine oturtulmuş ön üretimli kiriş arasındaki birleşimin yetersizliğinden dolayı depremde hasar oluşmuştur [21].




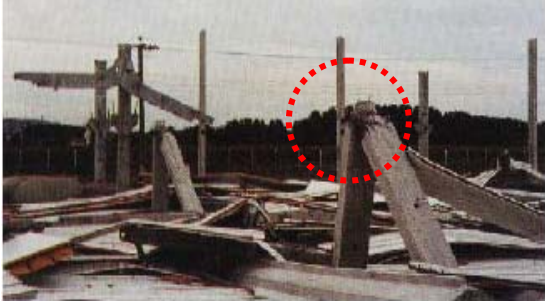


Çizelge 3.7'nin devamı

	
<p>Kolonların yanal ötelenme sınırını sağlayacak kesitli olmamaları sonucunda; aşırı ötelenmeler ile birleşimlerde zorlanmalar oluşmuş, zaten yetersiz olan birleşimler hasar almış ve kirişler düşmüştür [21].</p>	<p>Mesnet bölgesi kaynakla birleştirilen birleşimler ankastre yerine elastik ankastre mesnet olarak çalışmıştır. Kesitin narinliği ve aktarılan yükün fazla olması sonucunda inceltilmiş uçta çatlaklar oluşmuştur [21].</p>
	
<p>Yapıda diyafram davranışı oluşturulamamış ve buna bağlı olarak iskelet sistem elemanları birbirinden bağımsız olarak hareket etmiştir. Bunun sonucunda eğimli çatı kirişlerinin yanal stabilitesi sağlanamamış, sistem toptan göçmüştür [21].</p>	<p>Ön üretilmiş kolonda yatay yük altında eğilme tipi davranış nedeniyle oluşan plastik mafsallık görülmektedir [21].</p>
	
<p>Yetersiz kolon kesitleri bulunan yapılarda yanal hareket sınırını aşan kolonlarda kesitin yeterliliği ile ters orantılı hasarlar meydana gelmiştir [21].</p>	<p>Ön üretilmiş boşluklu döşeme elemanlarının bazıları depremde mesnetlerden koparak düşmüştür [21].</p>

Çizelge 3.8 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara (Kocaeli) depremi özellikleri ve hasar gören ön üretimli yapılar

TÜRKİYE	
İZMİT DEPREMİNİN EŞİDDET HARİTASI	
	
[28] kaynağından alınmıştır.	
<p>Deprem Yeri: Türkiye</p> <p>Deprem Tarihi: 17.08.1999, saat: 03.02</p> <p>Deprem Dış Merkezi: Gölcük ve Arifiye (40°70K, 29°91D)</p> <p>Odak Derinliği: 15.9 km</p> <p>Deprem Büyüklüğü: $M_w=7.4$, $M_s=7.8$, $M_b=6.3$</p> <p>Deprem Şiddeti: X (MSK)</p>	<p>Maksimum yer ivmesi: $a=0.40g$ (Sakarya)</p> <p>$a=0.35g$ (Düzce)</p> <p>$a=0.22g$ (İzmit)</p> <p>$a=0.06g$ (İstanbul)</p> <p>Ölü Sayısı: 17479</p> <p>Yaralı sayısı: 43953</p> <p>Ölü Sayısı/ Yaralı Sayısı: 0.4</p>
 <p>Dusa fabrika binası [23].</p>	<p>1999 İzmit depreminin etkisi altında kalan bölgelerde hasar alan ön üretimli sistemler genellikle sanayi yapılarıdır. Özellikle fabrikaların gerektirdiği geniş açıklıklı, 10-15m ve daha büyük, 4.0 metreden daha yüksek, imalat ve depo hacimlerinin ön üretimli iskelet sistem ile inşa edilmesi son 20-25 yılda ülkede büyük ölçüde yayılmıştır. Bugün ön üretimli yapı firmalarının çalışma alanının büyük bir bölümünü sanayi kuruluşlarının depo ya da tek katlı fabrika binaları oluşturmaktadır. Fotoğraftaki yapı ön üretimli elemanlardan oluşmuş ve depremde önemli hasar almamıştır.</p>
<p>Yapının Özellikleri: Ön üretimli sistem</p>	

Çizelge 3.8'in devamı

	
<p>Ön üretimli kirişler, yetersiz sistem rijitliğinin ve yetersiz birleşim detaylarından dolayı depremde mesnetlerden koparak düşmüştür [23].</p>	
	
<p>Depremde ağır hasar almış bir kolon [23].</p>	<p>Ön üretimli yapıların deprem sırasında ortaya çıkan yükleri karşılayacak rijitlikte olması hedeflenir. Fotoğrafta, yetersiz rijitlik nedeniyle meydana gelmiş kolon hasarı görülmektedir (Atakoy, 2000).</p>
	
<p>Yetersiz kolon kesitleri bulunan yapılarda, yanal hareket sınırını aşan kolonlarda kesitin yeterliliği ile ters orantılı hasarlar meydana gelmiştir (Atakoy, 2000).</p>	<p>Depremde ön üretimli kolonda plastik mafsallı oluşmuş, ancak boyu kolonun alt bölgesiyle sınırlı kalmamıştır. Bu da kolonun yaptığı yatay yerdeğiştirmenin büyüklüğünü göstermektedir (PCI, 2002).</p>

4. ÖN ÜRETİMLİ SİSTEMLERDE BİRLEŞİM DETAYLARI

Ön üretimli sistemlerin birleşim detayları, yük aktarabilen ve dayanım gereksinmelerine dikkat edilerek uygulanan özel çözümlerdir. Özellikle deprem kuşağında yer alan ülkeler için yapıların, düşey yüklerin yanında yatay kuvvetlere karşı da dayanıklı olması gerekmektedir. Birleşim noktalarında genel olarak basınç, çekme ve kesme kuvvetleri ile eğilme ve burulma momentlerin aktarılması söz konusu olabilir. Birleşimlerde önemli olan, elemanlara etkiyen aksel kuvvet, moment ve kesme kuvvetinin tersinir yükler altında aktarımının gerçekleşmesi, gerekli süneklik ve enerji tüketiminin sağlanabilmesidir (Paksoy, 1993). Seçilen birleşim detayları yakın zamana dek dünyada yaygın olarak uygulanan düzenlemelerdir.

Ön üretimli betonarme sistemlerde bileşenler arasındaki birleşim yöntemleri genel olarak dört ana başlıkta incelenebilir.

- a) Kuru birleşimler (kaynaklı, bulonlu v.s.)
- b) Yerinde dökme birleşimler
- c) Geçmeli birleşimler
- d) Ard-germe birleşimler

Kuru birleşimler, ön üretimli elemanlara gömülen çelik plakanın kaynaklanarak uygulandığı birleşim yöntemidir. Bu tür birleşimlerde moment ve kesme kuvveti kaynatılan çelik plaka yardımıyla aktarılır.

Yerinde dökme birleşimler, ön üretimli elemanlardan çıkan donatı filizlerinin birbirlerine kaynatıldıktan sonra boşluklara rötre yapmayan harç dökülerek uygulanan birleşim yöntemidir. Bu birleşimler yapıya monolitik davranış özelliği kazandırır.

Geçmeli birleşimler, ön üretimli elemanlardan birinde bırakılan donatı filizleri diğer elemandaki yuvalara yerleştirilir. Daha sonra boşluklar rötre yapmayan harçla doldurulur. Bu tür birleşimlerde kesme kuvveti donatı filizleri tarafından karşılanır.

Ard-germe birleşimler, ön üretimli eleman içine yağlanarak veya tüp içine alınarak betona yapışmaması sağlanmış çelik halatların montaj sırasında hidrolik krikolarla çekme uygulanıp uçlarının akre edildiği yöntemdir. Aderanssız ard-germeli sistemde gergi halatları korozyona karşı korunmalıdır. Bu tür birleşimin tersinir yükler altında olumlu davranış gösterdiği yapılan deneylerle gözlenmiştir (Yarar, 1967).

4.1 Ön Üretimli İskelet Sistem Elemanları Arasındaki Birleşim Detayları

Ön üretimli sistem elemanları arasında uygulanan birleşimler moment aktarma kapasitelerine göre moment aktarmayan, yarı rijit ve moment aktaran birleşimler olmak üzere 3 grupta toplanmaktadır.

Moment Aktarmayan (Mafsallı) birleşimler: Moment aktarmayan sadece kesme kuvveti aktaran birleşimlerdir.

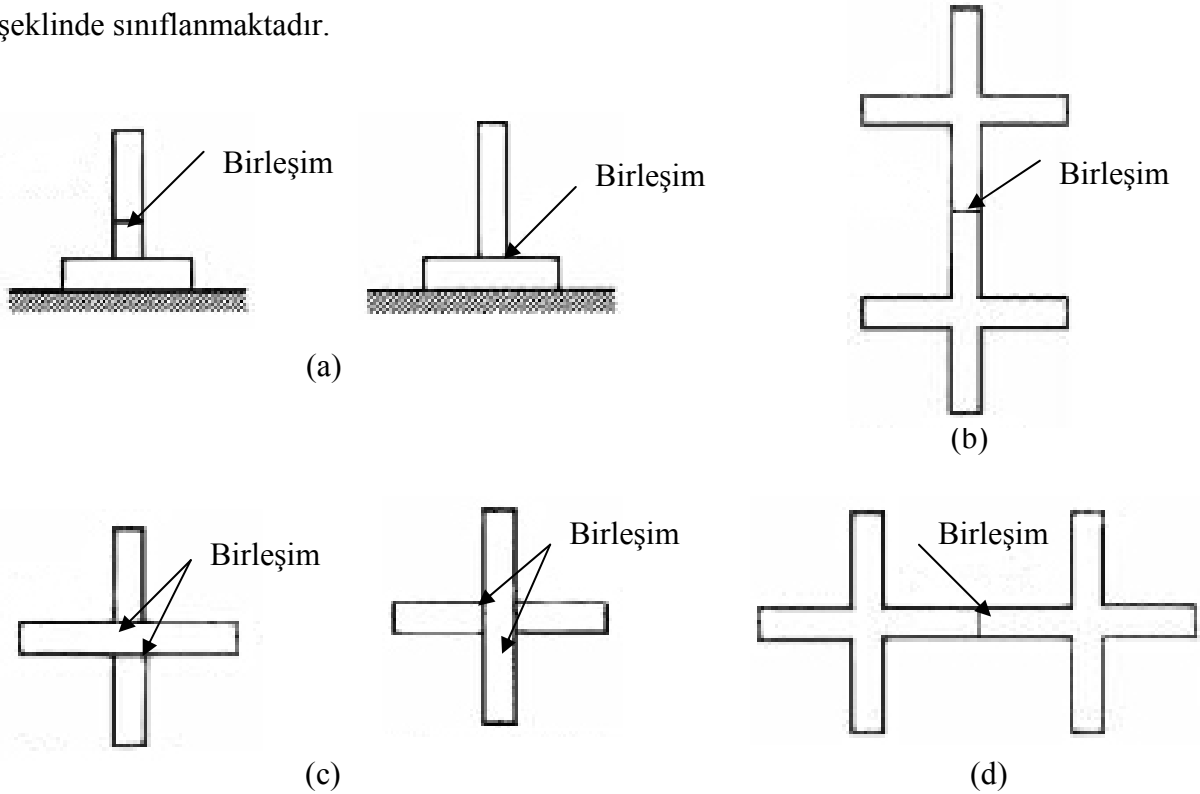
Yarı Rijit Birleşimler: Kesme kuvveti aktarabilen ve kısmen moment aktarabilen birleşimlerdir.

Moment Aktaran Birleşimler: Kesme kuvveti ve moment aktarabilen birleşimlerdir. Az ve çok katlı yapılarda, sismik açıdan aktif bölgelerde uygulanır.

Birleşim detayları;

- Kolon-temel birleşimi (Şekil 4.1a)
- Kolon-kolon birleşimi (Şekil 4.1b)
- Kolon-kiriş birleşimi (Şekil 4.1c)
- Kiriş-kiriş birleşimi (Şekil 4.1d)

şeklinde sınıflanmaktadır.



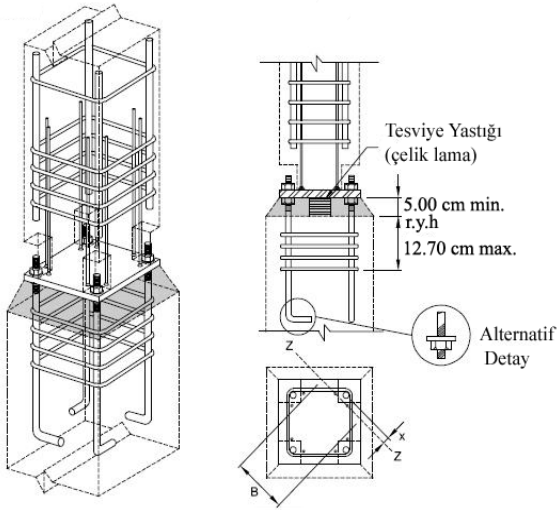
Şekil 4.1 Ön üretimli iskelet sistem elemanları arasındaki birleşimler a) Kolon-temel birleşimi b) Kolon-kolon birleşimi c) Kolon-kiriş birleşimi d) Kiriş-kiriş birleşimi (Ghosh, 1997)

4.1.1 Kolon-Temel Birleşimi

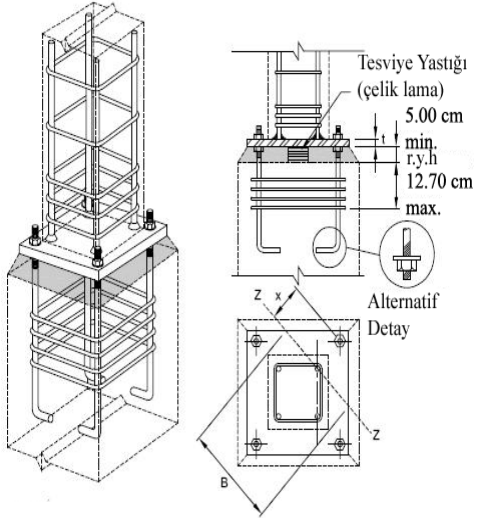
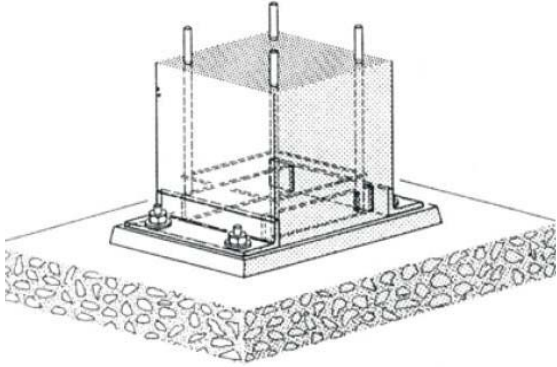
Kolon-temel birleşiminde yuvalı temele (soket) kolonun oturtulması yöntemi çok kullanılmaktadır. Bunun yanısıra kaynaklı ve bulonlu olarak kuru, yerinde dökme ve geçmeli olarak ıslak birleşim yöntemleri uygulanmaktadır.

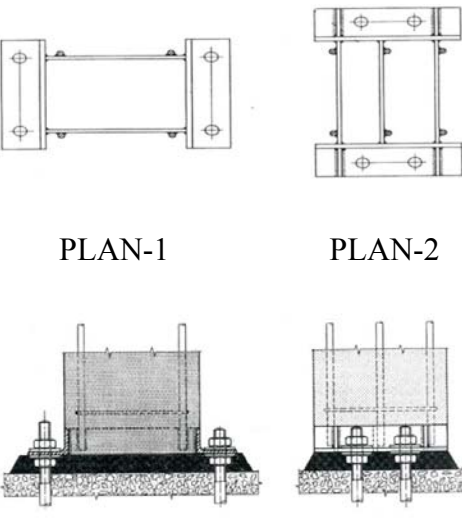
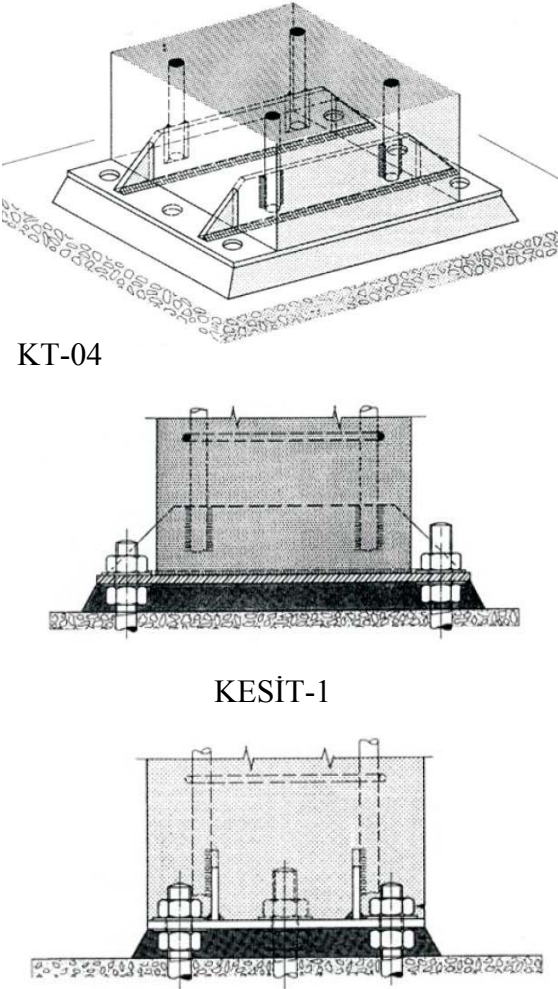
Ön üretimli iskelet sistem düğüm noktası tasarımlarının deprem güvenliğine uygun olmasında uygulanabilecek birleşim yöntemleri PCI, 1988; TPB, 2003; PCI, 2005 kaynaklarından yararlanılarak çizelgeler halinde sınıflandırılmıştır.

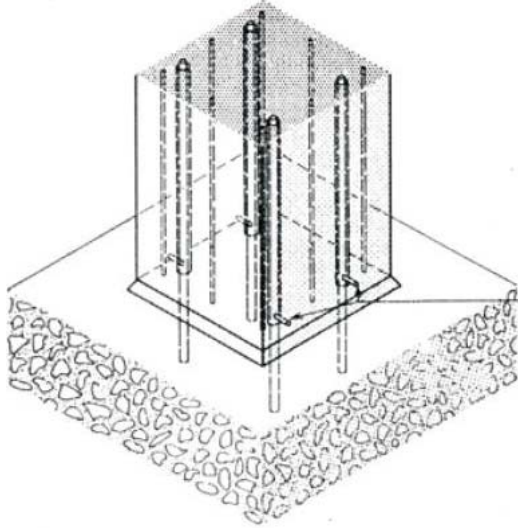
Çizelge 4.1 Kolon-temel birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği

 <p style="text-align: center;">KT-01</p>	<p>Kolonla Aynı Büyüklükte Çelik Plaka Yardımıyla Birleşim (KT-01)</p> <p>Kolon, boyuna donatılarına kaynaklanmış, kendisi ile aynı veya biraz daha küçük boyutta bir taban plakası ve dört adet ankraj bulonu ile temele birleştirilir. Boyuna donatıların köşelerde taban plakasına kaynaklanması için üretim sırasında yüzeyde yuvalar bırakılır. Taban plakasının sehim yapma ihtimali var ise plaka, tesviye yastığıyla (çelik lama) ortadan mesnetlenmelidir. Bu lama aynı zamanda kayma kaması işlevi gördüğü için kayma dayanımını artırır. Kolonun yüzeyinde bırakılan boşluklar, köşe donatılarının temel plakasına kaynaklanmasına imkan verir.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Taban plakasında bulunan ankraj yuvaları, montaj sırasında oluşabilecek problemler göz önünde bulundurularak, ankraj bulonlarının boyutundan daha büyük boyutta açılır. 2. İnce plaka kullanımına imkan verir. 3. Ankraj sonrası yuvalar rötreye yapmayan harç (r.y.h) ile doldurulduğundan korozyona karşı korunmuş olur. 4. Montajı iklim koşulları nasıl olursa olsun hızlı ve kolay gerçekleştirilir. 5. Montajda stabilite çabuk sağlanır.
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşim sürekli değildir, moment aktarmaz. 2. Köşedeki ankraj bulonları kolon köşe donatılarının taban plakasına birleşimini engeller. 3. Burulma dayanımı zayıftır. 	

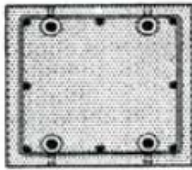
Çizelge 4.2 Kolon-temel birleşiminde elastik ankastre birleşimler

 <p>KT-02</p>	<p>Kolondan Büyük Boyutta Çelik Plaka Yardımıyla Birleşim (KT-02)</p> <p>Kolon, boyuna donatılarına kaynaklanmış kendisinden daha büyük boyutta bir taban plakası ve dört adet ankraj bulonu ile temele birleştirilir. Ankraj bulonları kolonun köşelerine veya yüzey ortalarına yerleştirilir. Bırakılan boşluklar rötre yapmayan harç ile doldurulur. Moment aktarımını arttırmak için ankraj bulonları kolona yakın olmalıdır. Boyuna donatıların köşelerde taban plakasına kaynaklanması için üretim sırasında yüzeyde yuvalar bırakılır. Taban plakasının sehim yapma ihtimali var ise plaka, tesviye yastığıyla (çelik lama) ortadan mesnetlenmelidir. Böylece kayma dayanımı artmış olur.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Daha geniş temel plakası etkin taşıma alanını artırır böylece moment taşıma kapasitesi artar. 2. Taban plakasında bulunan ankraj yuvaları montaj sırasında oluşabilecek problemler göz önünde bulundurularak ankraj bulonlarının boyutundan daha büyük boyutta açılır. 3. Bulonlu birleşimin montajı iklim koşullarından etkilenmez. 4. Montajda stabilite çabuk sağlanır.
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kolondan daha geniş büyüklükteki temel plakası, kolonla aynı büyüklükteki temel plakasına göre daha kalındır ve bu nedenle biraz daha pahalıdır. 2. Birleşim gizlenmemiştir. Bu nedenle korozyona karşı dayanıklı değildir. 3. Harç döküm sonrasında kısa sürede priz almalı ve dayanım kazanmalıdır. 4. Burulma dayanımı zayıftır. 	<p>Çelik Eleman Yardımıyla Birleşim (KT-03)</p> <p>Bu birleşimde rijitliği, kolon tabanında üzerinde ankraj yuvaları bırakılmış karşılıklı iki köşebent ve bu köşebentlere dik olarak kolon içinden geçen köşebentlere kaynaklanmış çelik lamalardan oluşan çerçeve sağlar. Kolon boyuna köşe donatıları da lamalara kaynatıldıktan sonra fabrikada beton dökümü gerçekleştirilir.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kolon boyuna donatılarının lamalara kaynatılması KT-02'deki donatıların taban plakasına kaynaklanmasından daha kolaydır.
 <p>KT-03</p>	

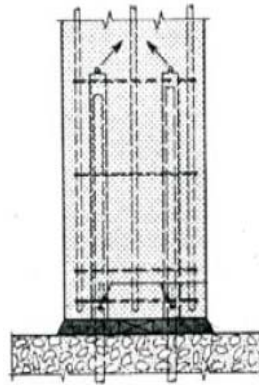
 <p>PLAN-1 PLAN-2</p> <p>KESİT-1 KESİT-2</p>	<ol style="list-style-type: none"> 2. KT-02 'deki birleşim ile kıyaslandığında, bu birleşimde daha az çelik kullanımı yeterlidir. 3. Montajda stabilite çabuk sağlanır. <p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşim gizlenmemiştir. Bu nedenle korozyona karşı dayanıklı değildir. 2. Kolondan temele sadece bir yönde ve belli miktarda moment aktarımı yapabilir. 3. KT-02'deki birleşime göre daha çok kaynak çalışmasına ihtiyaç vardır.
 <p>KT-04</p> <p>KESİT-1</p> <p>KESİT-2</p>	<p>Takviye Edilmiş Çelik Taban Plakalı Birleşim (KT-04)</p> <p>Üzerinde ankraj bulonları için yuvalar bulunan ince bir taban plakası üzerine rijitliği sağlamak üzere bir veya iki doğrultuda (moment aktarma ihtiyacına göre) çelik lamalar kaynaklanır. Kolon köşe donatıları da bu lamalara kaynaklanır ve fabrikada kolon üretilir. Kolondan temele iki ana doğrultuda da moment aktarımı gerektiği hallerde, taban plakası her iki yönde takviye edilip dört kenardan bulonlanır.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kolon ana donatılarının kolonun içinden geçen takviye lamalarına kaynaklanması, KT-02'deki taban plakasının doğrudan donatılara kaynaklanmasından daha kolaydır. 2. Bu birleşim, KT-02'deki birleşime göre daha az çelik kullanıldığından daha ekonomik bir birleşimdir ve kolondan temele daha büyük moment aktarımı sağlar. <p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşim gizlenmemiştir. Bu nedenle korozyona karşı dayanıklı değildir.



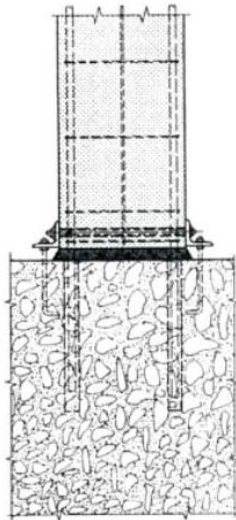
KT-05



PLAN

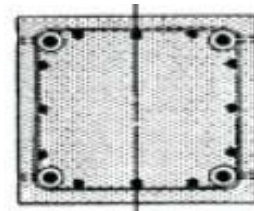


KESİT



KT-06

KESİT



PLAN

Geçmeli Birleşim (KT-05 ve KT-06)

Bu birleşim ile taban plakalı birleşimlere göre temele daha fazla eğilme momenti aktarılabilir. Temele önceden yerleştirilen donatı filizleri kolondaki yuvasına yerleştirilerek etrafındaki boşluklara rötre yapmayan harç dökülür.

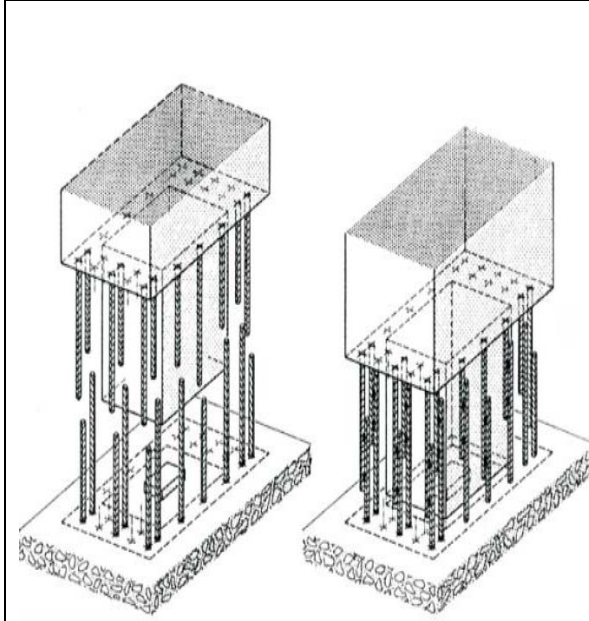
Ankraj donatısının aksel kuvvetler altında sıyrılmasını engellemek için nervürlü donatı kullanılmalı ve yuva cidarı dişli yapılmalıdır. Birleşimin dönmeye ve kesmeye karşı direnci donatıların dayanımına bağlıdır.

Olumlu Özellikleri;

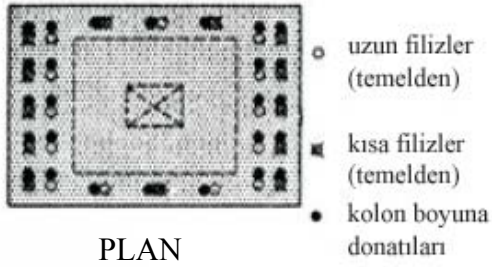
1. Boşluklara harç dökülerek birleşim gizlendiğinden korozyona karşı korunmuş olur.
2. Donatı yuvalarının biraz büyük açılması montaj sorunlarının en aza indirilmesini sağlar.

Olumsuz Özellikleri;

1. Donatı filizlerinin boyu oldukça uzun olduğundan taşıma sırasında hasar görebilir.
2. Beton kürü sırasında harç prizini alıp mukavemetini kazanana dek geçici destek yapılması gerekmektedir.
3. Montaj öncesinde bekleme süresine bağlı olarak kolon ve temel dış etkilerden zarar görebilir.
4. Harç dökümü iklim koşullarından etkilenebilir.
5. Montaj yapılmadan önce donatı yuvaları su ve atık maddelere karşı korunmalıdır.



KT-07



Yerinde Dökme Birleşim (KT-07 ve KT-08)

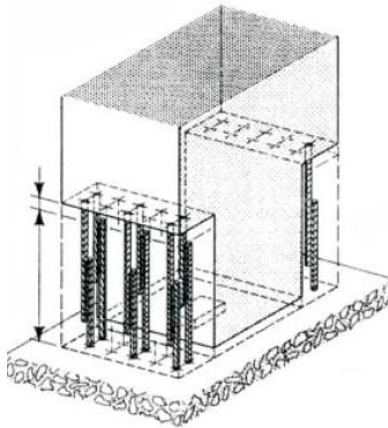
Bu tip birleşimler temele büyük eğilme momentleri aktarabilir. Ağır yük taşıyan kolonlar için uygun bir birleşimdir. Boyuna donatılar sık etriyeler ile sarılır. Montaj sırasında geçici destek için, her iki elemandan çıkan donatı filizlerinin önce bir kısmı birbirine kaynaklanarak birleştirilir, ardından tümü kaynaklanır ve yerinde dökme beton ile birleşim tamamlanır. Kolonlarda bindirme boyunca yapılacak kaynakların soğuması sırasında büzülmesi kolonların hizadan kaçmasına neden olabilir. Bu nedenle aynı anda iki kaynakçı karşılıklı olarak kaynaklamaya başlamalıdır.

Olumlu Özellikleri;

1. Bindirme boyu ve yerleştirilecek etriyeler ile orantılı olarak moment taşıma kapasitesi artar.
2. Birleşim gizlendiğinden dolayı korozyona karşı korunmuş olur.

Olumsuz Özellikleri;

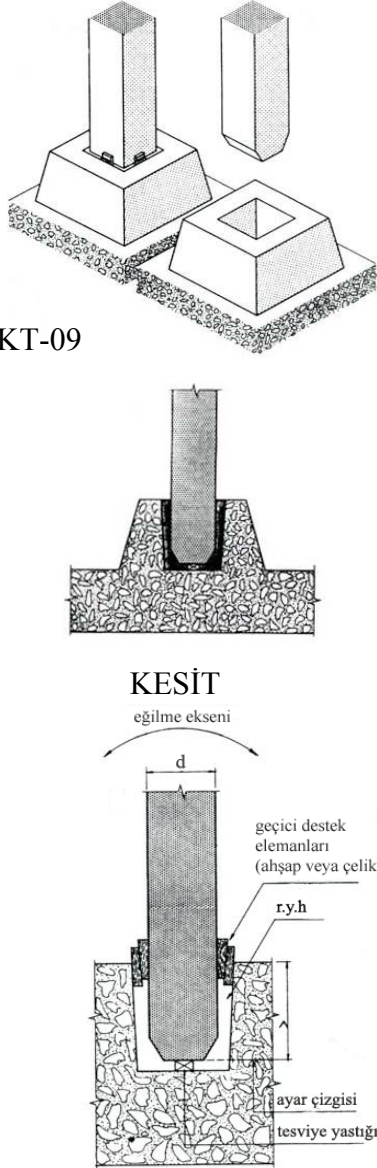
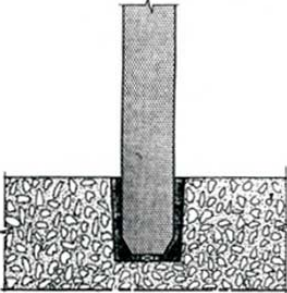
1. Kaliteli kaynak işçiliği gerektirir.
2. Donatılar ancak bir taraftan kaynaklanabilir.
3. Birleşimin çekme dayanımı, çeliklerin tek başına çekme dayanımından daha fazla olmalıdır.
4. Harç dökümünün iklimsel koşullardan etkilenmemesi için gerekli önlem alınmalıdır.



KT-08



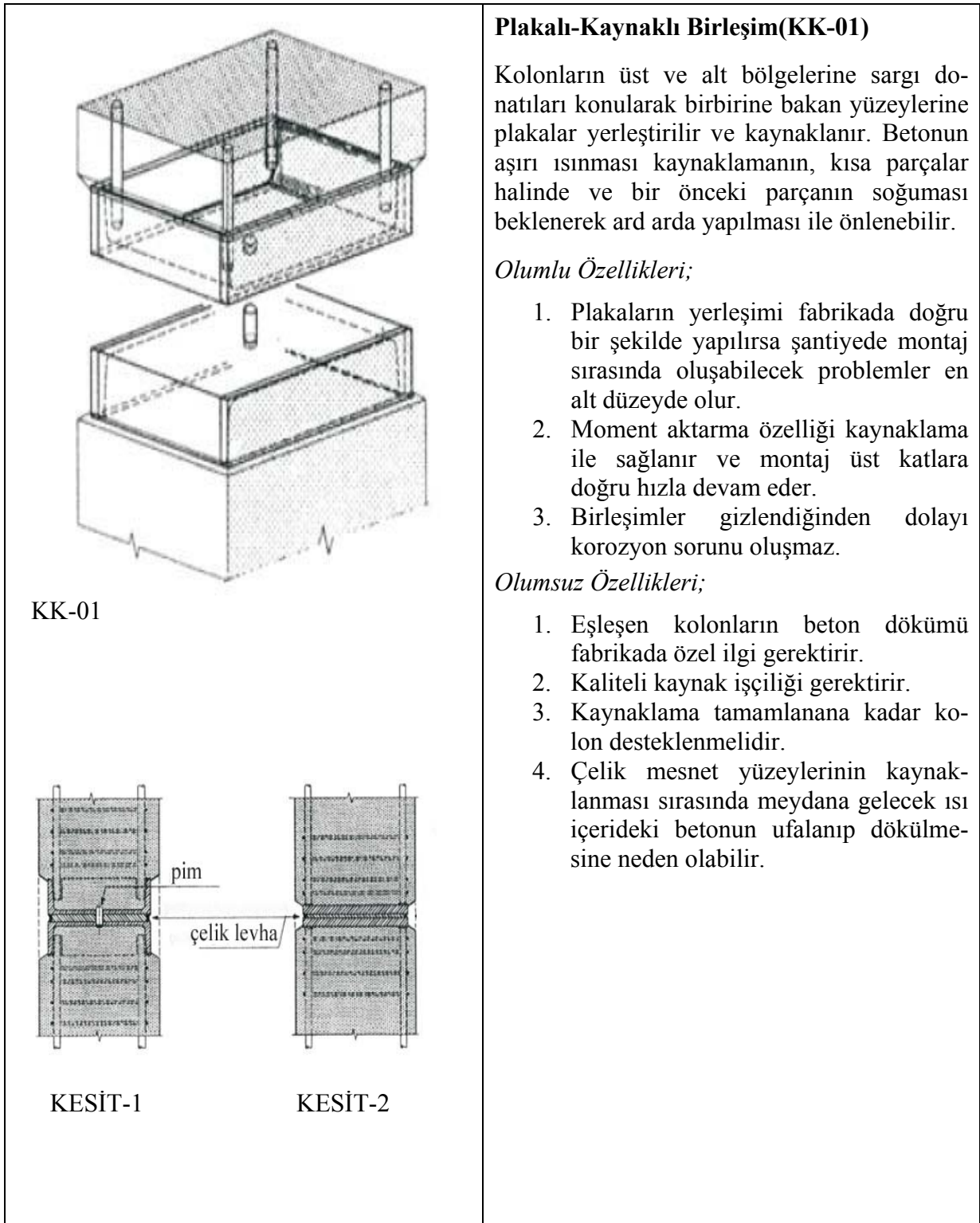
Çizelge 4.3 Kolon-temel birleşiminde moment aktaran (ankastre) birleşim tekniği

 <p>KT-09</p> <p>KESİT</p> <p>eğilme eksenini</p> <p>d</p> <p>geçici destek elemanları (ahşap veya çelik)</p> <p>r.y.h</p> <p>ayar çizgisi</p> <p>tesviye yastığı</p> <p>KESİT</p>	<p>Yuvalı (soket) Temele Kolonun Oturtulması Yöntemiyle Birleşim (KT-09 ve KT-10)</p> <p>Bu birleşim tipinde kolon, yuvalı temele oturtulur. Yuvalı temel ile kolon arasındaki boşluklar rötre yapmayan harç ile doldurulur. Yuva temel seviyesinin üstünde olabildiği gibi içinde de olabilir. Bu birleşimler çelik plakayla yapılan diğer birleşimlere göre daha rijit olup moment taşıma kapasitesi en yüksek birleşim tekniğidir. Ana eğilme eksenini doğrultusundaki kolon boyutunun (d) 1.5 katı kadar gömülme boyu yeterlidir. Kolon, soket temel üzerine oturtulmuşsa (KT-09) soket duvarları, kolonun aktaracağı moment ve montajda geçici destek sonrasında harçtaki basınç gerilmesine göre hesaplanıp, donatılmalıdır. Kolon, soket temelin içine gömülü ise (KT-10), soketin altında kalan temel pabucu zımbalamaya karşı koyabilecek bir kalınlıkta yapılmış olmalı ve kolondan gelebilecek bütün yüklere göre dayanımı tam olmalıdır.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Yuvalı birleşimin montajı kolay ve hızlı gerçekleşir. 2. Yuvalı temel birleşiminde oluşabilecek problemler en aza indirgenerek kolon dökümü kolaylaşmıştır. <p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Temel işçilik maliyeti artar. 2. İklim koşulları uygun değilse harç dökümü için önlem alınmalıdır. 3. Moment aktarma kapasitesi soketlenme boyuna bağlıdır. 4. Soket tabanının iyi şerbetlendiğine dair garanti vermek mümkün değildir. 5. Temel ile kolon arasında çekme donatısının sürekliliğini sağlamak güçtür. 6. Kolonun stabilitesinin sağlanması için geçici destek gereklidir.
 <p>KT-10</p>	

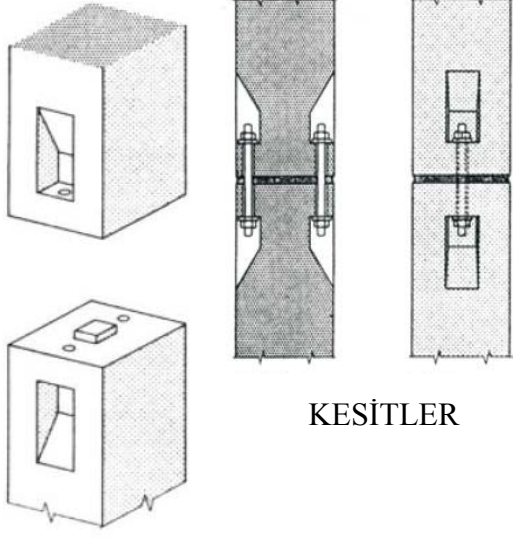
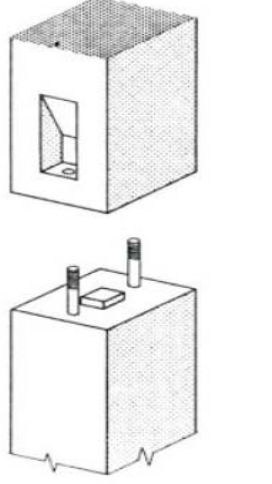
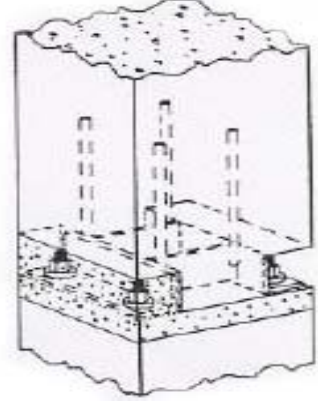
4.1.2 Kolon-Kolon Birleşimi

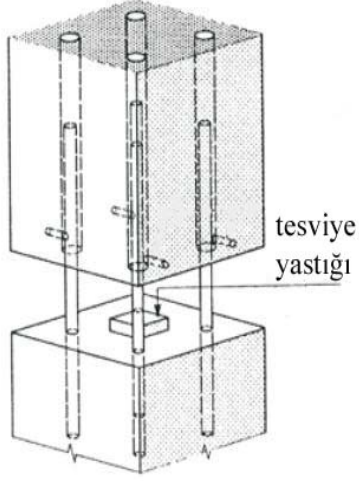
Kolon-kolon birleşimleri genellikle kolon ortalarında veya kiriş seviyesinde yapılır. Seçilen birleşimlerde esas alınan özellikler: kolon dayanımı, (ön-germeli veya klasik şekilde güçlendirilmiş) moment aktarma derecesi, birleşimlerde ortaya çıkan sonuçlar ve montajdır.

Çizelge 4.4 Kolon-kolon birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği

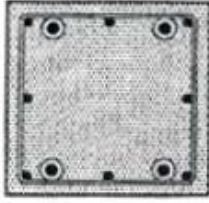


Çizelge 4.5 Kolon-kolon birleşiminde yarı rijit birleşim tekniği

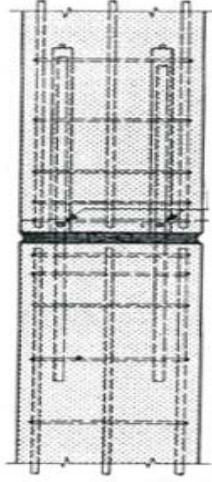
 <p style="text-align: center;">KESİTLER</p> <p>KK-02</p>	<p>Bulonlu Birleşim (KK-02, KK-03 ve KK-04)</p> <p>Moment taşıma kapasitesi düşük olduğundan moment=0 bölgesi için uygundur. Kolondan çıkan ankraj bulonları diğer kolondaki yuvalara yerleştirilir. İki kolon arasındaki boşluk, rötre yapmayan harçla doldurulur. Ankraj yuvaları montaj sırasında oluşabilecek problemler göz önünde bulundurularak, bulonların boyutundan daha büyük boyutta açılır.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Boşluklara rötre yapmayan harç dökülerek birleşim gizlenir böylece korozyona karşı korunmuş olur. 2. Montaj iklim koşullarından etkilenmez. <p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Köşe birleşimlerine (KK-04) daha fazla harç dökülmesi gerekmektedir. Ayrıca aksenal çekme dayanımı köşelerin kalınlığına bağlıdır. 2. Bulonların dış etkiler altındaki davranışı belirsizdir. 3. KK-03 tipi birleşimlerde, alt kolonun imalatı daha kolay olmasına karşın, taşıma ve montaj sırasında, kolondan çıkan bulonlar mekanik darbelerden etkilenebilir ve korozyona karşı önlem alınması gerekir.
 <p style="text-align: center;">KESİTLER</p> <p>KK-03</p>	 <p>KK-04</p>



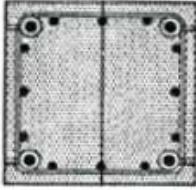
KK-05



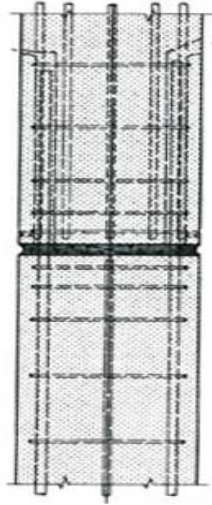
PLAN



KESİT



PLAN



KESİT

KK-06

Geçmeli Birleşim (KK-05, KK-06 ve KK-07)

Bu birleşim ile taban plakalı birleşimlere göre temele daha fazla eğilme momenti aktarılabilir. Donatı filizleri alt kolondan veya üst kolondan uzatılabilir. Kolondan çıkan donatı filizleri diğer kolondaki yuvalarına yerleştirilir ve etrafındaki boşluklara rötre yapmayan harç dökülür

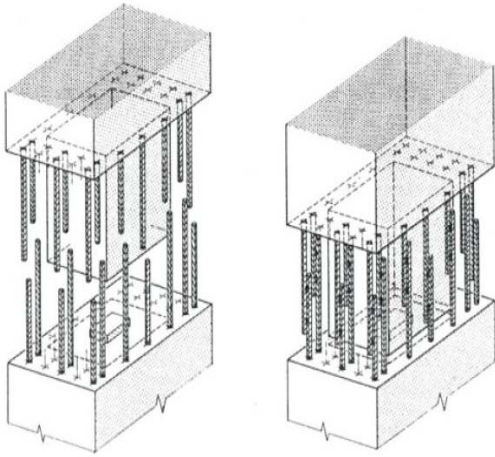
Ankraj donatısının aksel kuvvetler altında sıyrılmasını engellemek için nervürlü donatı kullanılmalı ve yuva cidarı dişli yapılmalıdır. Birleşimin dönmeye ve kesmeye karşı direnci donatıların dayanımına bağlıdır.

Olumlu Özellikleri;

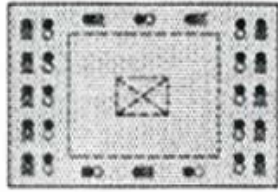
1. Bu tip birleşimlerde oldukça büyük eğilme momentleri aktarılabilir.
2. Birleşim, rötre yapmayan harç dökülerek gizlenir böylece korozyondan korunmuş olur.
3. Donatı yuvalarının biraz büyük açılması montaj sorunlarının en aza indirilmesini sağlar.

Olumsuz Özellikleri;

1. Donatı filizlerinin boyu oldukça uzun olduğundan kolonun taşınması sırasında hasar görebilir.
2. Beton kürü sırasında harç prizini alıp mukavemetini kazanana dek geçici destek yapılması gerekmektedir.
3. Harç dökümü için iyi iklim koşulları ve yardımcı ısıtma sistemlerine gereksinim vardır.
4. Montaj öncesinde bekleme süresine bağlı olarak kolonlar dış etkilerden zarar görebilir.
5. Montaj yapılmadan önce donatı yuvaları su ve atık maddelere karşı korunmalıdır.



KK-08



- uzun donatı filizleri (alt kolondan)
- ✕ kısa donatı filizleri (alt kolondan)
- üst kolon donatıları

PLAN

Yerinde Dökme Birleşim (KK-08 ve KK-09)

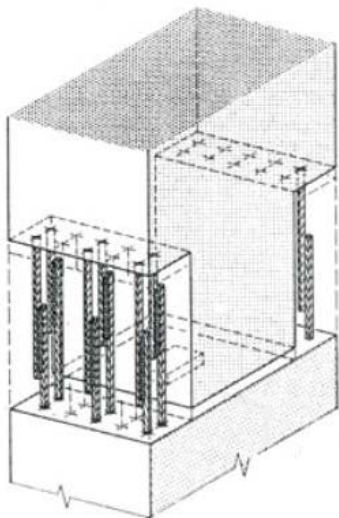
Bu tip birleşimler büyük eğilme momentleri aktarabilir. Fazla yük taşıyan büyük kolonlar için uygun bir birleşim tipidir. Boyuna donatılar sık etriyeler ile sarılır. Montaj sırasında geçici destek için, her iki elemandan çıkan donatı filizlerinin önce bir kısmı birbirine kaynaklanarak birleştirilir, ardından tümü kaynaklanır ve yerinde dökme beton ile birleşim tamamlanır. Rahat çalışmak açısından kaynak yeri, temel üstünden ~60 cm yukarıda olmalıdır.

Olumlu Özellikleri;

1. Bindirme boyu nispeten kısa olmasının yanında birleşimin moment aktarma kapasitesi artar.
2. Birleşim rötre yapmayan harç dökülerek gizlendiğinden dolayı korozyona karşı korunmuş olur.

Olumsuz Özellikleri;

1. Kaliteli kaynak işçiliği gerektirir.
2. Donatılar ancak bir taraftan kaynaklanabilir.
3. Birleşimin çekme dayanımı çeliklerin tek başına çekme dayanımından daha fazla olmalıdır.
4. Harç dökümünün iklimsel koşullardan etkilenmemesi için gerekli önlem alınmalıdır.

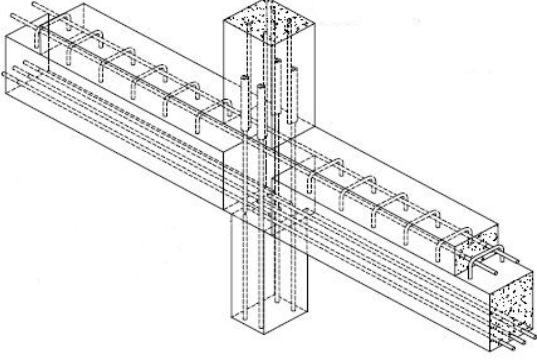


KK-09



PLAN

Çizelge 4.6 Kolon-kolon birleşiminde moment aktaran birleşim tekniği

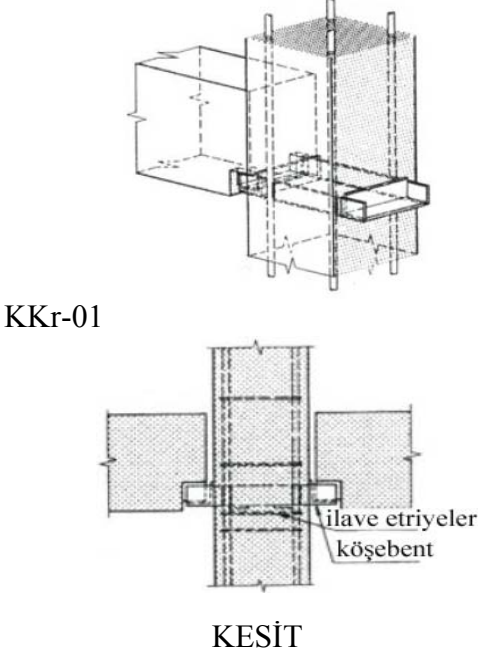
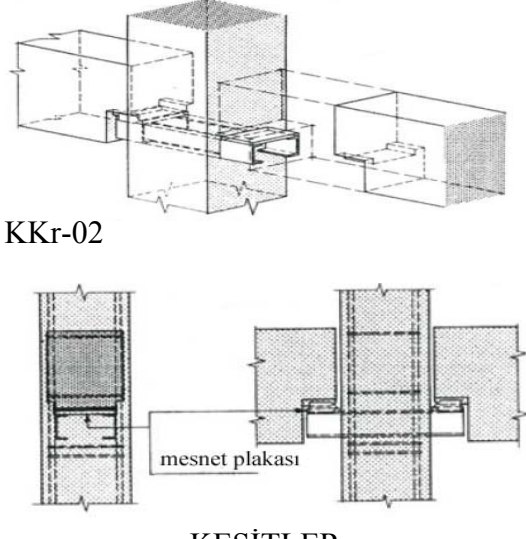
 <p>KK-10</p>	<p>Kompozit Kiriş Birleşimleri İçin Geçmeli Birleşim (KK-10)</p> <p>Sürekli bir birleşim tekniğidir. Kirişin sürekliliği kanca yapma, filiz bırakma veya kaynak tekniği ile sağlanır. Gerektiği durumlarda iç içe geçen donatı filizlerine geçici mesnet uygulanır. Bir boru veya tüp kolonun en üst noktasından dışarı çıkacak şekilde yerleştirilir ve biraz daha büyük boru veya tüp de diğer kolonun alt bölgesine yerleştirilerek iç içe geçirilir, küçük bir kaynak yapılarak desteklenir. Eğer tüp veya boru yerine tam oturduysa kaynak yapmaya gerek yoktur. Kiriş donatıları da birleşime yerleştirildikten sonra rötre yapmayan harç dökülerek birleşim gizlenir.</p>
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Montaj işlemi yoğun dikkat gerektirir. 2. Harcın boşluklu olma riski vardır, dikkat edilmesi gerekir. 3. Büyük çalışma alanlarına gereksinim vardır. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Moment aktaran ve sünek bir birleşimdir. 2. Birleşim rötre yapmayan harç dökülerek gizlendiğinden dolayı korozyona karşı korunmuş olur. 3. 4-5 katlı yapılar ekonomik şekilde üretilebilir.

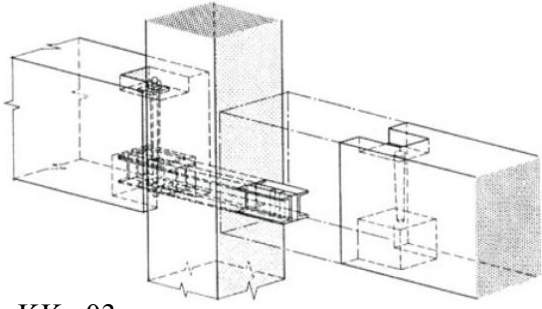
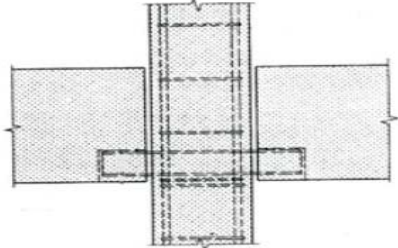
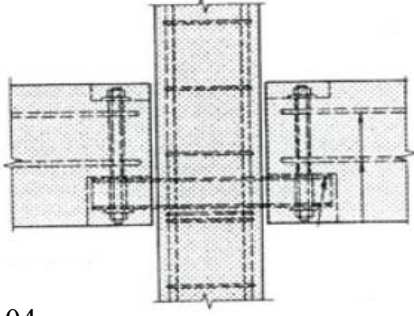
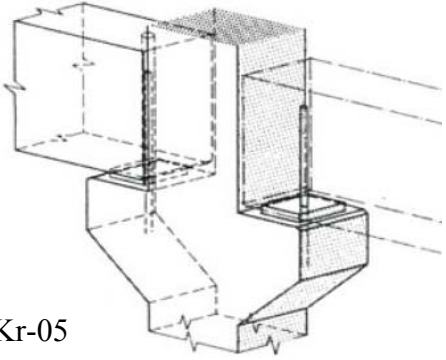
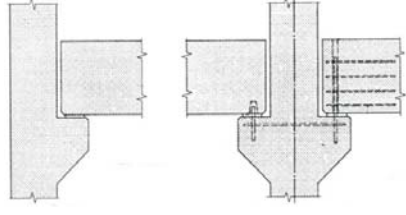
4.1.3 Kolon-Kiriş Birleşimi

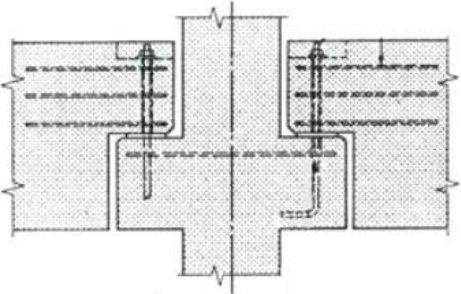
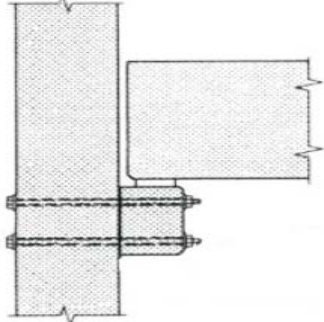
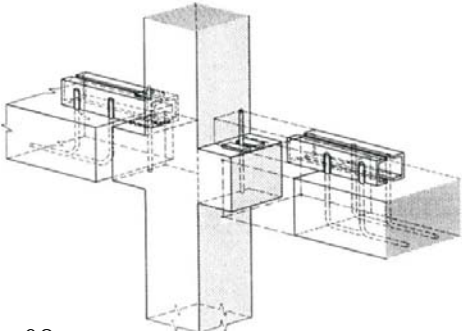
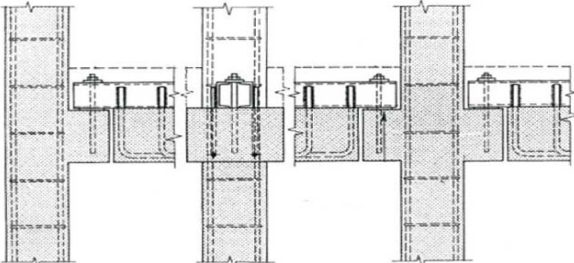
Ön üretimli betonarme sistemlerde kolon-kiriş çerçeveler çok yaygındır ve bu elemanların birleşimi kuru, yerinde dökme, geçmeli ve ard-germe birleşim yöntemleri ile uygulanır. Bu tür birleşimlerde bazen kolona bağlı kısa konsollardan yararlanılır.

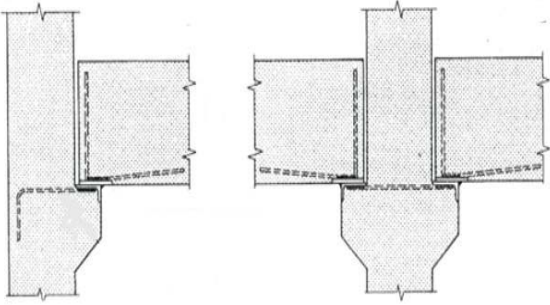
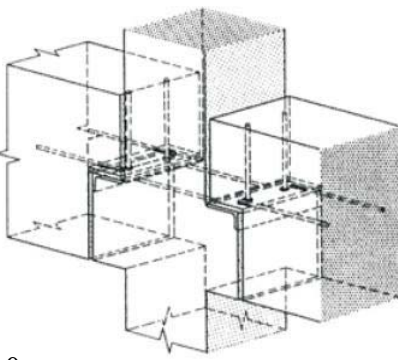
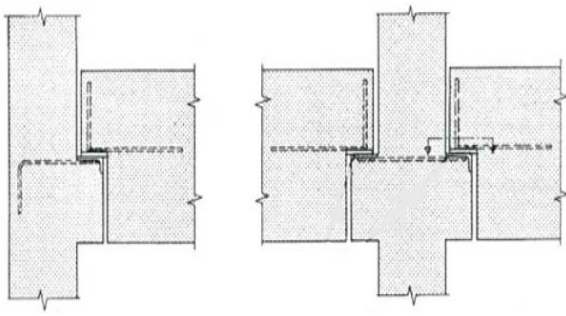
Çizelge 4.7 Kolon-kiriş birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği

<p>Basit Mesnetli Birleşim</p> <p>Kirişler rötre, sünme ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklanacak küçük yerdeğişimlere izin verecek şekilde ve düzgün bir yüzey üzerine mesnetlenmelidir. Kiriş iki uçtan basit mesnetlenmiş olarak kabul edilir. Kiriş mesnetlerindeki açısız yerdeğişimlere önemli ölçüde izin verilir. Kaynak sadece bir mesnette uygulanmalı, diğer mesnette kiriş serbestçe oturmalıdır aksi takdirde izostatik sistem koşulları bozulacağından kirişte ısı, rötre vb. nedenlerle yerdeğişimlerden kaynaklanacak büyük iç kuvvetler söz konusu olacaktır. Kaynaklı birleşimde kirişin üstten kolona bağlantısı bir miktar dönmeye izin verecek şekilde olmalı, rijit yapılmamalıdır. Böylece basit mesnetlenme kabulü uygulamada sağlanacak ve mesnette negatif moment minimum düzeyde kalacaktır. Basit mesnetli birleşim 6 grupta incelenebilir.</p>
--

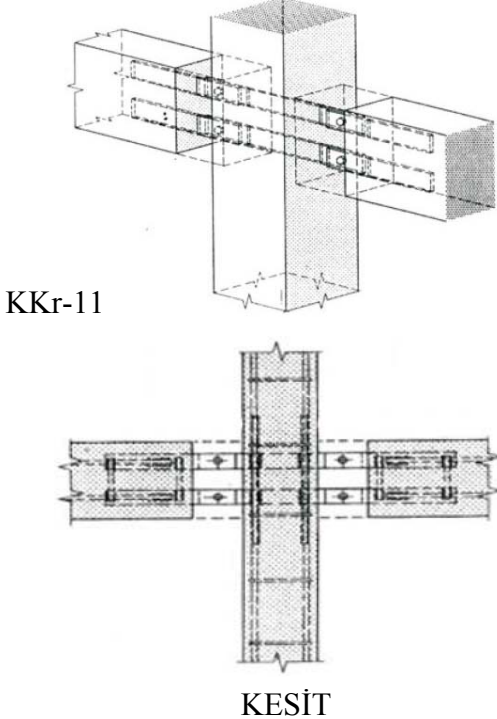
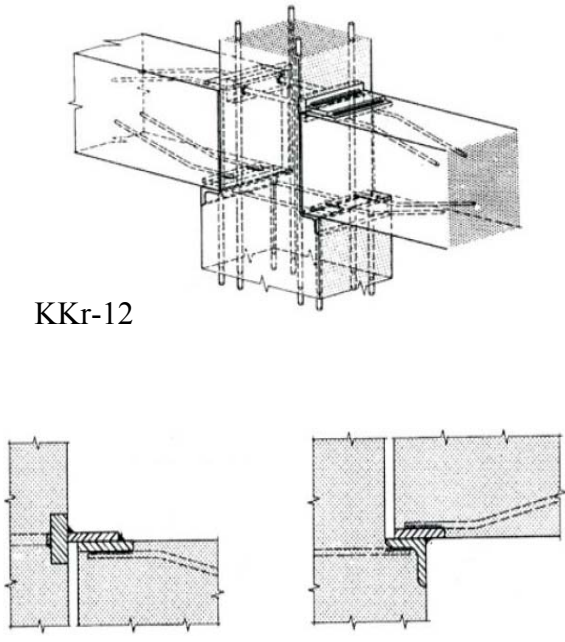
 <p>KKr-01</p> <p>KESİT</p>	<p>1) Çelik Köşebent Konsol ile Birleşim (KKr-01)</p> <p>Bu tip birleşimde, yatay yüzeyleri aşağıda kalacak şekilde yerleştirilen eşit kollu çelik köşebentler, kolon kesitine gömülü çelik lamalar ile uçlarından kaynaklanarak kolona bağlanır. Kolon içerisindeki bölgenin genişletilmesi açısından kolon içine gömülü mesnet plakalarına dik doğrultuda yatay çelik plakalar kaynaklanır. Birleşim, bir dış kolona uygulanıyorsa, ankraj lamaları kolon ana donatılarına kaynaklanarak cepheye taşmıyacak şekilde kesilir. Bu durumda dik doğrultudaki yatay lamalar, ankraj lamasının üst tarafına kaynaklanmalıdır. Bölgesel gerilmeleri karşılayabilmek için ankraj lamalarının hemen altına ve üstüne ilave etriye konulmalıdır.</p>
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Çelik konsollar yangın ve korozyona karşı dayanıksızdır. 2. Birleşimin burulma dayanımı zayıftır. Arttırmak için burulma donatısı gereklidir. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bu tip birleşimler ile oldukça büyük düşey kesme kuvvetleri aktarılabilir. 2. Beton konsollara kıyasla çelik konsollar ile daha düşük kiriş yüksekliği mümkündür.
 <p>KKr-02</p> <p>KESİTLER</p>	<p>2) Çelik Konsol ile Birleşim (KKr-02)</p> <p>Bu tip birleşimlerde kirişler, kolon içine gömülen çelik elemanlardan oluşturulmuş konsola mesnetlenmelidir. Kolon içine gömülü iki U-profilin kolon dışındaki uzantısı üzerine mesnet plakasının kaynaklanması ile çelik konsol oluşturulur. Birleşim, bir dış kolona uygulanıyorsa, U-profil, kolon dış yüzündeki ana donatılar hizasında kesilir. Bu durumda U-profiller ya bir lama ile üst kenarlarından kaynaklanarak kirişe bağlanır veya ana kolon donatılarına kısmi kaynakla tutturulur. Bölgesel gerilmeleri karşılayabilmek için çelik konsolun hemen altında, kolona ilave etriye konulmalıdır.</p>
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Çelik konsollar yangın ve korozyona karşı dayanıksızdır. 2. Birleşimin burulma dayanımı zayıf olup, arttırmak için burulma donatısı gereklidir. 3. Profilin kolon içine üniform olarak mesnetlenmesi özen gerektirir. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Beton konsollara kıyasla çelik konsollar ile daha düşük kiriş yüksekliği mümkündür. 2. Bu tip birleşimler ile büyük düşey kesme kuvvetleri aktarılabilir.

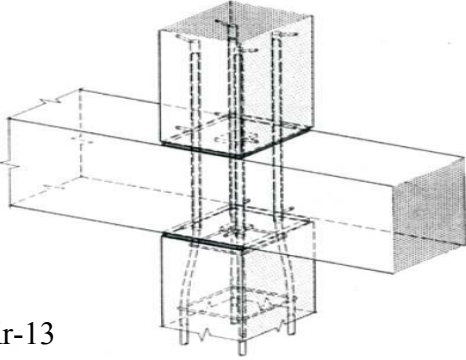
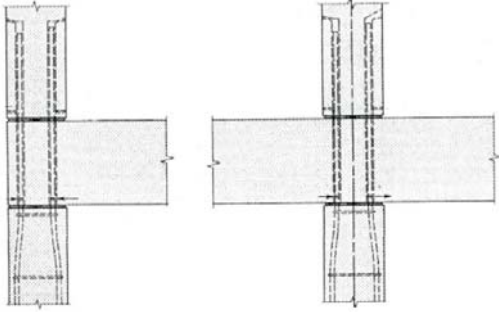
 <p>KKr-03</p>  <p>KESİT</p>	<p>3) Kirişteki Girintiye Giren Çelik Konsol ile Birleşim (KKr-03 ve KKr-04)</p> <p>Bu tip birleşimlerde kiriş, ucundaki girintiye giren çelik konsol üzerine mesnetlenir. Kiriş ucundaki girinti, konsolu örtecek büyüklükte oluşturulmuştur. KKr-03 birleşiminde çelik konsol; kolon içine gömülü, geniş başlıklı I-profilden yapılmıştır. Kirişi düşey yönde bağlamak gerekiyorsa, KKr-04 tipi birleşimler uygulanır. Bu birleşimlerde çelik konsol, gövdeleri arasında çelik lama konularak kaynaklanan iki U-profil'den oluşmaktadır. Çelik lamalar profil gövdelerine, aralarında bir bulonun geçebileceği boşluk bırakılarak kaynaklanır. Birleşim, bir dış kolonda uygulanıyorsa çelik profil, dış yüzeye yakın ana donatılar hizasında kesilir. Bölgesel gerilmeleri karşılayabilmek için kolonda, çelik konsolun hemen altına ve üstüne ilave etriye konulmalıdır.</p>
 <p>KKr-04</p>	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bu tip birleşimler ile oldukça büyük kesme kuvvetleri aktarılabilir. 2. KKr-04'de mesnet düşey yönde de bağlanır. <p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşimin burulma dayanımı zayıftır. 2. KKr-03 yangına, KKr-04 bulonları ise korozyona karşı korunmalıdır.
 <p>KKr-05</p>  <p>KESİTLER</p>	<p>4) Beton Konsol ile Birleşim (KKr-05, KKr-06 ve KKr-07)</p> <p>Bu tip birleşimlerde, kirişler beton konsol üzerine oturtulur. KKr-05 tipi birleşimlerde, beton konsol, kirişin altına doğru uzayarak mesnet oluşturur. KKr-06 tipi birleşimlerde, uçları inceltilmiş olan kirişler beton konsola yerleştirilir. KKr-07 tipi birleşimlerde, ön üretilmiş beton konsol, kolona bulonlarla tutturulmaktadır. Bu durumda, yüksek dayanımlı çelikten yapılmış bulonların kullanılması ve konsol ile kolon yüzü arasında bir epoksi yapıştırıcı uygulanması gerekir.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bu tip birleşimler, mesnetlenme tipine bağlı olarak, her büyüklükte düşey kesme kuvveti aktarabilir.

 <p>KKr-06</p>	<p>2. Birleşim gizlendiğinden dolayı korozyona karşı dayanıklıdır.</p> <p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <p>1. Birleşimin burulma dayanımı zayıftır.</p>  <p>KKr-07</p>
 <p>KKr-08</p>  <p>KESİTLER</p>	<p>5) Çelik Elemanlara Asılı Birleşim (KKr-08)</p> <p>Çok sık kullanılan bir birleşim tipi değildir, kat yüksekliğinin sınırlı olduğu durumlarda kiriş yüksekliğinden ekonomi sağlamak için tercih edilebilir. Ön üretilmiş kirişe üstten bağlanan çelik askı sistemi, kolondaki beton konsola özel ankraj bulonları ile asılır. Çelik askı sistemi, kutu kesit oluşturacak şekilde yerleştirilmiş iki U-profillerden oluşmaktadır. Ayrıca çelik profiller ile beton konsol arasında da tesviye yastıkları konulur. Bu profiller, daha sonra yerinde dökülen döşeme betonunun içinde kalır. Çelik askı sistemi, düşey kesme kuvvetini aktarabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Beton konsoldan çıkarak U-profillerin arasından geçen bulon ile mesnetlenen kirişin yatay ve düşey yönde kayması engellenir.</p>
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pahalı ve yerleşimi özen gerektiren ankraj bulonları kullanılır. 2. Kaliteli kaynak işçiliği gerektirir. 3. Harç dökümünün iklimsel koşullardan etkilenmemesi için gerekli önlem alınmalıdır. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Montaj işlemi hızlı ve kolay olarak gerçekleştirilir. 2. Bu tip birleşimler ile kesme kuvveti aktarılabilir. 3. Birleşim rötre yapmaya harç dökülerek gizlendiğinden dolayı korozyona karşı dayanıklıdır.

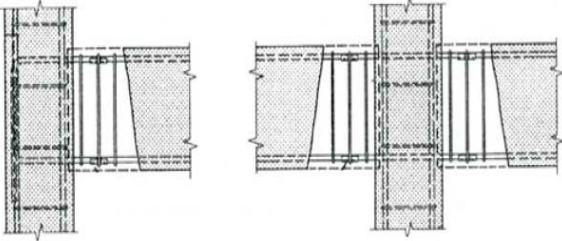
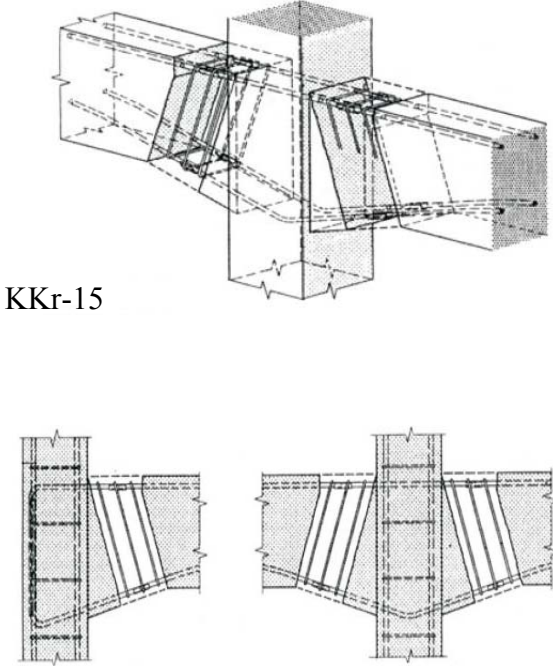
 <p data-bbox="247 649 343 683">KKr-09</p>	<p data-bbox="837 201 1428 280">6) Çelik Mesnet Yüzeyleri ile Birleşim (KKr-09 ve KKr-10)</p> <p data-bbox="837 291 1428 436">Bu tip birleşimlerde, ön üretimli kirişler beton konsol üzerine mesnetlenir. Hem kirişte hem de konsoldaki mesnet yüzeyleri çelik plaka ile kaplanmıştır.</p> <p data-bbox="837 436 1428 1064">KKr-09 tipi birleşimde beton konsol, kirişin altına doğru uzayarak mesnet oluşturur. KKr-10 tipi birleşimde ise kirişler, inceltilmiş uçları ile beton konsola mesnetlenir. Kiriş mesnet yüzeyi çelik plaka ile, beton konsoldaki mesnet yüzeyi ise köşebentle kaplanır; bunlar birbirine kaynaklırsa birleşim bir miktar yatay kuvvet aktarılabilir. Kiriş, önemli miktarda düşey yük taşıyacaksa, kaynaklama işleri kiriş üstündeki düşey yüklerin tamamlandığı daha ileri bir tarihe ertelenmelidir. Birleşimin, deprem patlama vb etkilerden kaynaklanan düşey yöndeki etleri karşılayabilmesi için mesnet yüzeylerindeki çelik plaka ve köşebentler, düşey yönde de yeterli ankraja sahip olmalıdır.</p>
 <p data-bbox="247 1321 343 1355">KKr-10</p>  <p data-bbox="414 1881 566 1915">KESİTLER</p>	<p data-bbox="837 1164 1093 1198"><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol data-bbox="885 1220 1428 1355" style="list-style-type: none"> 1. Kirişteki sehimin çok az olması şartı ile bu birleşimler ile, mesnet alanı küçük olmasına rağmen, büyük düşey kesme kuvvetleri aktarılabilir. <p data-bbox="837 1400 1109 1433"><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol data-bbox="885 1444 1428 1512" style="list-style-type: none"> 1. Birleşim burulma etkisine karşı zayıftır.

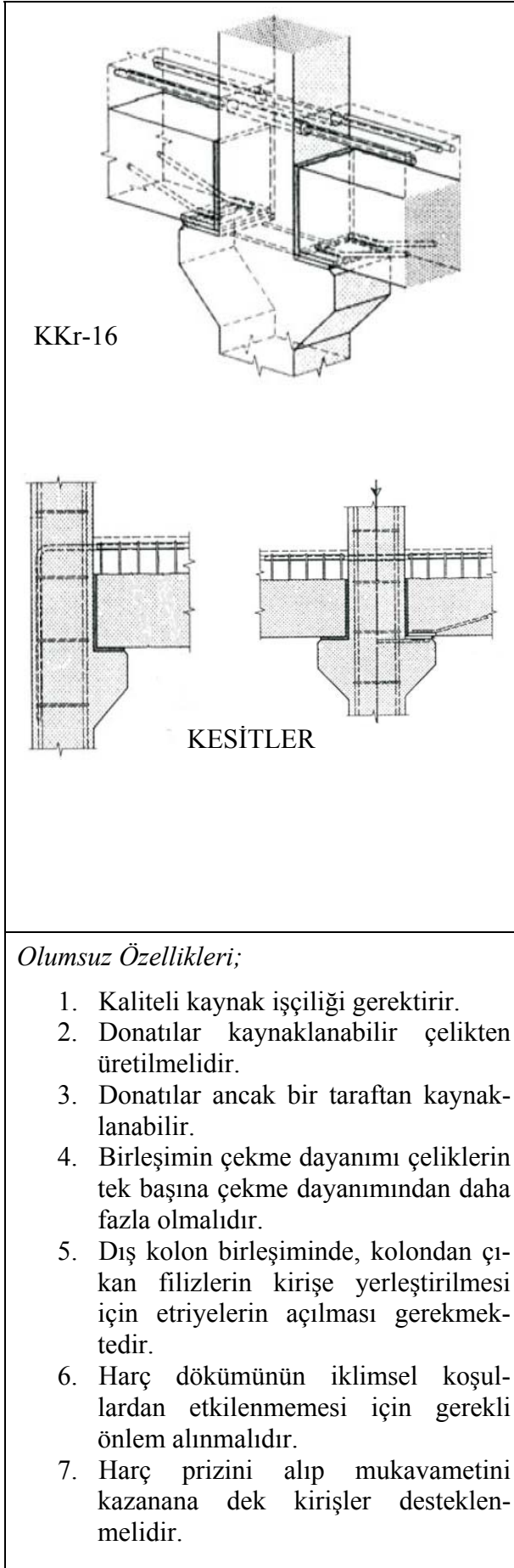
Çizelge 4.8 Kolon-kiriş birleşiminde yarı rijit birleşim tekniği

 <p>KKr-11</p> <p>KESİT</p>	<p>Çelik Plakaların Bulonlanması ile Birleşim (KKr-11)</p> <p>Bu tip birleşimlerde, kiriş uçlarından ve kolondan uzatılan çelik plakalar, birbirlerine bulonlanır ve birleşim bölgesi rötre yapmayan harç ile doldurulur. Mesneti ankastre olan birleşimdir. Plakalara oval bulon delikleri açılarak birleşimlerin boyuna yönündeki ölçü hataları en aza indirilir. Ancak bu, moment aktarma kapasitesini oldukça azaltacağından, bağlantı plakalarının yalnız birisinde bulon için oval delik açılır, diğer plakada ise deliğin montaj sırasında uygun yere açılması gerekmektedir. Yatay yöndeki kaçıklıklar ise ankraj plakaları eğilerek kapatılabilir. Ancak, fazla miktardaki kaçıklıklar plakalarda burulmaya neden olacağından, yatay ölçü hataları en az düzeyde tutulmalıdır. Kirişlerde ve birleşim bölgelerinde çelik plakaların çevresine ilave etriyeler konulmalıdır.</p>
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bu tip birleşimlerde, bağlantı takviye edilmediği takdirde, sadece küçük yatay ve düşey kuvvetler ile küçük momentler aktarılabilir. 2. Birleşimin burulma dayanımı zayıftır. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşim, rötre yapmayan harç dökülerek gizlenir böylece korozyondan korunmuş olur.
 <p>KKr-12</p> <p>KESİTLER</p>	<p>Kaynaklı Çelik Plakalar ile Birleşim (KKr-12)</p> <p>Bu tip birleşimlerde kiriş, çelik plaka ile kaplanmış mesnet yüzeylerine oturtulur ve mesnetin sürekliliği, kirişin alttan ve üstten kaynaklarla kolona bağlanması ile sağlanır. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanır. Kiriş yerine oturtulduktan sonra, kiriş üst yüzüne gömülü yatay çelik plaka ile karşısına gelen kolon yüzündeki düşey çelik plaka, kiriş üstü ile kolon yüzü arasında konulan yatay bir çelik plaka aracılığı ile birbirine kaynaklanır ve kirişin üst tarafında çekme uygulanır. Birleşimdeki bütün çelik plaka ve köşebentler, üzerlerine gelen yükleri taşıyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Çelik parçalar kaynaklanıp, mesnette süreklilik elde edilene kadar, kiriş ortasından desteklenerek kirişte oluşacak eğilme momentleri azaltılmalıdır.</p>

<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Açığıtaki çelik bağlantı parçaları için korozyon ve yangına karşı önlem alınması gereklidir. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kiriş sehiminin az olduğu durumlarda, büyük düşey kesme kuvvetleri aktarılabilir. Ayrıca, büyük yatay yükleri ve her iki yönde büyük eğilme momentleri aktarabilir.
<p>KKr-13</p>   <p>KESİTLER</p>	<p>Sürekli Kirişlerde Geçmeli Birleşim (KKr-13)</p> <p>Bu tip birleşimlerde kirişte ve üst kolonda, alt kolondan çıkan donatı filizlerinin girebileceği ankraj yuvaları bulunmaktadır. Alt veya üst kolondan çıkan donatı filizleri kirişte bırakılan yuvaların içinden geçirilerek bir tesviye yastığı üzerine oturtulduktan sonra, kolon ile kiriş arasında kalan boşluk (derz) kuru harç ile doldurulur. Daha sonra kirişteki ankraj yuvaları rötre yapmayan harç ile doldurulur. Montaj sırasında, bu yuvalara ankraj donatıları sokularak rötre yapmayan harç ile doldurulur. Kolondan çıkan filizler için kolon ana donatıları kullanılabilir. Bu durumda üst ve alt kolon donatıları birbirinden farklı olacaktır, ancak uygun donatı seçimiyle alt ve üst kolonlarda, her iki yönde de eşit moment kapasitesi sağlanabilir. Ankraj donatısının aksenal kuvvetler altında sıyrılmasını engellemek için nervürlü donatı kullanılmalı ve yuva cidarı dişli açılmalıdır. Birleşimin dönmeye ve kesmeye karşı direnci donatıların dayanımına bağlıdır.</p>
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Donatı filizlerinin boyu oldukça uzun olduğundan kolonun taşınması sırasında donatı filizleri hasar görebilir. 2. Montaj yapılmadan önce donatı yuvaları su ve atık maddelere karşı korunmalıdır. 3. Geçmeli birleşimde boşluklara dökülen harç dayanımını kazanana dek yanal yerdeğiştirmesi engellenemez. 4. Montaj öncesinde bekleme süresine bağlı olarak kolon ve kiriş dış etkilerden zarar görebilir. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bu tip birleşimler ile, büyük düşey kuvvetler ve oldukça büyük yatay kuvvetler ile eğilme momentleri aktarılabilir. 2. Birleşim, rötre yapmayan harç dökülerek gizlenir böylece korozyondan korunmuş olur. 3. Donatı yuvalarının biraz büyük açılması montaj sorunlarının en aza indirilmesini sağlar.

Çizelge 4.9 Kolon-kiriş birleşiminde moment aktaran birleşim tekniği

 <p>KKr-14</p>	<p>Yerinde Dökme Birleşim (KKr-14 ve KKr-15)</p> <p>Bu tip birleşimlerde, ön üretimli kirişin boyu açıklıktan daha kısadır ve kiriş uçlarından donatılar çıkmaktadır. Kolondan çıkan filizler, bu donatılara kaynaklandıktan sonra boşluklar rötre yapmayan harçla doldurulur. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanır. Birleşimin aktarabileceği düşey kesme kuvveti kapasitesini arttırmak için, kiriş ucu ve kolondaki birleşim yüzeyi pürüzlendirilmeli ve eğimli yapılmalıdır.</p>
 <p>KKr-15</p> <p>KESİTLER</p>	<p>Bu tip birleşimlerde, eleman boylarındaki küçük ölçü hataları en aza inmesine rağmen, kaynaklanacak donatıların ucuca gelmeleri gerekmektedir.</p> <p>KKr-14 tipi birleşimlerde, yerinde dökme betonun kolona oturabilmesi için kolon yüzünde bir girinti olmalıdır. KKr-15 tipi birleşimlerde ise gerek ön üretimli kirişin gerekse kolonun birleşim boşluğunu oluşturan ara yüzeyleri eğimli yapılmalıdır.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşim rötre yapmayan harç dökülerek gizlendiğinden dolayı korozyona karşı korunmuş olur. 2. Bu tip birleşimlerle, büyük yatay yükler ve büyük momentler aktarılabilir. Düşey yüklerin aktarımı ise kiriş mesnet alanının genişletildiği KKr-15 tipi birleşimlerde çok büyük yüklere kadar çıkabilmektedir.
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Düşey yüklerin aktarımı KKr-14 tipi birleşimlerde oldukça sınırlıdır. 2. Kaliteli kaynak işçiliği gerektirir. 3. Donatılar kaynaklanabilir çelikten üretilmelidir. 4. Donatılar ancak bir taraftan kaynaklanabilir. 5. Birleşimin çekme dayanımı çeliklerin tek başına çekme dayanımından daha fazla olmalıdır. 6. Harç prizini alıp mukavemetini kazanana dek kirişler desteklenmelidir. 7. Harç dökümünün iklimsel koşullardan etkilenmemesi için gerekli önlem alınmalıdır. 	



KKr-16

KESİTLER

Kompozit Kirişlerde Kiriş Ana Donatıları ile Birleşim (KKr-16)

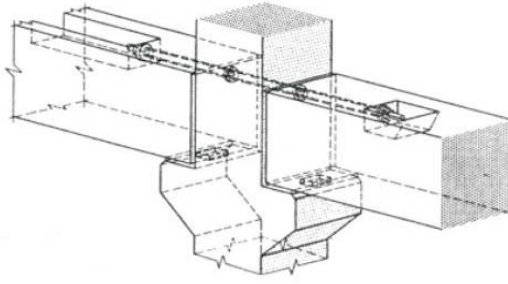
Bu tip birleşimlerde, üst tarafı yerinde dökme beton ile tamamlanan ön üretimli kiriş, beton konsol üzerine mesnetlenir. İç kolonlara yapılan birleşimlerde, kolon içerisindeki deliklerden geçirilen donatılar, iki yöndeki yerinde dökme kısımda bulunan kiriş ana donatılarına bindirilir. Dış kolonlarda ise kolondan çıkan filizler, sonradan kiriş ana donatılarına bindirilir. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanır. Kiriş ana donatılarına bindirilerek bağlantının sağlandığı uzun donatılar yerine, ana donatılara kaynaklanan kısa bağlantı çubukları da kullanılabilir. Kolonda, donatı geçişleri için metal veya plastik borular kullanılabilir. Bazı durumlarda, iki taraftan karşılıklı olarak gelen kirişlerin ana donatıları, kolon içerisinden geçip birbirlerine bindirilerek bağlantı sağlanmaktadır. Bu yöntemle, ilave bağlantı çubuklarının kullanımının önüne geçilmektedir. Moment yönünün değişme ihtimali varsa, kirişin alt ucunda bir çekme bağlantısı oluşturulmalıdır. Çekme bağlantısı için ön üretimli kirişte ve beton konsolda mesnet yüzeyleri çelik plakalar ile kaplanarak, birbirlerine kaynaklanmalıdır.

Olumlu Özellikleri;

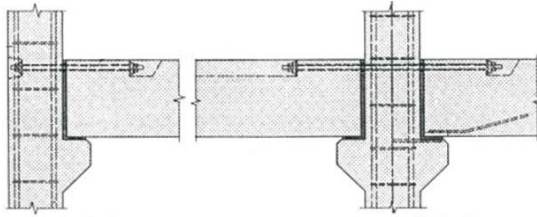
1. Bu tip birleşimlerle, büyük düşey ve yatay kuvvetler ve oldukça büyük eğilme momentleri aktarılabilir.
2. Birleşim rötre yapmayan harç dökülerek gizlendiğinden dolayı korozyona karşı korunmuş olur.

Olumsuz Özellikleri;

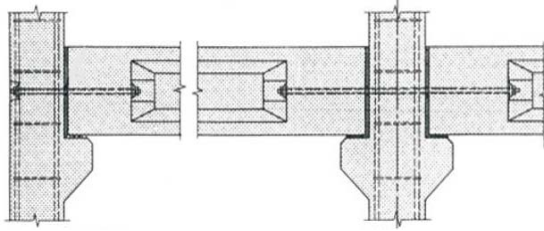
1. Kaliteli kaynak işçiliği gerektirir.
2. Donatılar kaynaklanabilir çelikten üretilmelidir.
3. Donatılar ancak bir taraftan kaynaklanabilir.
4. Birleşimin çekme dayanımı çeliklerin tek başına çekme dayanımından daha fazla olmalıdır.
5. Dış kolon birleşiminde, kolondan çıkan filizlerin kirişe yerleştirilmesi için etriyelerin açılması gerekmektedir.
6. Harç dökümünün iklimsel koşullardan etkilenmemesi için gerekli önlem alınmalıdır.
7. Harç prizini alıp mukavemetini kazanana dek kirişler desteklenmelidir.



KKr-17



KESİTLER



KKr-18

Olumsuz Özellikleri;

1. Birleşimin tam olarak çalışabilmesi için kirişler ile kolon arasında kalan düşey boşluk rötre yapmayan harç ile doldurulmalı ve germe işleri için harcının yeterli dayanıma ulaşması beklenmelidir.
2. Ard-germe donatıları yangına karşı dayanıklı olmalıdır.

Ard-germe Donatıları veya Yüksek Dayanımlı Çubuklar ile Birleşim (KKr-17 ve KKr-18)

Bu tip birleşimlerde kirişler, beton konsollar üzerine oturtularak kolona birleştirilir veya kolonun içinden geçerek karşı kirişe ulaşan ard-germe donatıları (veya yüksek dayanımlı çubuklar) ile birbirlerine birleştirilir. Mesneti ankastre olan kirişlerde uygulanır. Gergi kiriş kesitinin üst tarafına yerleştirildikleri takdirde, oldukça büyük eğilme momentleri de aktarılabilir. KKr-17 tipi birleşimlerde gergi çubuklarının geçeceği kılıflar, kirişin üst kısmına ve kolonda karşısına gelen yerlere yerleştirilir. Kirişlerde, ayrıca kılıf uçlarında ankraj yuvaları oluşturulur. Ankraj yuvalarından bir tanesi, ard-germe donatılarının kılıf içerisine sokulup karşı tarafa sürülmesine izin verecek uzunlukta olmalıdır. KKr-18 tipi birleşimlerde ise, kılıflar kirişlerin tarafsız eksenleri hizasına yerleştirilir. KKr-17 tipi birleşimlerde, mesnetteki moment yönünün değişme ihtimali varsa, kirişin alt ucunda da bir çekme birleşimi oluşturulmalıdır. Çekme birleşimi için kirişte ve beton konsolda mesnet yüzeyleri çelik plaka ile kaplanır. Birleşimdeki ard-germe donatılarına germe uygulandıktan sonra, mesnet yüzeylerindeki plakalar birbirlerine kaynaklanır. Kılıflar betona gömülü, içi nervürlü, metal veya plastik borudan olabilir.

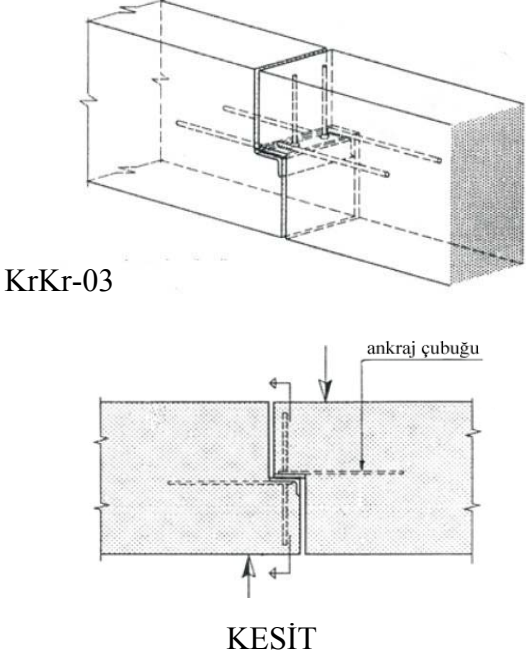
Olumlu Özellikleri;

1. Bu tip birleşimlerle büyük düşey ve yatay kuvvetler ile eğilme momentleri aktarılabilir.
2. Birleşim, rötre yapmayan harç dökülerek gizlenir böylece korozyondan korunmuş olur.

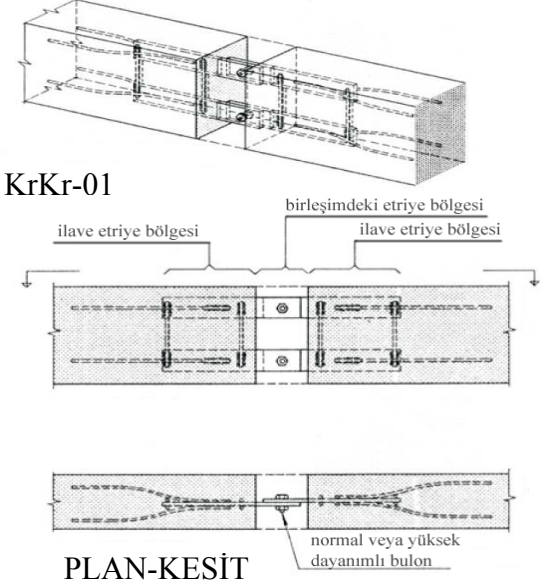
4.1.4 Kiriş-Kiriş Birleşimi

Ön üretimli kirişler ve tali kirişler arasında uygulanan birleşim türüdür. Büyük açıklıklı iskelet sistemlerde ve özel uygulamalarda kullanılır.

Çizelge 4.10 Kiriş-kiriş birleşiminde moment aktarmayan (mafsallı) birleşim tekniği

 <p>KrKr-03</p> <p>KESİT</p>	<p>Çelik Mesnet Yüzeyleri ile Birleşim (KrKr-03)</p> <p>Bu tip birleşimlerde, kirişlerin uçları inceltilecek mesnetler oluşturulmuş ve elemanlardaki bu mesnet yüzeyleri çelik plaka veya köşebentlerle kaplanmıştır. Yatay kuvvet aktarımı için kirişlerin mesnet yüzeylerini kaplayan çelik plaka ve köşebentler birbirlerine kaynaklanmalıdır. Birleşimin, deprem, patlama ve benzeri gibi etkilerle meydana gelecek düşey yöndeki kesme kuvvetini karşılayabilmesi için mesnet yüzeylerindeki çelik parçalar birbirine kaynaklanmalı, çelik plaka ve köşebentler düşey yönde de ankrajlanmalıdır.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kiriş sehiminin çok az olması şartı ile mesnet alanının küçük olmasına rağmen, bu tip birleşimlerle büyük kesme kuvveti ve bir miktar yatay kuvvet aktarılabilir.
<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşimin burulma dayanımı zayıftır. 	

Çizelge 4.11 Kiriş-kiriş birleşiminde yarı rijit birleşim tekniği

 <p>KrKr-01</p> <p>ilave etriye bölgesi</p> <p>birleşimdeki etriye bölgesi</p> <p>ilave etriye bölgesi</p> <p>PLAN-KESİT</p> <p>normal veya yüksek dayanımlı bulon</p>	<p>Çelik Plakaların Bulonlanması ile Birleşim (KrKr-01)</p> <p>Bu tip birleşimlerde, kirişlerin uçlarından çıkan dikey çelik plakalar birbirlerine bulonlanır ve boşluklar rötre yapmayan harç ile doldurulur. Plakalarda düşey-oval delikler açılarak birleşimin boyuna yöndeki ölçü hataları en aza indirilir. Ancak, bu, moment taşıma kapasitesini oldukça azaltacağından, bağlantı plakalarının yalnızca birinde bulon için delik açılmalı, diğer plakada ise bulon deliği montaj sırasında uygun yere açılmalıdır. Yatay yöndeki kaçıklıklar, ankraj plakaları eğilerek kapatılabilir. Ancak, aşırı kaçıklıklar plakalarda burulmaya neden olacağından, yatay ölçü hataları en az düzeyde</p>
---	--

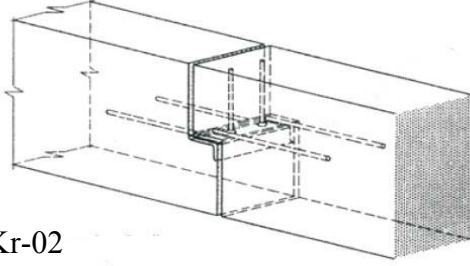
Olumsuz Özellikleri;

1. Bu tip birleşimlerde, bağlantı takviye edilmediği takdirde, sadece küçük yatay ve düşey yükler ve küçük momentler aktarılabilir.
2. Birleşimin burulma dayanımı zayıftır.

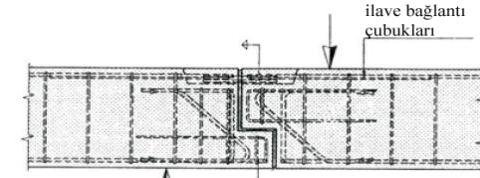
tutulmalıdır. Ankraj plakalarının çevrelerine, hem kirişlerin uçlarında hem de birleşim bölgesinde ilave etriyeler konulmalıdır.

Olumlu Özellikleri;

1. Birleşim, rötre yapmayan harç dökülerek gizlenir, böylece korozyondan korunmuş olur.



KrKr-02

**Ankraj Donatılarının Kaynaklanması ile Birleşim (KrKr-02)**

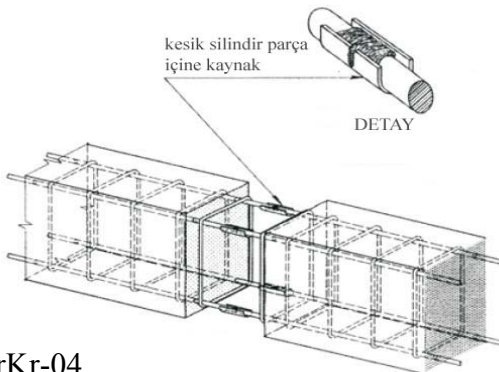
Bu tip birleşimlerde kirişler, inceltilmiş uçlarından birbirlerine mesnetlendirildikten sonra, üst yüzeylerinde bulunan girintilerden çıkan ankraj donatıları kaynaklanır. Üstteki girintilerden çıkan ankraj donatıları, birbirlerine çelik köşebentler ile kaynaklanır. Bu tip birleşimde çelik köşebentlerle kaynak işi, ya köşebente alternatif olarak kullanılan kesik silindir parça içine donatıların küt kaynaklanması ile yada donatıların yanlarından kaynaklanması yöntemi ile uygulanır.

Olumlu Özellikleri;

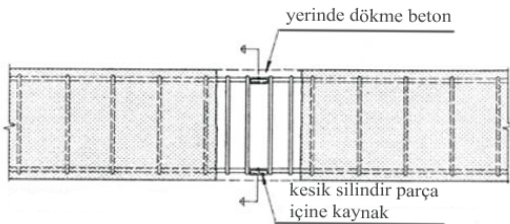
1. Büyük düşey kuvvetler ile oldukça büyük yatay kuvvetler ve mesnet momentleri aktarılabilir.

Olumsuz Özellikleri;

1. Birleşimin burulma dayanımı zayıftır.
2. Ankraj donatıları korozyona karşı dayanıksızdır.



KrKr-04



KESİT

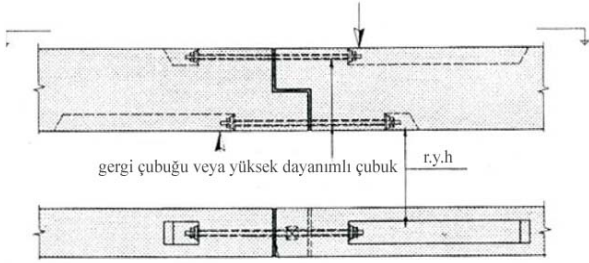
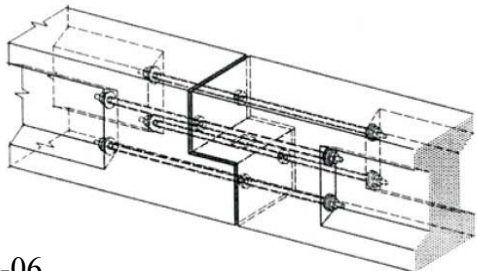
Yerinde Dökme Birleşim (KrKr-04)

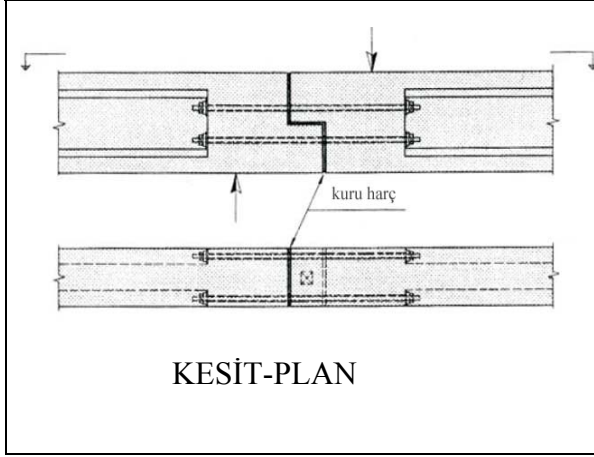
Bu tip birleşimlerde, ön üretimli kirişlerin uçlarından ana kiriş donatı filizleri çıkmaktadır. Montaj sırasında bu donatı filizleri birbirlerine kaynaklandıktan sonra boşluklar rötre yapmayan harç ile doldurulur.

Birleşimin düşey kesme kuvveti aktarma kapasitesini arttırmak için kirişlerin birleşim yüzeyleri taraklanıp pürüzlendirilmelidir. Bu tip birleşimlerde küçük ölçü hatalarının rahatlıkla azaltılmasına rağmen, kaynaklanacak donatı filizlerinin birbirlerinden uzak durmamaları ve ucuca gelmeleri gerekmektedir. Yerinde dökme beton ile ön üretimli kirişlerin birbirine iyice bağlanabilmesi için, ara yüzeyler epoksi ile yapıştırılmalıdır.

<p><i>Olumsuz Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kaliteli kaynak işçiliği gerektirir. 2. Donatılar kaynaklanabilir çelikten üretilmelidir. 3. Donatılar ancak bir taraftan kaynaklanabilir. 4. Birleşimin çekme dayanımı çeliklerin tek başına çekme dayanımından daha fazla olmalıdır. 5. Harç prizini alıp mukavemetini kazandıktan sonra dek kirişler desteklenmelidir. 6. Harç dökümünün iklimsel koşullardan etkilenmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır. 	<p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Birleşim rötre yapmayan harç dökülerek gizlendiğinden dolayı korozyona karşı korunmuş olur. 2. Bu tip birleşim oldukça büyük düşey ve yatay kesme kuvvetleri ile eğilme momentleri aktarabilir.
--	---

Çizelge 4.12 Kiriş-kiriş birleşiminde moment aktaran birleşim tekniği

 <p>KrKr-05</p>	<p>Ard-germe Donatıları veya Yüksek Dayanımlı Çubuklar ile Birleşim (KrKr-05 ve KrKr-06)</p> <p>Bu tip birleşimlerde kirişler, inceltmiş uçlarından birbirlerine mesnetlendikten sonra ard-germe donatıları veya yüksek dayanımlı çubuklar ile birleştirilir. KrKr-05 tipi birleşimlerde, ard-germe donatılarının geçeceği kılıflar, kirişlerin hem alt hem de üst kısımlarına yakın yerlere yerleştirilmiştir. Bu kılıflar, kiriş uçlarından belli bir mesafede bulunan ve kirişlerin birbirine ard-germe donatıları ile bağlanmasını sağlamak için oluşturulan ankraj yuvalarına kadar uzanır. Ankraj yuvalarından bir tanesi, gergi çubuklarının kılıf içerisine sokulup, karşı tarafa sürülmesine izin verecek uzunlukta olmalıdır. KrKr-06 tipi birleşimlerde ise kılıflar, kirişlerin tarafsız ekseninin hemen altına ve üstüne yerleştirilmiştir.</p> <p><i>Olumlu Özellikleri;</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Bu tip birleşimlerle büyük düşey ve yatay kuvvetler ile eğilme momentleri aktarılabilir. 2. Birleşim, rötre yapmayan harç dökülerek gizlenir böylece korozyondan korunmuş olur.
 <p>KrKr-06</p>	



Olumsuz Özellikleri;

1. Birleşimin tam olarak çalışabilmesi için kirişler arasında kalan düşey boşluk rötne yapmayan harç ile doldurulmalı ve germe işleri için harcın yeterli dayanıma ulaşması beklenmelidir.
2. Ard-germe donatıları yangına karşı dayanıklı olmalıdır.

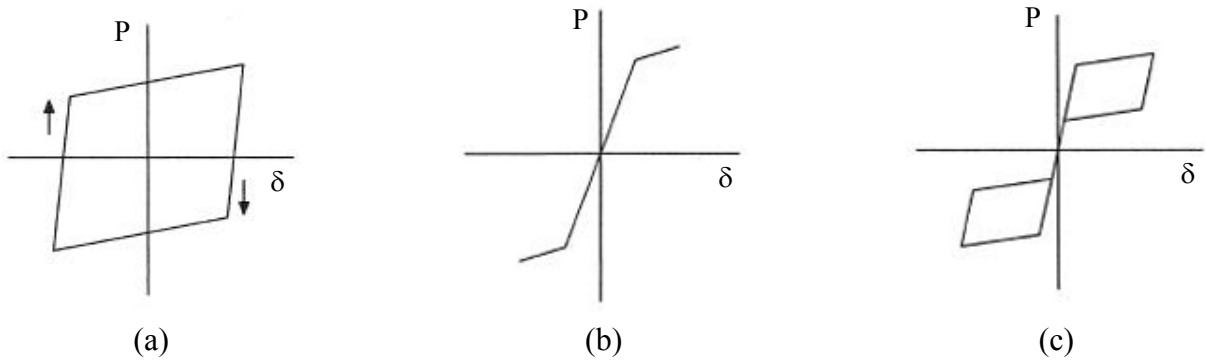
5. ARD-GERME YÖNTEMİ İLE BİRLEŞTİRİLEN ÖN ÜRETİMLİ İSKELET SİSTEM ELEMANLARININ SİSMİK ETKİLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Ön üretimli elemanlar ile yapıları, yerinde dökme sistemlere göre daha ekonomik, yüksek kalitede ve kısa sürede inşa etmek mümkündür ancak yakın geçmişe dek ön üretimli sistemler üzerinde yapılan sınırlı sayıdaki deneyler, söz konusu yapıların sismik yükler altındaki davranışını yeterince ortaya koyamamış ve davranış belirsizlikleri çözümlenememiştir. Diğer taraftan ön üretimli yapıların, yürürlükteki standartlara göre, sismik bölgeler için yerinde dökme betonarme yapılara benzer davranış gösterecek şekilde tasarlanma gerekliliği ve fabrikada ön-germe uygulanmış elemanlarla şantiyede moment aktaran birleşimler üretmenin getirdiği zorluklar da ön üretimli yapıların sismik açıdan aktif bölgelerde yeterince uygulama alanı bulmasını engellemiştir (Priestley ve Tao, 1993). Oysa, deprem yükleri altındaki davranışı deneysel çalışmalarla ispatlanmış, yenilikçi ön üretimli sistemler geliştirmek mümkündür. Bu kapsamda 1990'lı yıllardan başlayarak, monolitik sisteme benzer sismik dayanım gösterecek ön üretimli iskelet sistemlerin tasarımı üzerine çok kapsamlı deneysel araştırmalara başlanmıştır. Bu bölümde söz konusu deneyler ve ulaşılan sonuçlar irdelenecektir.

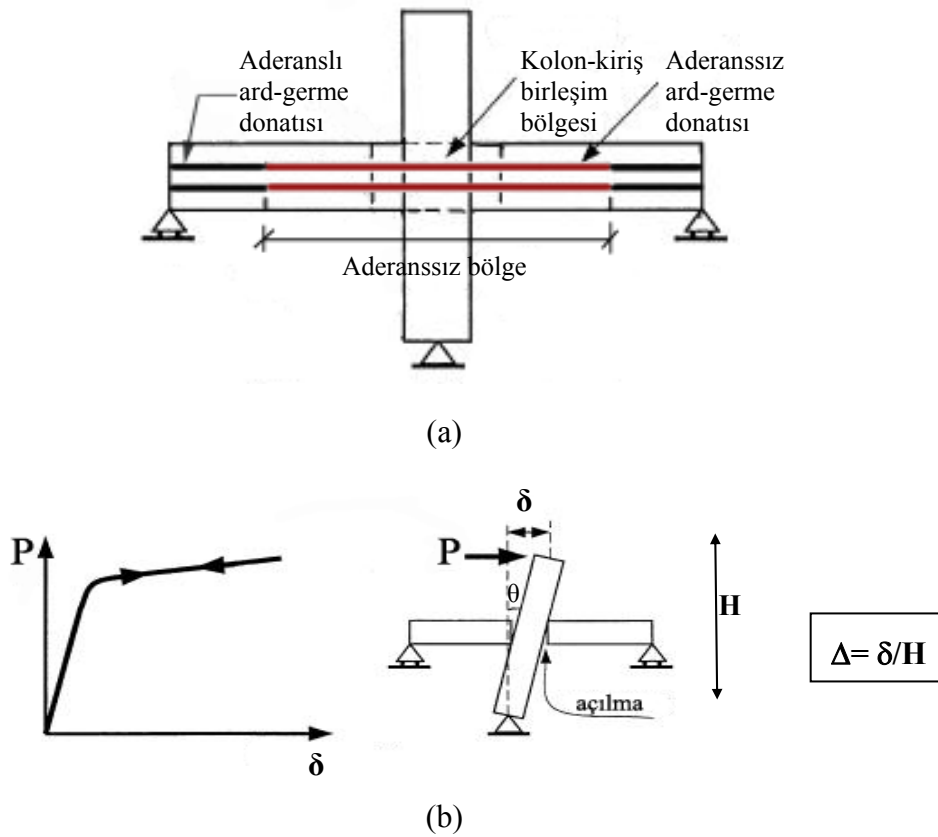
5.1 Ard-Germeli Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Sismik Etkiler Altındaki Davranışı

Sünek olarak tasarlanmış monolitik sistemlerde, sistemin enerji yutma kapasitesi iyi olmasına karşın (Şekil 5.1a), kaçınılmaz olarak, deprem sırasında kiriş uçlarında hasar, diğer bir deyişle kalıcı (plastik) şekildeğiştirmeler oluşur. Bu da monolitik sistemin, hem şiddetli bir deprem sonrası hemen kullanımını zorlaştıran, hem de maliyetli onarım-güçlendirme çalışmaları gerektiren, önemli bir olumsuz özelliğidir. Oysa ard-germe donatısı kullanılarak kolon-kiriş birleşimi oluşturulması durumunda, özellikle de aderanssız ard-germe bir bileşim ise, deprem yükü altında (P) ikili doğrusal elastik davranış (*bilineer*) gösterecektir (Şekil 5.2). Bu nedenle yük kalktığı anda birleşim kısa sürede ilk konumunu alacak (*self-centering capability*), kalıcı hasarlar oluşmayacaktır. Ard-germe donatısının kullanımı, aynı zamanda, kiriş-kolon ara yüzeyindeki kayma dayanımının sağlanması açısından da önemli katkı sağlayacaktır. Ancak bu birleşimin de olumsuz özelliği, enerji yutma kapasitesinin monolitik sisteme kıyasla çok düşük olmasıdır (Şekil 5.1b). Bu iki birleşimin olumlu özelliklerini biraraya getirmek üzere, birleşimde doğal sertlikte (S420, S520) donatı çeliğinin de kullanılması kabul görmüş, yapılan deneysel çalışmalarda ard-germe donatısı ile doğal sertlikte çeliğin birarada kullanılması durumunda birleşimin tersinir yükler altındaki enerji yutma kapasitesinin monolitik sisteme

çok benzediği, depreme dayanıklı yapı tasarımında uygulanabileceği ortaya konmuştur. Burada temel prensip, aderanssız ard-germe donatısı; sabit, hareketli yükler ile deprem yüklerine karşı elastik bölgede kalarak, birleşimin kayma dayanımını sağlarken, doğal sertlikteki donatı çeliği de eğilme etkisi ile akarak birleşimin enerji yutma kapasitesini arttırmaktadır. Karma (*hybrid*) birleşim olarak isimlendirilen bu oluşum ile elde edilen yatay yük-yerdeğiştirme değişimi (Şekil 5.1c), doğal olarak, önceki diğer iki davranışın birleşimidir.



Şekil 5.1 Tersinir yükler altında a) Monolitik sistem b) Ard-germe sistem c) Karma sistemin yatay yük - yerdeğiştirme ($P-\delta$) değişimi (Hawileh, 2005)

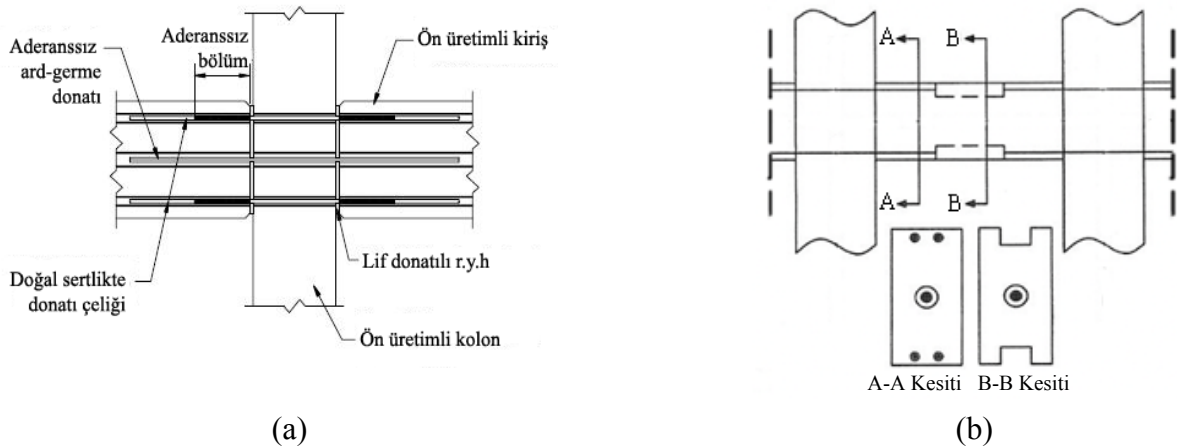


Şekil 5.2 Aderanssız ard-germeli kolon-kiriş elemanlardan oluşan sistemin a) Birleşim detayı b) Sistemin ikili doğrusal yük-yerdeğiştirme eğrisi (Sheikh, 2000)

1990'lı yıllarda ön üretimli sistemlerin sismik yükler altında monolitik sisteme eşdeğer davranış göstermesi amacı ile başlatılan yeni birleşim teknolojileri geliştirme çalışmaları, eş zamanlı olarak iki farklı program kapsamında yürütülmüştür. Bunlardan birincisi, NIST (*National Institute of Standards and Technology*)'de yürütülen ve dört aşamadan meydana gelen deneysel program (Cheok vd., 1992), diğeri ise ABD ile Japonya'dan farklı üniversitelerin katılımı ile ortaklaşa yürütülen üç aşamalı PRESSS (*Precast Concrete Seismic Structural System*) programı (Priestley, 1991)'dir. Söz konusu programlar kapsamında yeni kolon-kiriş birleşim teknolojileri üzerine yapılan test çalışmaları ve bu çalışmaların değerlendirmesi aşağıdaki bölümlerde ele alınmıştır.

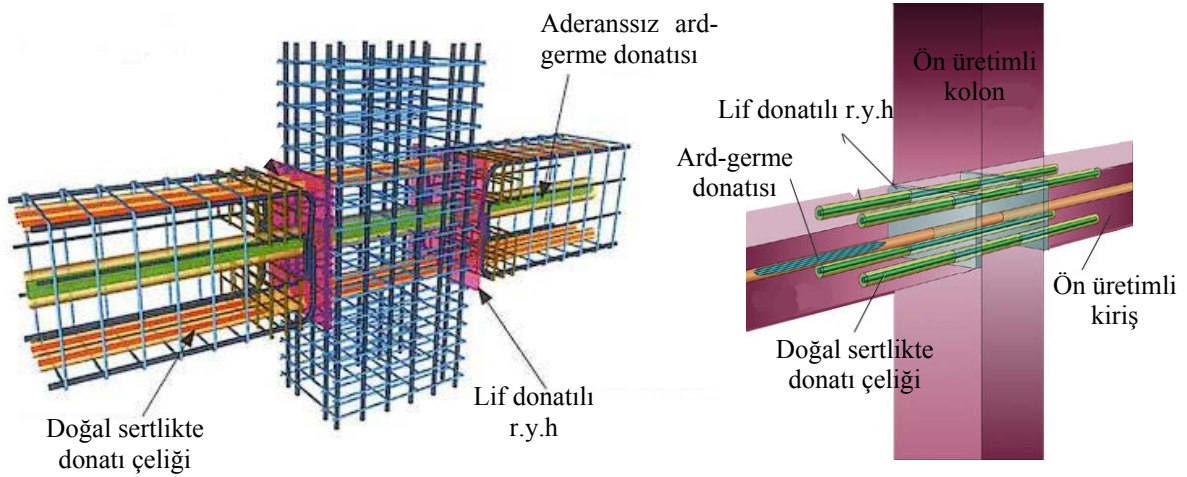
5.1.1 NIST Kapsamında Yürütülen Deneysel Çalışmalar

Ön üretimli sistemlerin sismik yükler altında monolitik sisteme eşdeğer davranış göstermesi amacı ile başlatılan araştırma programlarının önemli bir merkezi olan NIST'de 1987 yılından başlayarak, moment aktaran sünek kolon-kiriş birleşim teknolojileri geliştirme konusunda kapsamlı testler yürütülmüştür.³ Dört aşamadan oluşan bu testlerin I, II ve III. aşamalarında yalnızca ard-germe donatılardan oluşan kolon-kiriş birleşimleri test edilmiş, elde edilen sonuçlar doğrultusunda IV. aşamada (1992-1994) ard-germe donatısı ile doğal sertlikte donatı çeliğinin bir arada kullanıldığı karma birleşimler geliştirilmiştir (Şekil 5.3-5.5). Testlerin ilk aşamasında kayma dayanımının büyük ölçüde ard germe donatısı ile karşılanabileceği konusunda endişeler mevcut iken deneyler başladıktan sonra bu endişe giderek kaybolmuştur.

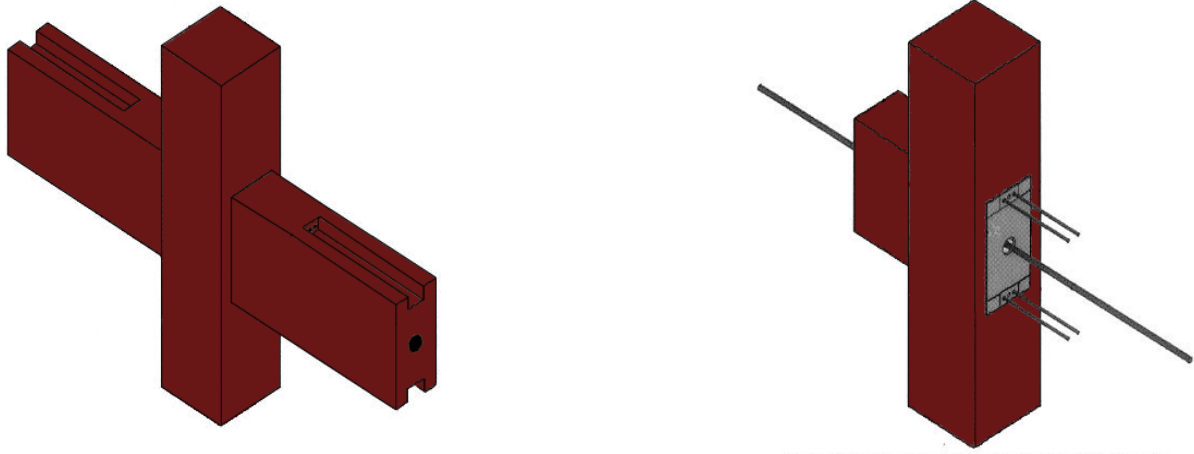


Şekil 5.3 Ön üretimli karma sistemin a) Tipik detayı b) Kesit (Stanton vd., 1997)

³ Testler için ön üretimli, 12 katlı, birbirine dik iki doğrultuda 6 ve 12 açıklıklı bir prototip yapı modeli seçilmiştir. Yapının, statik ve betonarme hesapları yapıldıktan sonra 91x91 cm kolon ve 45.7x122cm kiriş boyutlarına karar verilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı $\rho = \% 4.86$, kirişlerde ise $\% 1.27$ 'dir. Bu yapıya ait bir kolon-kiriş birleşimi test aşamasında 1/3 ölçekli olarak hazırlanmış ve sözkonusu sismik testler uygulanmıştır.



Şekil 5.4 Geliştirilen tipik bir birleşimin donatı yerleşiminin perspektif görünümü (PCI, 2002)



Şekil 5.5 Elemanların yarı birleşmiş üç boyutlu görünümü (Hawileh, 2005)

Programın IV. aşamasında, iki deney seti oluşturulmuş, tersinir yükler altında enerji yutma kapasiteleri incelenmiştir (Stone vd.1995).

1. Deney Seti'nde 4 adet karma tasarım, farklı donatı yerleşimleri ile incelenmiştir. Bu setten elde edilen sonuçlar, 2.Deney Seti için örnek sistem seçimi amacı ile kullanılmıştır. 2.Deney Setinde de 4 test uygulanmıştır. Test edilen birleşimlerin özellikleri şunlardır :

- 1. tasarımda ard-germe donatısı kirişin ağırlık merkezi boyunca yerleştirilmiştir. Kirişin altına ve üstüne doğal sertlikte donatı çeliği aderanslı olarak yerleştirilmiştir. 2.tasarım büyük ölçüde 1.tasarımın aynısıdır, 1.tasarımda ilk çevrimlerde donatıda aderansın yok olması nedeni ile tekrar üretilmiştir. Kiriş köşelerine de betonda ezilmeyi azaltmak amacı ile korniyerler yerleştirilmiştir. Ard-germe donatısının sürekli olarak yerleşimi; inşaatda daha az

ankraj, daha az iş gücü, dolayısı ile daha hızlı ve daha az maliyetli üretim anlamına gelir. Ancak ard-germe işlemi tüm kat tamamlandıktan sonra uygulanabilir.

- 3.tasarımda aderanssız ard-germe donatısı ve aderanslı doğal sertlikte donatı çeliğinin her ikisi de kirişin alt ve üst kısmına yerleştirilmiştir. Bu tasarım özellikle tek açıklıklı kolon-kiriş birleşimleri için geliştirilmiştir.
- 4.tasarımda değiştirilebilir çelik kullanılmıştır. Depremden sonra basit bir şekilde değiştirilerek sistemin ekonomik ve hızlı güçlendirilmesi sağlanır. Ard-germe donatısı ve doğal sertlikte donatı çeliği kirişin altına ve üstüne çelik tüp içinde aderanssız olarak yerleştirilir.
- 5-8. tasarımlarda 1.Deney Setinin 2 (1) nolu tasarımı esas alınmış, ard-germe donatısında kısmi aderans uygulaması ve paslanmaz özellikte doğal sertlikte donatı çeliği kullanımı test edilmiştir.

Söz konusu tasarımlar ve tersinir yükler altındaki yük-yerdeğiştirme davranışları topluca Çizelge 5.1’de verilmiştir (Donatı yerleşiminin daha kolay izlenebilmesi için çizimlerde etriyeler gösterilmemiştir). Çizelge 5.2’de ise aynı tasarımların deprem enerjisi/yutulan enerji oranları yer almaktadır.

1. ve 2. Deney Seti’nin tasarımları ile ilgili değerlendirmeler aşağıda özetlenmiştir:

- 1. ve 2. tasarımda, ard-germe donatıları açıklık boyunca tam aderanslıdır. Ard-germe donatısı ağırlık merkezine -tarafız eksen- yerleştirilmiş, böylece eğilmeye çalışması engellenmiş, sürtünme ile kayma dayanımını sağlaması ve doğrusal elastik davranış göstererek, sismik yükleme sona erdiğinde sistemi ilk konumuna getirmesi öngörülmüştür. Doğal sertlikte donatı çelikleri ise alt ve üst kenarlara yine aderanslı olarak yerleştirilmiş; eğilmeye çalışarak, artan yatay yüklerde akması, böylece birleşimin enerji yutma kapasitesini artırması istenmiştir. Ancak bu donatılardaki gerilme ve şekildeğiştirmelerin birleşim bölgesinde monolitik sisteme kıyasla yüksek olduğu, bu nedenle göçmenin monolitik sistemdeki gibi plastik mafsalları ile değil, donatıda kopma sonucu oluştuğu gözlenmiştir. Yine de bu tasarım, 1.Deney Seti’nde tersinir yükler altında enerji yutma ve yerdeğiştirme kapasitesi en iyi olan birleşim tipidir (Şekil 5.7). Bu nedenle 2.Deney seti de bu tasarım esas alınarak geliştirilmiştir.
- 3.tasarımda ard-germe çeliğinin boyu kısa tutulmuş, üst ve alt kenarlara aderanssız olarak yerleştirilmiştir. Bitişinde de aderanslı doğal sertlikte donatı çelikleri mevcuttur. Ard-germe donatısındaki gerilme ve şekildeğiştirmeler aderanssız uygulama ile azaltılmıştır. Enerji yutma kapasitesi iyi olmakla birlikte, yerdeğiştirme kapasitesi 2.tasarımdan daha azdır.

Çizelge 5.1 Karma sistem birleşimlerin tersinir yükler altındaki davranış açısından karşılaştırılması

NO	KESİT	DONATI ÖZELLİKLERİ	TERSİNİR YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞ
DENEY SETİ-1			
1	<p>Tamamen aderanslı ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=41\text{MPa}$, $f_{pi}=0.65f_{pu}$</p> <ul style="list-style-type: none"> •ard-germe donatısı: $3\phi 13$ ($A_p=4\text{ cm}^2$, $\rho_p=\%0.6$, $l_p=0$), $f_{py}=1738\text{ MPa}$, $f_{pu}=1878\text{ MPa}$ •S420 donatı: $2x2\phi 9.5$ ($A_s=1.42\text{ cm}^2$, $\rho_s=\%0.47$), $f_y=400\text{MPa}$, $f_u=610\text{ MPa}$ 	
2	<p>Tamamen aderanslı ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=37\text{MPa}$, $f_{pi}=0.65f_{pu}$</p> <ul style="list-style-type: none"> •ard-germe donatısı: $3\phi 13$ ($A_p=4\text{ cm}^2$, $\rho_p=\%0.6$, $l_p=0$), $f_{py}=1738\text{ MPa}$, $f_{pu}=1878\text{ MPa}$ •S420 donatı: $2x2\phi 9.5$ ($A_s=1.42\text{ cm}^2$, $\rho_s=\%0.47$), $f_y=400\text{MPa}$, $f_u=610\text{ MPa}$ 	
3	<p>Aderanssız ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=44\text{MPa}$, $f_{pi}=0.65f_{pu}$</p> <ul style="list-style-type: none"> •ard-germe donatısı: $2x2\phi 16$ ($A_p=4\text{ cm}^2$, $l_p=0$, $\rho_p=\%1.3$), $f_{py}=896\text{ MPa}$, $f_{pu}=1000\text{ MPa}$ •S420 donatı: $2x3\phi 9.50$ ($A_s=2.13\text{ cm}^2$, $\rho_s=\%0.7$) $f_y=436\text{MPa}$, $f_u=668\text{ MPa}$ 	
4	<p>Aderanssız ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=38\text{MPa}$, $f_{pi}=0.4f_{py}$</p> <ul style="list-style-type: none"> •ard-germe donatısı: $2x2\phi 9.5$ ($A_p=1.41\text{ cm}^2$, $l_p=0$, $\rho_p=\%0.47$), $f_{py}=1034\text{ MPa}$, $f_{pu}=1103\text{ MPa}$ •S520 donatı: $2*2\phi 9.50$ ($A_s=1.86\text{ cm}^2$, $\rho_s=\%0.62$) $f_y=538\text{MPa}$, $f_u=628\text{ MPa}$ 	

DENEY SETİ-2

DENEY SETİ-2			
5	<p>Kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=47\text{MPa}$, $f_{pi}=0.44f_{pu}$</p> <p>•ard-germe donatısı: $2 \times 3\phi 13$ ($A_p=4 \text{ cm}^2$, $l_p=1.5\text{m}$ $\rho_p = \% 1.3$), $f_{py}=1710 \text{ MPa}$, $f_{pu}=1868 \text{ MPa}$</p> <p>•S420 donatı: $2 \times 2\phi 9.5$ $(A_s=1.42 \text{ cm}^2$, $\rho_s=\% 4.7$), $f_y=420 \text{ MPa}$, $f_u=673 \text{ MPa}$</p>	
6	<p>Paslanmaz çelik + kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=47\text{MPa}$, $f_{pi}=0.44f_{pu}$</p> <p>•ard-germe donatısı: $2 \times 3\phi 13$ ($A_p=4 \text{ cm}^2$, $l_p=1.5\text{m}$ $\rho_p = \% 1.3$), $f_{py}=1710 \text{ MPa}$, $f_{pu}=1868 \text{ MPa}$</p> <p>•S520 donatı: $2 \times 2\phi 9$ $(A_s=1.31 \text{ cm}^2$, $\rho_s=\% 4.2$), $f_y=517 \text{ MPa}$, $f_u=686 \text{ MPa}$</p>	
7	<p>Kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=47\text{MPa}$, $f_{pi}=0.44f_{pu}$</p> <p>•ard-germe donatısı: $2 \times 3\phi 13$ ($A_p=4 \text{ cm}^2$, $l_p=1.5\text{m}$ $\rho_p = \% 1.3$), $f_{py}=1710 \text{ MPa}$, $f_{pu}=1868 \text{ MPa}$</p> <p>•S420 donatı: $2 \times 3\phi 9.5$ $(A_s=2.13 \text{ cm}^2$, $\rho_s=\% 4.2$), $f_y=523 \text{ MPa}$, $f_u=780 \text{ MPa}$</p>	
8	<p>Paslanmaz çelik + kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	<p>$f_c=47\text{MPa}$, $f_{pi}=0.44f_{pu}$</p> <p>•ard-germe donatısı: $2 \times 3\phi 13$ ($A_p=4 \text{ cm}^2$, $l_p=1.5\text{m}$ $\rho_p = \% 1.3$), $f_{py}=1710 \text{ MPa}$, $f_{pu}=1868 \text{ MPa}$</p> <p>•S420 donatı: $2 \times 3\phi 9$ $(A_s=1.97 \text{ cm}^2$, $\rho_s=\% 4.2$), $f_y=431 \text{ MPa}$, $f_u=695 \text{ MPa}$</p>	
9	<p>Monolitik sistem</p>	<p>•S420 donatı: $\rho_s=\% 1.27$ $f_y=431 \text{ MPa}$, $f_u=695 \text{ MPa}$</p>	

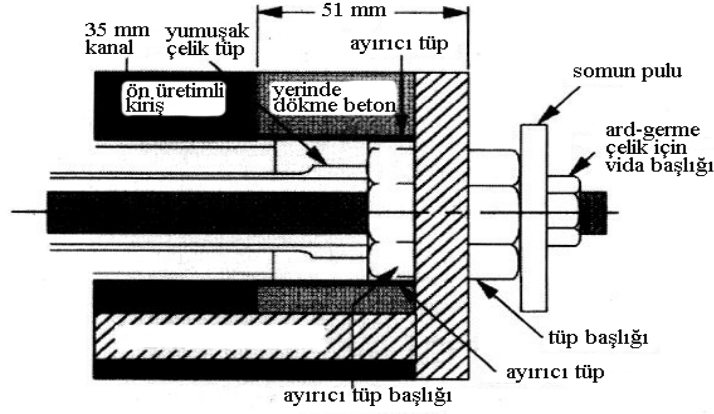
f_c =Silindirik basınç dayanımı; f_{pi} , f_{py} , f_{pu} =Ard-germe donatısı gerilme düzeyi, akma ve kopma dayanımı; f_y , f_u = Doğal sertlikte donatı çeliğinin akma ve kopma dayanımı, A = Enkesit alanı, A_p = Ard-germe donatısı alanı, A_s = Doğal sertlikli üst ve alt donatılardan her birinin alanı, ρ_p , ρ_s = Ard-germe (A_p/A) ve doğal sertlikli donatı oranı ($=\Sigma A_s/A$), l_p =Ard-germe donatısında aderanssız kısmın boyu

Çizelge 5.2 Karma sistem birleşimlerin enerji yutma kapasiteleri-yerdeğiştirme değişimi açısından karşılaştırılması

NO	KESİT	ENERJİ YUTMA KAPASİTESİ
DENEY SETİ-1		
1	<p>Tamamen aderanslı ard-germe sistem</p>	
2	<p>Tamamen aderanslı ard-germe sistem</p>	
3	<p>Aderanssız ard-germe sistem</p>	
4	<p>Aderanssız ard-germe sistem</p>	

DENEY SETİ-2

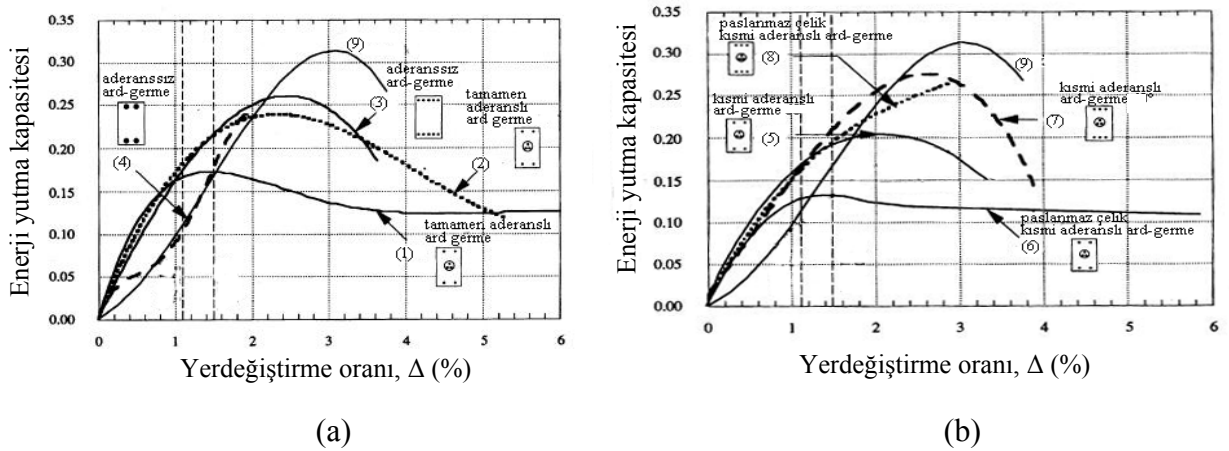
5	<p>Kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	
6	<p>Paslanmaz çelik + kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	
7	<p>Kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	
8	<p>Paslanmaz çelik + kısmi aderanslı ard-germe sistem</p>	
9	<p>Monolitik sistem</p>	



Detay-1

Şekil 5.6 4 nolu modeldeki aderanssız çelik tüp içindeki donatıların yerleşimini gösteren detay (Stone vd., 1995)

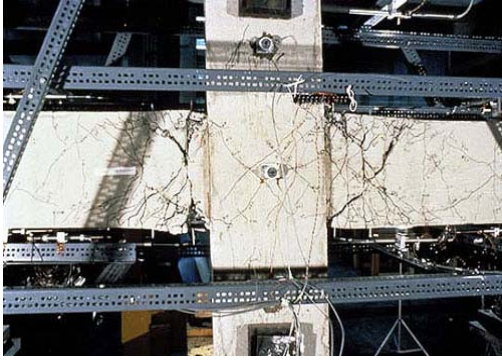
- 4.tasarım, 3.tasarıma benzemekle birlikte farklılığı, tüm donatılarda aderanssız olarak değiştirilebilir çelik kullanılmış olmasıdır (Şekil 5.6). Tersinir yükler altında enerji yutma kapasitesi çok sınırlı kalmış, yerdeğiştirme özelliği açısından en kötü birleşim tipi olmuştur.
- 1.Deney Setinin 2.tasarımına benzer, ancak iyileştirilerek üretilen 5. ve 7. tasarımlarda doğal sertlikte donatı çeliği, gerilme ve şekildeğiştirmeleri azaltabilmek için, kolon-kiriş ara yüzlerindeki 2.5 cm'lik mesafelerde aderanssız bırakılmıştır (Paslanmaz çeliğin kullanıldığı 6. ve 8. tasarımlarda aderansı daha da azaltmamak için bu işlem uygulanmamıştır). Ard-germe donatısı ise kısmi sürekli olarak yerleştirilmiştir, toplam 1.5 m'lik uzunluk boyunca aderans yoktur.
- Ön üretimli karma sistem, yerinde dökme betonarme sistem ile eğilme dayanımı aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş boyutları iki sistemde de aynıdır.



Şekil 5.7 Örnek modellerin enerji yutma kapasitesi a) 1.Deney Seti b) 2.Deney Setindeki tasarımların enerji yutma kapasitesinin toplu gösterimi (Stone vd., 1995)

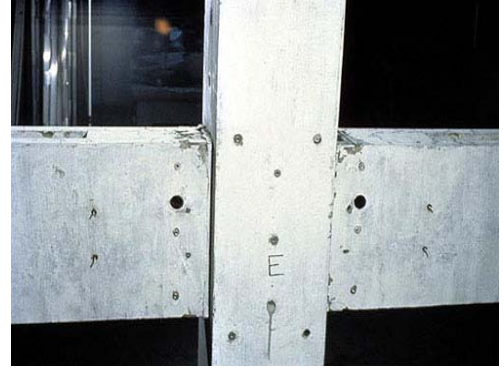
Elde edilen deney sonuçları şu şekilde değerlendirilebilir :

- Rijitlikteki ilk önemli orandaki azalma, kolon-kiriş ara yüzeylerinde ilk çatlakın ve açılmanın başladığı yük düzeyinde oluşur (Özden, 2007).
- Ard-germe donatısı kirişin ağırlık merkezi boyunca yerleştirilmelidir. Böylece ard-germe donatısı eğilmeye zorlanmayacak, kirişlerin ilk konumunu almasını ve sürtünme ile birleşimin kayma dayanımını sağlayacaktır. Alt ve üst kenarlar boyunca konumlanacak doğal sertlikte donatı çelikleri de birleşimin enerji yutma kapasitesini arttıracaktır. Bu sistemde uygulanacak ard-germe kuvveti, klasik ard-germe uygulamalarından daha düşük düzeyde olmalıdır (*kısmi ard germe*).
- Doğal sertlikte donatı çeliği kullanıldığında kiriş-kolon ara yüzeylerinde yüksek gerilmeler oluşur, bu durumda donatının hızla akarak kopması söz konusu olabilir. Sorun, 5. ve 7. tasarımda yapıldığı gibi, her iki yüzde kısa bir mesafe boyunca donatı ile beton arasındaki aderansı kaldırmak sureti ile çözülebilir.
- Değiştirilebilir ard-germe donatısı içeren 4.tasarım (Yerdeğiştirme oranının % 2 düzeyinde 3 mm genişliğinde kayma çatlakları ile göçme durumuna gelmiştir) hariç, diğer tüm tasarım modellerinin enerji yutma kapasitesi, yerinde dökme betonarme sistemin % 1.5 yerdeğiştirme oranına kadar yuttuğu enerji düzeyinden fazladır. Bu orandan sonra ise karma sistemin yuttuğu enerji, yerinde dökme betonarme sistemin % 75'i düzeyindedir.
- Karma sistem çok büyük yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir. Tersinir yükleme sonucunda ± 6 yerdeğiştirme oranına kadar hasar ihmal edilebilir düzeydedir. Bu seviyede bile dayanımının % 55'ini hala korumaktadır.
- 2.Deney Seti'nde yalnızca ~1mm'lik çatlaklar gözlenmiş, yük kalktığı anda ise çatlaklar kapanmıştır (Şekil 5.8).
- Yerinde dökme betonarme birleşimde kaymadan dolayı çatlaklar meydana gelirken, karma sistemde kayma dayanımı aynen korunmaktadır.
- Kolon-kiriş ara yüzeyi ~1 cm kalınlıklı, plastik lif katkılı C60-C80 dayanımlı rötre yapmayan harç ile doldurulmaktadır. Eğilme sırasında kiriş yüzeyinden kolona gelen basınç gerilmelerinin elemanlarda oluşturacağı ezilmeyi ve ara yüzdeki kayma şekildeğiştirmelerini azaltmak amacı ile kullanılmıştır.
- Ard-germeli kiriş-kolon birleşimlerinin en önemli avantajlarından biri, büyük depremlerde oluşacak hasarların minimum düzeyde olması böylece iyileştirme maliyetinin monolitik sistemlere nazaran daha düşük olmasıdır (Priestley ve Tao, 1993).



$\Delta \cong \%3$

(a)



$\Delta \cong \%6$

(b)

Şekil 5.8 Örnek modeller üzerinde yapılan test sonuçları a) Yerinde dökme betonarme birleşim üzerinde uygulanan test b) Ön üretimli karma birleşim üzerinde uygulanan test [29]

5.1.2 PRESSS Programı Kapsamında Yürütülen Deneysel Çalışmalar

1989 yılında N. Priestley'in yürütücülüğünde başlatılan PRESSS isimli araştırma programı kapsamında Amerika ve Japonya işbirliği yapmış, her iki ülkede ön üretimli iskelet sistemler ve birleşimleri üzerinde geniş çaplı deneysel ve teorik araştırmalar yürütülmüştür. Bu araştırmalarda Japonya birleşimlerin daha rijit olması üzerinde dururken, ABD sünek birleşimler üzerinde odaklanmıştır.

Program esas olarak üç aşamadan oluşmaktadır: I. Aşama, sismik açıdan aktif bölgelerde uygulanmaya elverişli birleşimler üzerinde yapılan ön çalışmaları kapsamaktadır. II. Aşama, ön üretimli kolon-kiriş elemanlar üzerinde yapılan, analitik ve deneysel çalışmaları ve çeşitli sünek birleşim detaylarını içermektedir. III. Aşama, ön üretimli 5 katlı iki prototip yapı inşa edilmesi ve bu yapılar üzerinde yapılan sismik testlerden oluşmaktadır (Şekil 5.9) (Priestley vd., 1999).

PRESSS test programının son aşamasında, geliştirilen dört farklı ön üretimli karma birleşim tasarımı, 5 katlı model üzerinde test edilmiştir (Nakaki vd., 1999). Söz konusu tasarımlar şunlardır :

- 1.tasarım: Karma birleşimdir, ard-germe donatısı ve doğal sertlikte donatı çeliği birlikte kullanılmıştır. Bu tasarım aslında NIST'teki araştırma programının son aşamasında geliştirilmiş, daha sonra PRESSS programına dahil edilmiştir. Sürekli kolon, aderanssız ard-germe yöntemiyle kiriş elemanlar ile birleştirilmektedir. Üst ve alt tarafa yerleştirilen doğal sertlikte donatı çeliğinin kolayca akararak enerji yutabilmesi için kirişin uç kısmındaki ~30 cm'lik kısım aderanssız bırakılır. Bu birleşim sismik açıdan aktif bölgelerdeki çok katlı yapılarda uygulanabilir.

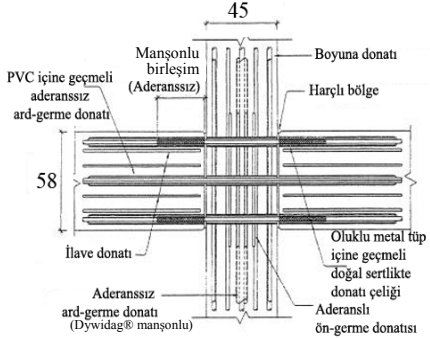
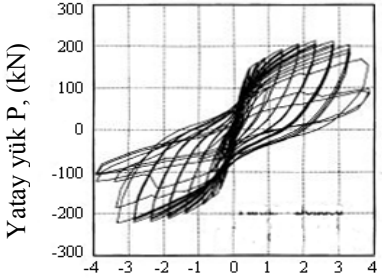
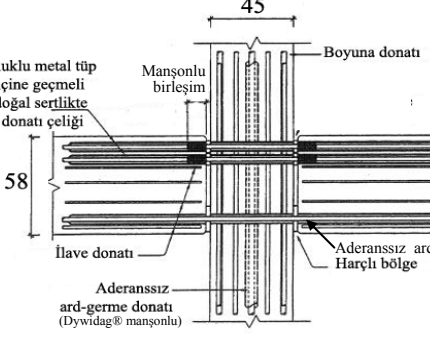
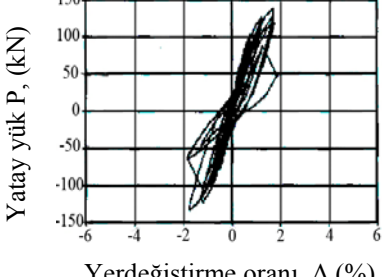
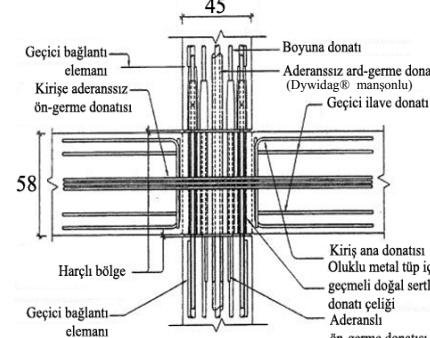
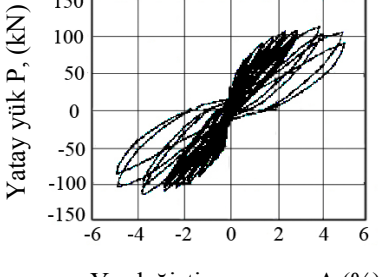
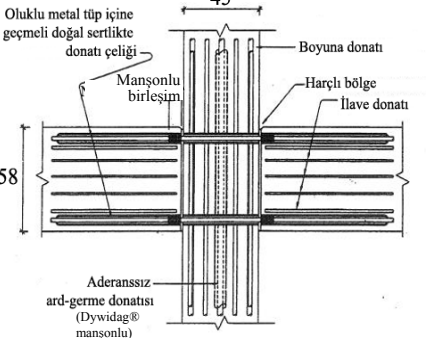
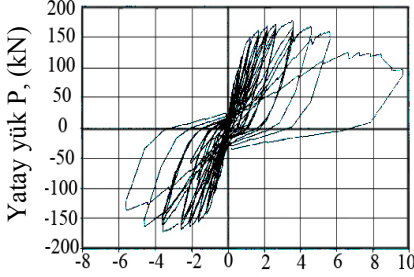


Şekil 5.9 Sismik testler uygulanmak üzere inşa edilmiş % 60 ölçekli 5 katlı model (UCSD, *University of California, San Diego*) (Priestley vd., 1999)

- 2.tasarım: Geniş açıklıklı çerçeveler için tasarlanmıştır. Kiriş-kolon ara yüzünün sadece alt kısmı harç ile doldurulur. Ard-germe kesitin alt kısmında uygulanır. Üst kısımda ise doğal sertlikte donatı çelikleri manşonla ve aderanslı (r.y.h) olarak birleştirilir. Enerji yutma kapasitesi, ek yerlerinde erken göçme durumu oluşana dek, iyidir. Bu sorun manşonlu birleşim ile çözülebilir.
- 3.tasarım: Fabrikada üretilmiş ön üretimli ön-germeli sürekli kirişlerin ağırlık merkezine şantiyede $\phi 12$ 'lik aderanssız ön-germe donatıları yerleştirilir. Yine fabrikada üretilmiş ön üretimli kolonların ön-germe ve ard-germe donatıları da, kirişler içinde bırakılan kanallar vasıtası ile, düğüm noktası dışında birbirine manşon [Dywidag®] ile bağlanır, ard-germe donatısı aderanssızdır. Tek katlı çok açıklıklı yapılar için çok ekonomik bir yöntemdir. Enerji yutma kapasitesi düşüktür.
- 4.tasarım: Klasik yerinde dökme betonarme birleşime çok benzer bir tasarımıdır. Kirişte ard-germe donatısı mevcut değildir. Ancak tasarımda plastik şekildeğiştirmelerin oluşacağı plastik mafsal bölgesinin boyu kısaltılmıştır, böylece hasar bölgesinin sınırlandırılması amaçlanmıştır. Diğer tasarımlardan farklı olarak kolon-kiriş ara yüzünde az miktarda da düşey yerdeğiştirme gözlenir.

Tüm tasarımlarda kolona orta noktasından aderanssız ard-germe uygulanmıştır, diğer kolon donatıları ise aderanslı $\phi 12$ (1.2 cm) uygulanmıştır. PRESSS programı kapsamında geliştirilen birleşim detayları ve tersinir yükler altındaki davranışları (Nakaki vd., 1999) kaynağından yararlanılarak Çizelge 5.3'de gösterilmiştir.

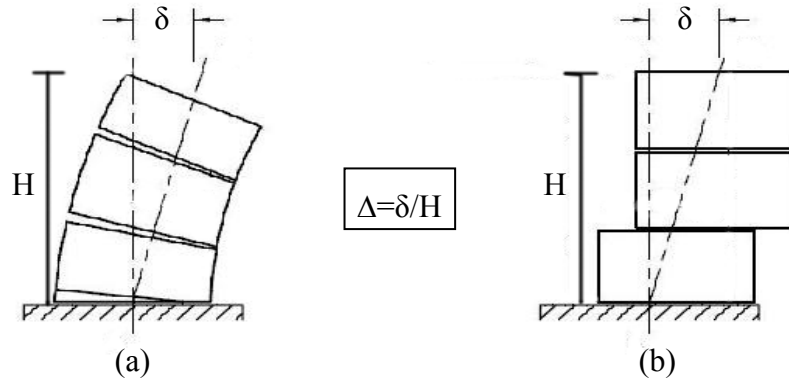
Çizelge 5.3 PRESSS Programı kapsamında geliştirilen birleşim detayları

NO	Birleşim detayı	Tersinir yükler altındaki davranış
1	 <p style="text-align: center;">Karma birleşim</p>	 <p style="text-align: center;">Yerdeğiştirme oranı, Δ (%)</p>
2		 <p style="text-align: center;">Yerdeğiştirme oranı, Δ (%)</p>
3	 <p style="text-align: center;">Ön-germe birleşim</p>	 <p style="text-align: center;">Yerdeğiştirme oranı, Δ (%)</p>
4		 <p style="text-align: center;">Yerdeğiştirme oranı, Δ (%)</p>

5.2 Ard-Germe Yöntemi İle Birleştirilen Beton Duvar Panellerinin Sismik Etkiler Altındaki Davranışı

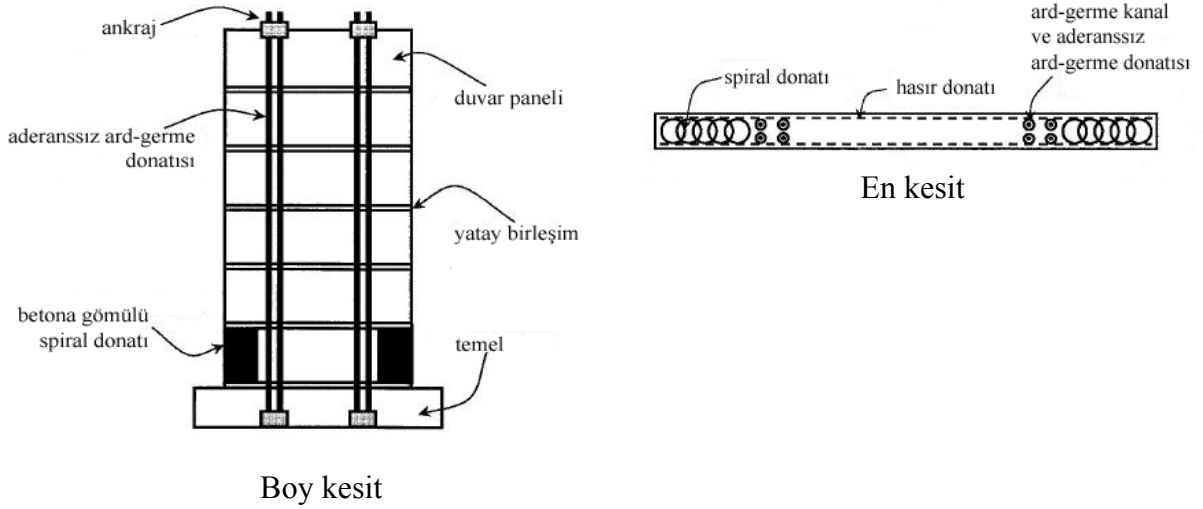
Ön üretimli beton paneller ile üretilen perde duvarların sismik davranışları konusunda literatürde sınırlı sayıda araştırma mevcut olduğundan ABD’de sismik açıdan aktif bölgelerde uygulanan ön üretimli beton duvarların belirli kısıtlamalarla, yerinde dökme betonarme duvarların monolitik davranışını temsil ettiği düşünülmüştür. Ancak son depremlerden (Northridge, 1994) sonra ön üretimli beton duvarların, yerinde dökme betonarme perdelerden farklı olarak, bileşim bölgelerinde kayma tipi davranış nedeni ile, büyük yatay yerdeğiştirmeler olduğu, binaların önemli hasarlara uğradığı gözlenmiştir (Mueller, 1988; Oliva, 1989 ; Hutchinson, 1991). Sismik etkilere dayanıklı olarak üretilecek ön üretimli beton duvarların yatay birleşimlerinin, düşey yüklere olduğu kadar yatay yüklere karşı da dayanımı tam olmalıdır (Kurama vd., 1996). Sistem, eğilme ve kayma nedeni ile göçme oluşmayacak şekilde tasarlanmalı ve detaylandırılmalıdır.

Deprem yüklerine karşı yeterli dayanımı sağlamak için, ön üretimli kolon-kiriş deneylerinin de ışığında (Cheok vd., 1992), ön üretimli beton duvarlarda ard-germe uygulanması gündeme gelmiştir (Kurama vd., 1996). Bu yöntem sadece eğilme tipi değil (Şekil 5.10a), aynı zamanda kayma tipi davranış (Şekil 5.10b), için de etkili bir yöntemdir.



Şekil 5.10 Yatay birleşim boyunca ön üretimli panel sisteminin a) Eğilme tipi b) Kayma tipi davranışı (Kurama vd., 1996)

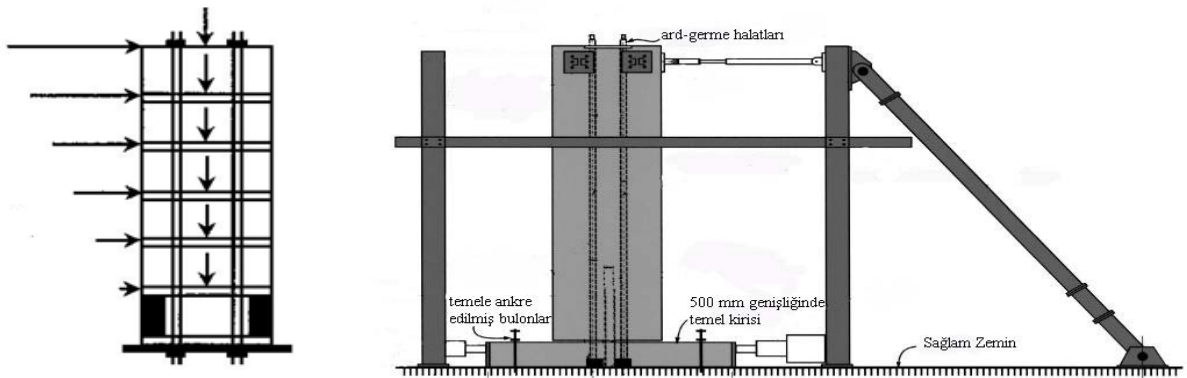
Paneller arasındaki birleşimlerde, kuru veya harçlı birleşim teknikleri kullanılmakta, ard-germe donatısı betonda bırakılan kanallar içine aderanssız olarak yerleştirilmektedir. Beton ile ard-germe donatısı arasında aderans olmaması, tersinir yükler altında duvar eğilmeye zorlanırken, betona çekme gerilmesi iletimi olmadığından eğilme çatlaklarının yerinde dökme betonarme perdelerle kıyasla önemli oranda az olmasına imkan verir (Priestley, 1991). Duvarın iki yüzüne aderansı sağlamak amacı ile hasır donatı ve sargı etkisi sağlamak üzere spiral donatı konulmaktadır (Şekil 5.11).



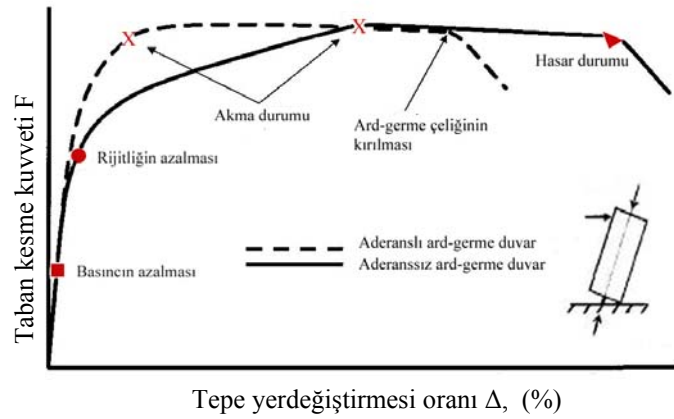
Şekil 5.11 Aderanssız ard-germeli ön üretimli beton duvar (Kurama vd., 1996)

5.2.1 Aderanssız Ön Üretimli Ard-Germe Beton Duvarların Monotonik Artan Yatay Yükler Altındaki Davranışı

Ard-germeli duvar sistemi yatay yükler altında eğilmeye çalışırken, özellikle alt panellerde yatay birleşim boyunca bir uçtan açılmaya zorlanırken diğer uçta ilave basınç gerilmelerine maruz kalır. Ard-germe halatları ve düşey yükler vasıtası ile uygulanan aksenal kuvvet ise, bir uçta aralığı kapatmak, diğer uçta ise basıncı azaltmak sureti ile sistemi ilk konumunda tutmaya çalışır. Kayma tipi davranış açısından ise, ard-germe nedeni ile artırılmış sürtünme kuvveti etkisindeki yatay birleşimlerde ard-germe donatısının akma dayanımının aşılmamış olması gerekir, aksi takdirde yatay yükler ortadan kalktığında da sistemin ilk haline gelmesi mümkün olmayacaktır (Kurama vd., 1999). Ard-germe uygulanmış ön üretimli beton duvarların sabit düşey ve artan yatay yükler altındaki davranışını incelemek için oluşturulan deney düzeneği Şekil 5.12’de, deneyden elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirme oranı tipik değişimi Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Tipik deney düzeneği (Holden vd., 2003’den değiştirerek)



Şekil 5.13 Aderanssız ard-germe uygulanmış ön üretimli duvarın taban kesme kuvveti-tepe yatay yerdeğiştirmesi değişim zarfı ve aderanslı uygulama ile karşılaştırılması

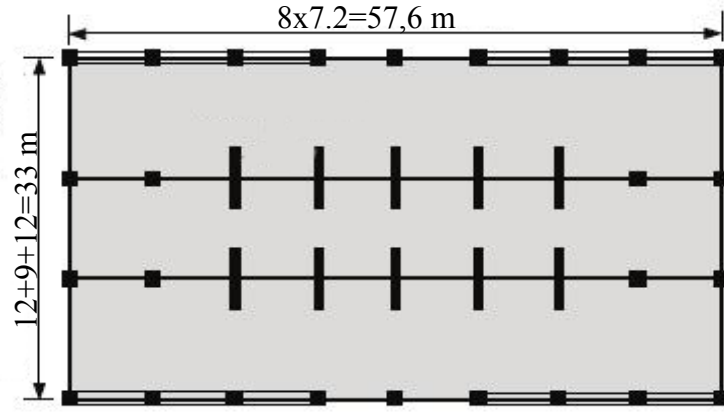
Ard-germeli sistemin sabit dűşey ve monotonik artan yatay yűkler altındaki davranıřı dűrt ařamada açıklanabilir:

- *1.aşama:* Duvar panelleri arasındaki yatay birleşimlerde, artan yatay yűklerin eğilme etkisi ile, duvarın bir tarafında basıncın azalması ve hafifçe açılma başladığında, diğer tarafında uygulanan basıncın hafifçe artması ile beton ezilmeye zorlanır. Bu aşama yatay rijitlikte doğrusal olmayan azalım bűlgesinin başlangıcını tanımlamaktadır (Kurama vd., 1996).
- *2.aşama:* Bir tarafta açılmanın diğer tarafta betonda ezilmenin artarak devam ettiği, yatay rijitliğin belirgin şekilde azaldığı bűlgede, ard-germe donatısı vasıtası ile uygulanan basıncın kuvvetinin dűzeyi, rijitliğin azalma hızında belirleyici unsurdur. Eęer uygulanmış olan ard-germe kuvveti dűřűk ise birleşimde açılma miktarı artacaktır. Bu evrede ard-germe donatısı doğrusal-elastik davranış gstermeye devam eder.
- *3.ařama:* Ard-germe donatılarında akma durumuna gelinir. Bu ařamaya kadar duvarın basıncın tarafındaki betonda doęrusal olmayan řekildeęiřtirmeler ve ezilme çatlakları, spiral donatının sargı etkisi nedeni ile dűřűk dűzeydedir (Kurama vd., 1996).
- *4.ařama:* Artan basıncın nedeni ile spiral donatılarda kopmalar bařlar ve beton ezilme nedeni ile gűme durumuna gelir.

Farklı zemin yapısına sahip, sismik açıdan aktif bűlgeler esas alınarak yapılan arařtırmalarda, farklı tipte duvar modelleri incelenmiştir (izelge 5.4). Buna gűre dięer duvar modelleri, Şekil 5.15ref'deki donatı yerleřimi referans alınarak, ard-germe donatısının deęiřik yerleřim konfigűrasyonlarına gűre űretilmiştir (Şekil 5.14).

Çizelge 5.4 İncelenen duvar modellerinin sismik özellikleri (Kurama vd., 2002)

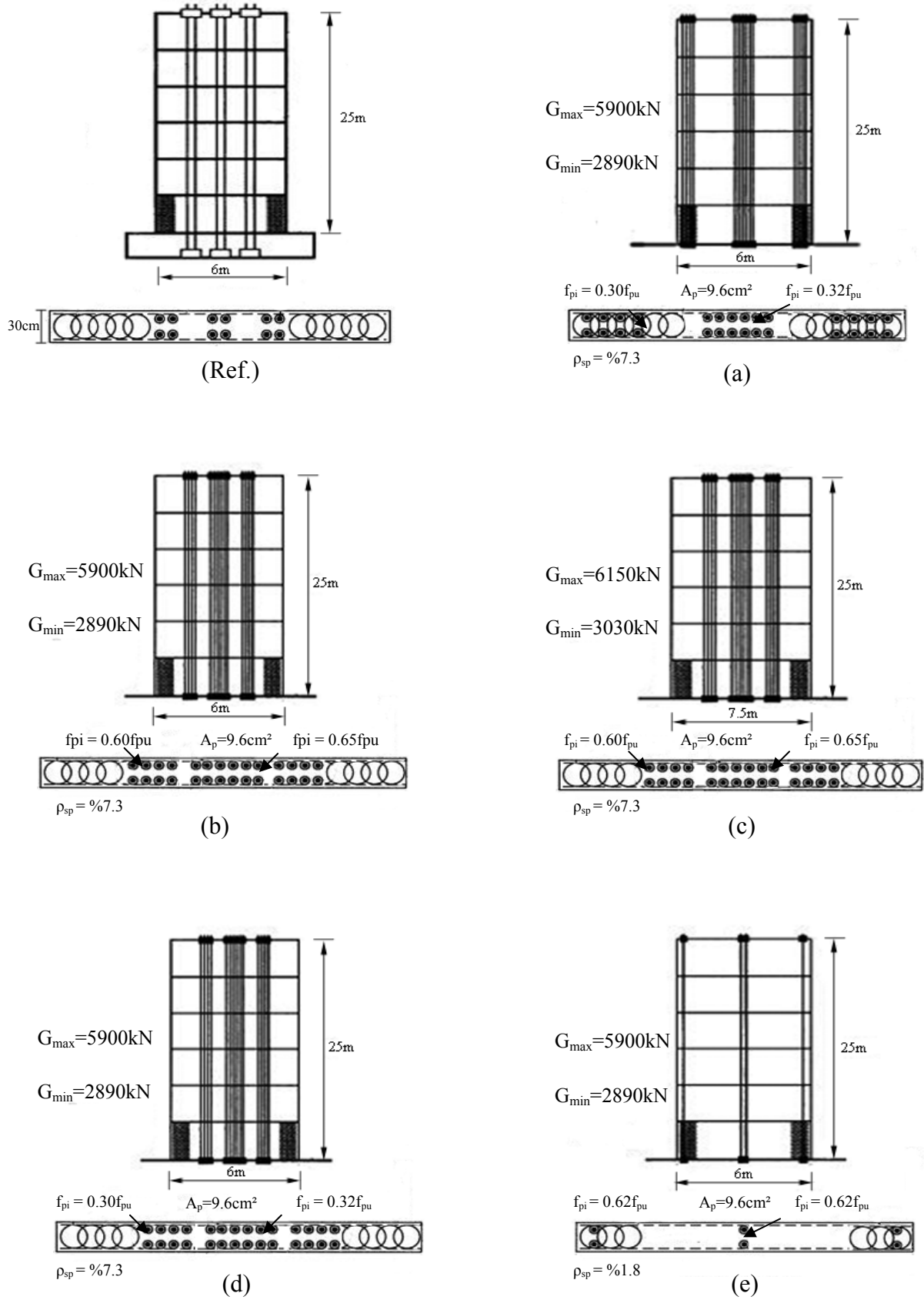
Model	Sismik açıdan aktifliği	Zemin yapısı	Ard-germe uygulanmış ön üretimli duvar sayısı	Periyot (sn)
a	Yüksek	Orta sıkı	10	0.65
b	Yüksek	Orta sıkı	10	0.65
c	Yüksek	Orta sıkı	10	0.63
d	Yüksek	Yumuşak	10	0.49
e	Orta	Orta sıkı	4	1.00



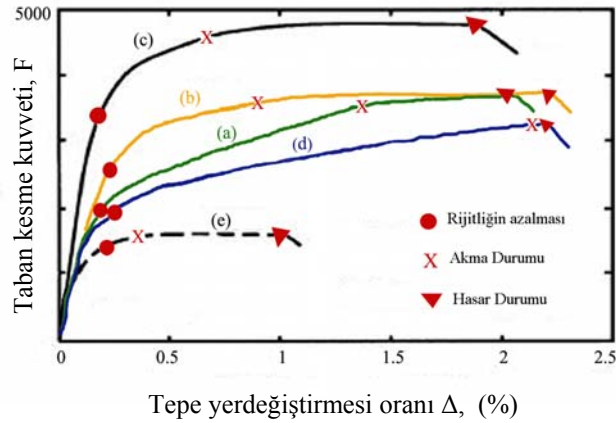
Şekil 5.14 Sistemin tipik yerleşim planı (Kurama, 2005)

Üretilen modellerin monotonik artan yükler altındaki davranışları incelenerek elde edilen taban kesme kuvveti-tepe yerdeğiştirmesi oranı değişimleri Şekil 5.16 de topluca verilmiştir. Sözkonusu deneylerden ulaşılan sonuçlar şunlardır :

- Ard-germe donatılarının yerleşim şekline göre taban kesme kuvveti ile tepe yerdeğiştirmesi oranı değişimi farklılıklar göstermektedir. Ard-germe donatısının spiral donatının içerisine yerleştirilmesi spiral donatının yeterince çalışmasını engellemektedir. Duvarın ağırlık merkezi ve yakınına belirli aralıklarla simetrik yerleştirilen ard-germe donatısı en uygun çözüm olmaktadır.
- Ard-germe donatısı ve spiral donatının kullanılması, yerinde dökme betonarme perdeye eşdeğer bir enerji yutma kapasitesi elde edebilmek için yeterli değildir.

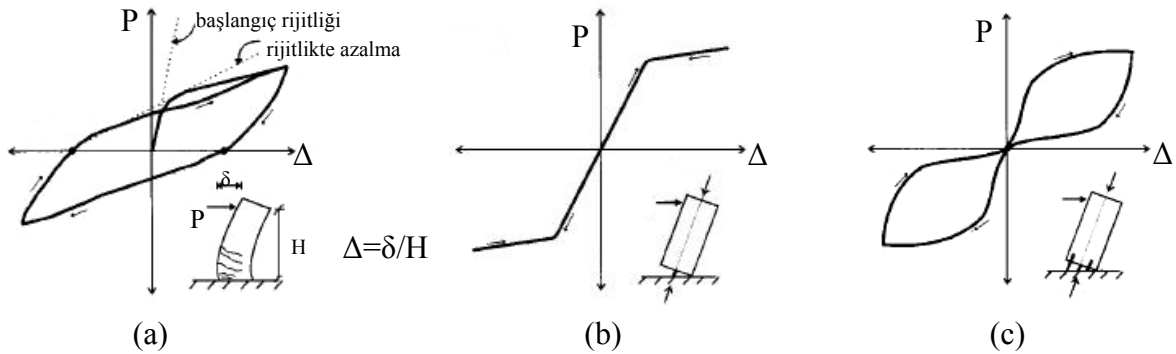


Şekil 5.15 Aderansız ard-germeli ön üretimli beton duvar alternatifleri (Kurama vd., 2002)



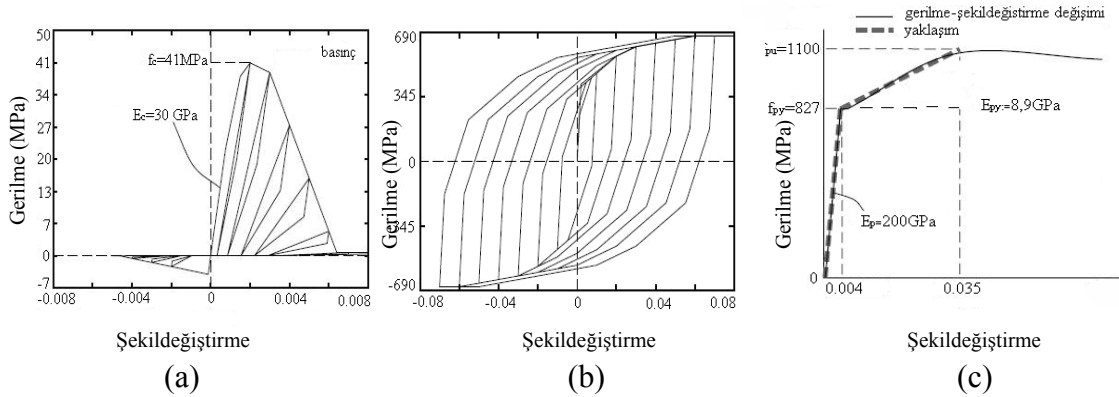
Şekil 5.16 Aderansız olarak uygulanmış ard-germe işlemi sonucunda ön üretimli duvar alternatiflerinin taban kesme kuvveti-tepe yatay yerdeğiştirme oranı değişimi (Kurama vd., 2002)

- Yerinde dökme (monolitik) betonarme perde büyük miktarda enerji yutabilir fakat yapısal hasarların oluşumu engellenemez (Şekil 5.17a). Tamamen ard-germeli bir ön üretimli beton duvarın ise enerji yutma kapasitesi düşüktür ve monolitik sisteme göre daha büyük yerdeğiştirmeler oluşur (Şekil 5.17b). Ön üretimli beton duvarlar için son dönemde, ard-germeli sistem ile monolitik sistem davranışının birleştirilmesi yöntemi ile, iyi seviyede enerji yutabilen ve oluşabilecek orta ve büyük şiddetteki bir depremde minimum hasar görebilecek karma bir sistem tasarlanmıştır (Priestley, 1991) (Şekil 5.17c). Karma sistemde, ard-germe donatı ve spiral donatıya ilave olarak duvar kenar bölgelerine 3-5 kat boyunca ancak azalarak devam eden doğal sertlikte donatı çeliği (S420 eşdeğeri) yerleştirilmektedir. Böylece ard-germeli sistemin enerji yutma kapasitesi düşük ikili (bilineer) doğrusal davranışı, yerinde dökme betonarme perdeninkine yakınlştırılabilir. Ayrıca sönüm oranı % 14'e kadar artabilmektedir.



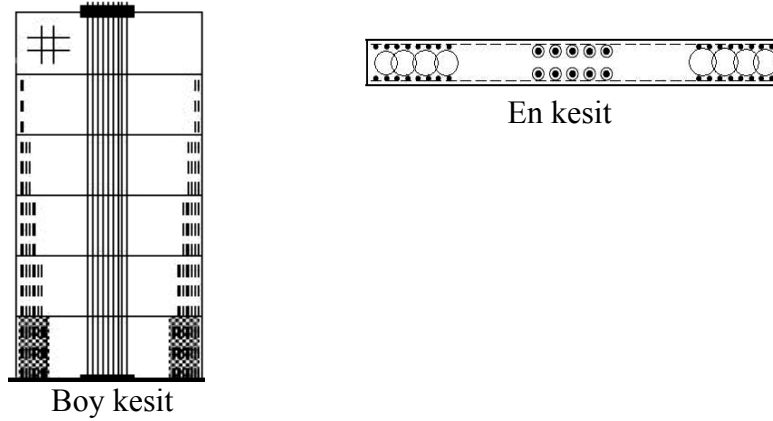
Şekil 5.17 Tersinir yükler altında a) Yerinde dökme perde b) Ard-germeli beton duvar c) Ard-germeli ön üretimli karma beton duvar'ın yatay yük-tepe yerdeğiştirme oranı değişimi (Holden vd., 2003)

Karma birleşimin davranışı betonun, ard-germe donatısı ve S420 eşdeğeri donatının gerilme-şekildeğiştirme değişimlerinin süperpozisyonunun doğal bir sonucudur (Şekil 5.18).



Şekil 5.18 Gerilme-şekil-değiştirme diyagramları a) Beton b) S420a eşdeğeri donatı c) Ard-germe donatısı (Paulay ve Priestley, 1992)

Üretilen karma sistem duvar panellerinde en ideal donatı yerleşimi Şekil 5.19'de gösterilmiştir.

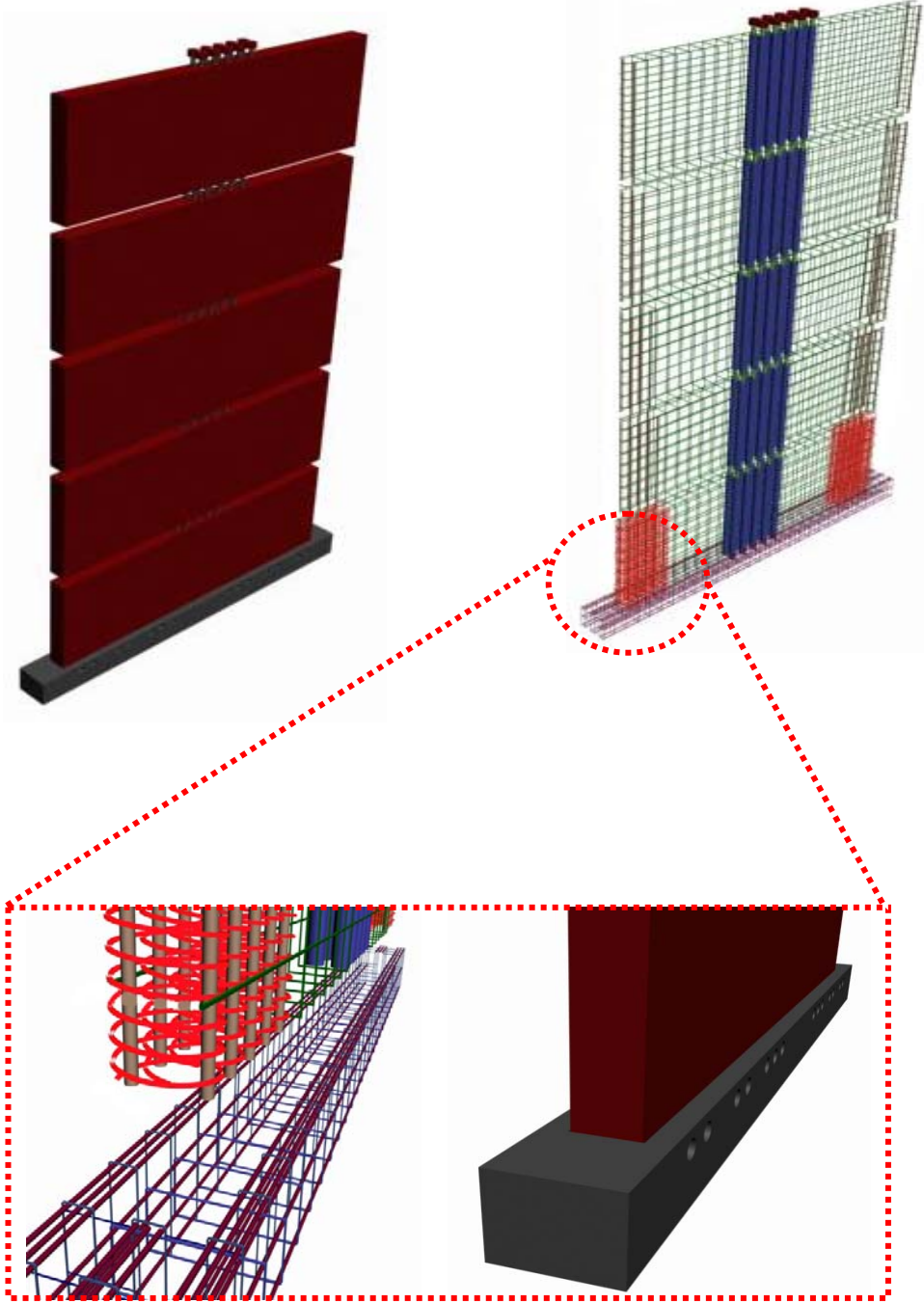


Şekil 5.19 Aderansız ard-germeli karma sistem beton duvar (Kurama, 2005)

5.2.2 Tasarımda Dikkat Alınacak Bazı Özellikler

Ön üretimli ard-germeli beton duvar tasarımında bazı önemli özellikler aşağıda verilmiştir:

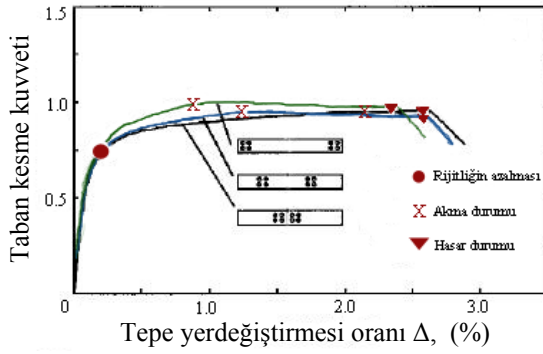
- Duvar ile temel arasında donatı sürekliliği panellerin ön üretimli olması nedeni ile klasik şekilde sağlanamamaktadır. Bu da duvarda plastik mafsal boyunun çok sınırlı kalarak, betonda ve donatıdaki basınç ve çekme gerilmelerinin yerinde dökme perdeye kıyasla oldukça büyük değerler almasına neden olacaktır. Süreksizlik sorununu gidermek için panel, soket tipi bir temel kirişi içine enine ard-germe donatıları ile yerleştirilerek tasarlanmıştır. Sistemin üç boyutlu tipik detayı Şekil 5.20'de verilmiştir.



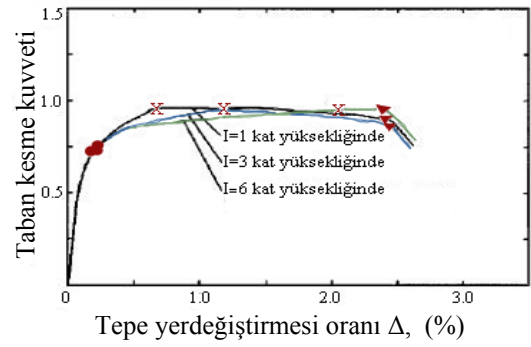
Şekil 5.20 Sistemin üç boyutlu tipik detayı

- Deneysel sonuçlarına göre, sismik açıdan aktif bölgelerde aderanssız ard-germe beton duvarların, yerinde dökme betonarme perdelerle uygun bir alternatif olduğu görülmüştür.
- Aderanssız ard-germe duvarların tepe yerdeğiştirmesinin, yerinde dökme betonarme perdelerle göre daha büyük olduğu ispatlanmıştır. Maksimum tepe yerdeğiştirmesine karşı gelen maksimum kat yerdeğiştirmeleri hesaplanmış, buna göre sistemin tersinir yükler altında doğrusal elastik davranış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

- Ard-germeli ön üretimli beton duvarlarda minimum $\Delta = \% 2.5$ düzeyinden önce göçme oluşmamalıdır, bu düzeyde ise sadece ufak çatlaklar söz konusu olmalıdır.
- Sargı etkisini sağlamak amacı ile spiral donatı yerine etriye de kullanılabilir.
- Ard-germe donatılarının yerleşim şekillerindeki farklılıklara göre normalize edilmiş taban kesme kuvveti oranı ile tepe yerdeğiştirmesi oranı değişimi farklılıklar göstermektedir (Şekil 5.21a). Ard-germe donatısının spiral donatının içerisine yerleştirilmesi spiral donatının yeterince çalışmasını engellemekte ve ard-germe donatısı daha erken akmaktadır.

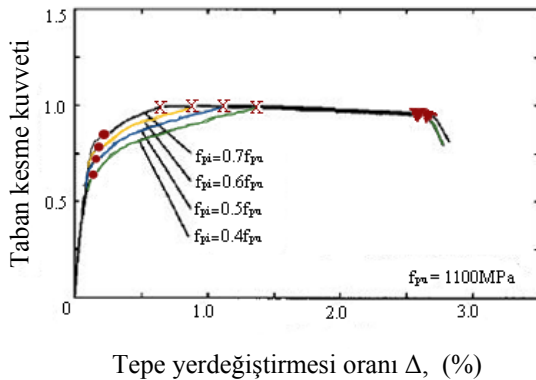


(a)

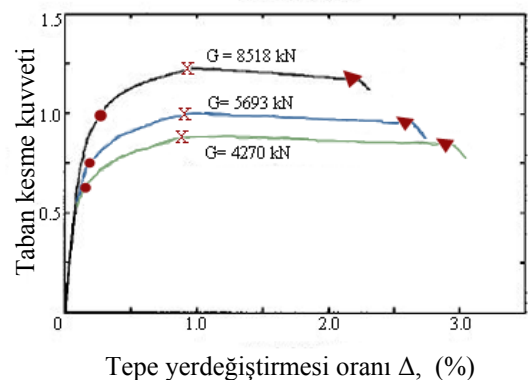


(b)

- Ard-germe donatısının boyu arttıkça, taban kesme kuvveti fazla etkilenmez, ancak ard-germe donatısı, perde daha fazla yerdeğiştirme yaptıktan sonra, akma durumuna gelir (Şekil 5.21b)
- Ard-germe donatısı ile uygulanan aksenal basınc kuvveti arttıkça, daha büyük taban kesme kuvveti düzeylerinde rijitlik azalmaya başlar, buna karşın ard-germe donatısı daha küçük yerdeğiştirme düzeyinde akma durumuna gelir (Şekil 5.21c).
- Düşey yük miktarı arttıkça taban kesme kuvveti artar ancak tepe yerdeğiştirme kapasitesi azalır (Şekil 5.21d).

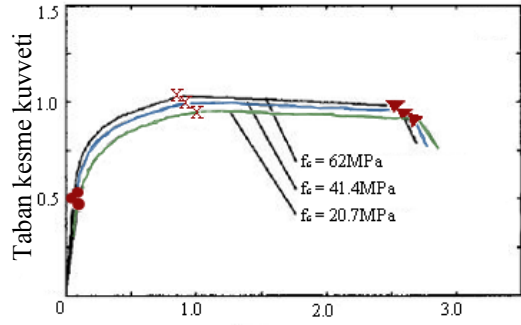


(c)

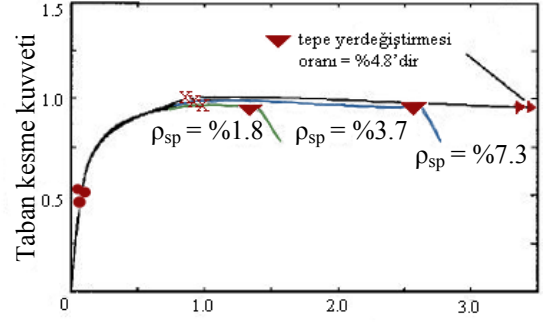


(d)

- Betonun basınç dayanımındaki (f_c) artış, tepe yerdeğiştirmesini çok önemli oranda etkilemez (Şekil 5.21e).
- Kullanılan hacimsel spiral donatı oranı (ρ_{sp}) arttıkça, tepe yerdeğiştirme kapasitesi önemli ölçüde artar (Şekil 5.21f).

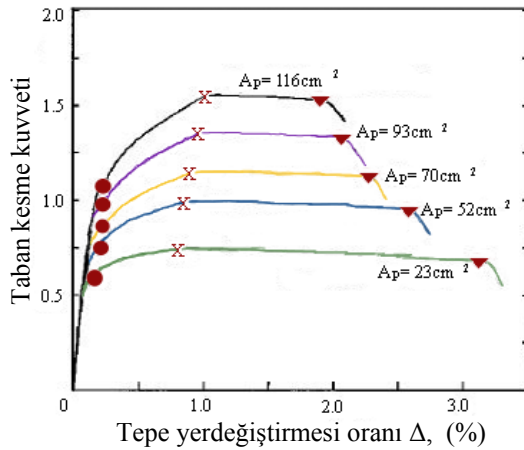
Tepe yerdeğiştirmesi oranı Δ , (%)

(e)

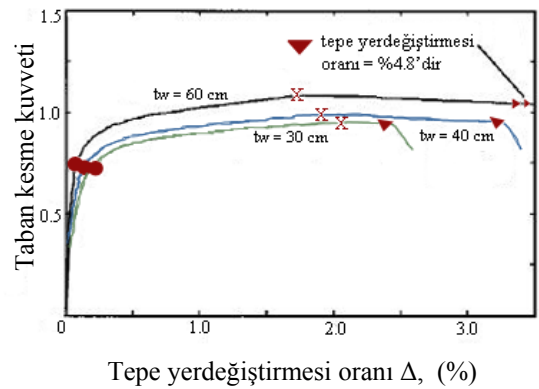
Tepe yerdeğiştirmesi oranı Δ , (%)

(f)

- Ard-germe donatısının alanı (A_p) arttıkça, taban kesme kuvveti belirgin şekilde artar, buna karşın tepe yerdeğiştirme kapasitesi azalır (Şekil 5.21g).
- Duvar kalınlığı arttıkça (t_w), akma sonrası tepe yerdeğiştirme kapasitesi artar, taban kesme kuvvetinde ise daha sınırlı bir artış söz konusudur (Şekil 5.21h).

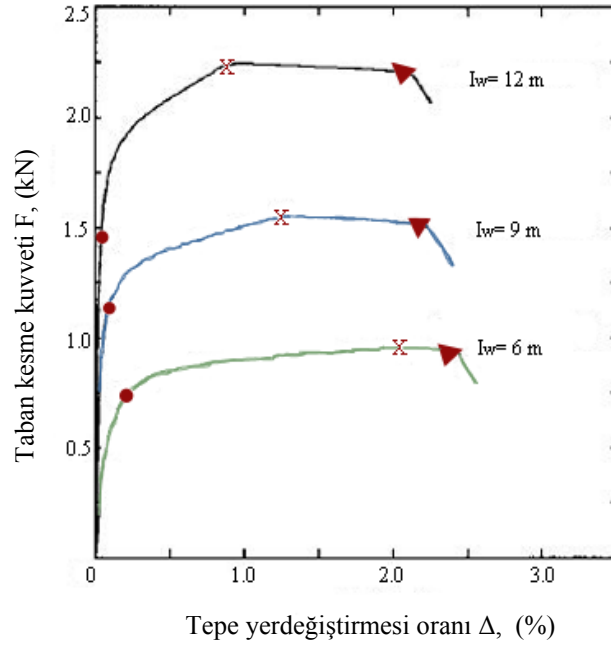
Tepe yerdeğiştirmesi oranı Δ , (%)

(g)

Tepe yerdeğiştirmesi oranı Δ , (%)

(h)

- Duvarın uzunluğu arttıkça (I_w), ard-germe donatısı daha erken akar, diğer taraftan taban kesme kuvveti kapasitesi büyük ölçüde artar (Şekil 5.21i).



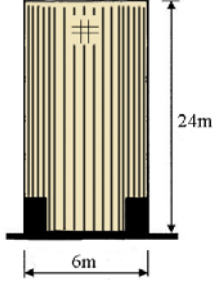
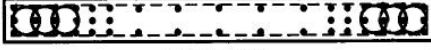
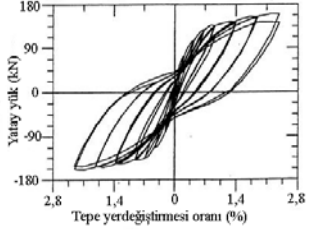
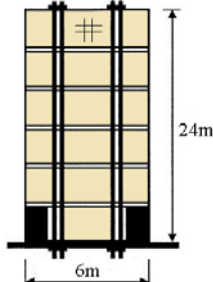

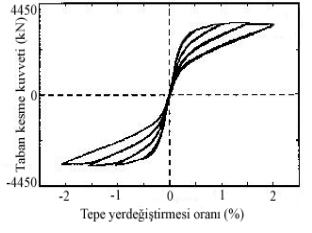
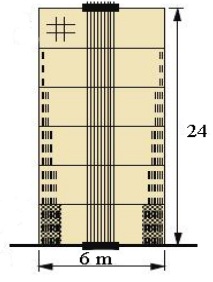

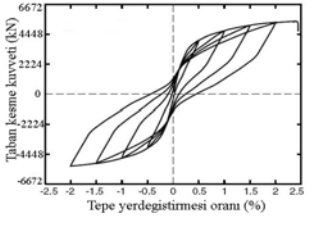
(i)

Şekil 5.21 Duvar panelinin tasarımında, duvarın yapısal özelliklerinin a) Ard-germe donatısının yerleşimi b) Aderanssız ard-germe donatının uzunluğu c) Ard-germe donatısının basınç gerilmesi d) Düşey yükten dolayı temelle birleşim bölgesindeki duvarda oluşan aksel kuvvet e) Betonun silindir basınç dayanımı f) Spiral donatının çapı g) Ard-germe donatısının toplam alanı h) Duvar panelinin kalınlığı i) Duvar panelinin uzunluğu açısından etkisi (Kurama vd., 1999)

Tasarımda dikkat edilmesi gereken bu maddelere göre geliştirilen üç farklı örnek model Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

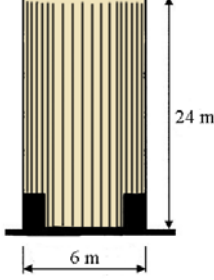
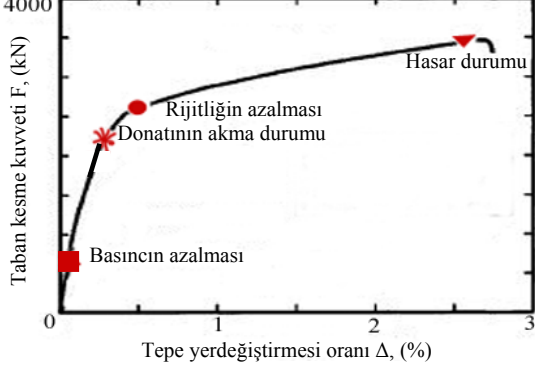
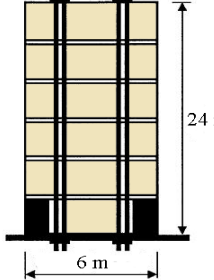
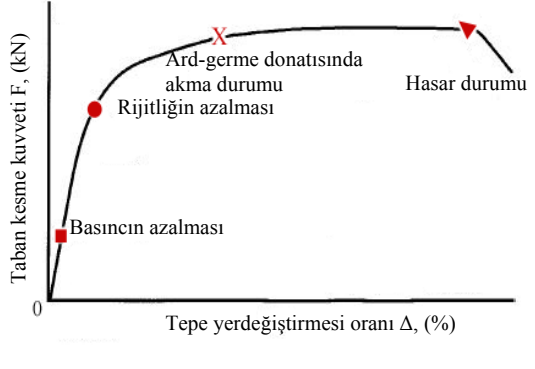
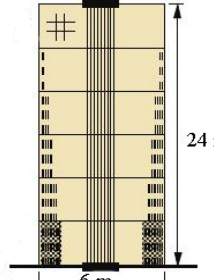
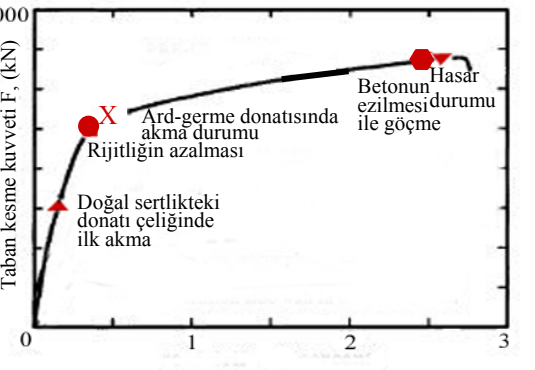
- 1. model, yerinde dökme monolitik sistem olarak tasarlanmış, yatay yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Modelde, yaygın olarak üretilen monolitik sistemlerden farklı olarak, sargı etkisini sağlamak amacıyla spiral donatı kullanılmıştır.
- 2. model, ön üretimli aderanssız ard-germe panel sistem olarak tasarlanmış ve yatay yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Doğal sertlikte donatı çeliği kullanılmadığı için tersinir yükler altındaki davranışa büyük ölçüde ard-germe kuvvetinin davranışı hakim olmuştur.
- 3. model, bu iki modelin birleşimiyle ön üretimli bir karma sistem olarak tasarlanmış, ard-germe donatısı ile doğal sertlikte donatı çeliği bir arada kullanılmıştır. Bu model ile tersinir yükler altında elde edilen sonuç, sismik açıdan çok aktif bölgelerde kullanım açısından yeterince tatmin edicidir.

Çizelge 5.5 Yerinde dökme ve ön üretimli ard-germeli perdelerin boyutlar ve tersinir yükler altındaki davranış açısından karşılaştırılması

NO	GÖRÜNÜŞ	KESİT	TERSİNİR YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞ
1		 <p><u>Yerinde dökme monolitik sistem</u> 35x300cm -Tipik detay-</p> <p>$f_c=41.4$ MPa</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3*6ϕ22/7.5 ve 2x5ϕ16/4.5 S420a donatı • Spiral donatı: $\rho_{sp} \cong \%1.9$, $d_{sp}=8.4$mm $s_{sp}=3.8$ cm, $D_{sp} \cong 15$ cm 	
2		 <p><u>Ön üretimli ard-germe panel sistem</u> 30x600cm -Tipik detay-</p> <p>$f_c=41.4$ MPa, $f_{pi}=0.60f_{pu}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • 4 çift öngerme donatısı: ($A_p=52$ cm²) $f_{pu}=1000-1100$ MPa • Spiral donatı: $\rho_{sp} \cong \%3.7$ 	
3		 <p><u>Ard-germeli karma sistem</u> 30x600cm -Tipik detay-</p> <p>$f_c=41.4$ MPa, $f_{cc}=69$ MPa, $f_{pi}=0.55f_{pu}$</p> <ul style="list-style-type: none"> • 9 çift öngerme donatısı: ($A_p=185$ cm²) $d_p=3.5$ cm, $\rho_p \cong \%1$, $f_{py}=820$ MPa, $f_{pu}=1100$ MPa • Spiral donatı: $\rho_{sp} \cong \%2.6$, $d_{sp}=9$mm $s_{sp}=3.8$ cm, $D_{sp} \cong 25$ cm • Her iki köşede 2x10ϕ32/6 ($A_s=2*164$ cm², $f_u=670$ MPa) S420a donatı mevcuttur. 	

b,L=Perde genişliği ve boyu, f_c =Beton silindirik basınç dayanımı, f_{cc} =Betonun üç eksenli basınç dayanımı, f_{py}, f_{pu} =Ard-germe donatısı akma ve kopma dayanımı, f_{pi} =Ard-germe donatısı gerilme düzeyi, f_y, f_u =Doğal sertlikte donatı çeliğinin akma ve kopma dayanımı, ρ_p =Ard-germe donatı oranı (A_p/bL), ρ_s =S420a donatı oranı (A_s/bL), d_p =Ard-germe donatısı çapı, A_s, A_p =Doğal sertlikte donatı ve ard-germe donatısı toplam alanları, ρ_{sp} =Spiral donatı hacimsel oranı, d_{sp}, s_{sp} =Spiral donatı çapı ve adım aralığı, D_{sp} =İki spiral arasındaki mesafe (merkezden merkeze)

Çizelge 5.6 Yerde dökme ve ön üretilmi ard-germeli perdelerin boyutlar ve yatay yük altındaki davranış açısından karşılaştırılması

NO	GÖRÜNÜŞ	YATAY YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞ
1	 <p>(Kurama vd., 2004'den değiştirerek)</p>	
2	 <p>(Kurama vd., 1999'den değiştirerek)</p>	
3	 <p>(Kurama, 2005'den değiştirerek)</p>	

Yapılan çalışmalar sonucunda yerinde dökme sistem ile karma sistem Çizelge 5.7’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.7 Yerinde dökme perde ve ön üretimli ard-germeli karma duvar sistemlerinin karşılaştırılması (Holden vd., 2003’den değiştirerek)

SİSTEM ÖZELLİKLERİ	YERİNDE DÖKME SİSTEM	KARMA SİSTEM
Enerji yutma kapasitesi	Çok iyi	İyi
Sönüm oranı	~% 5	% 14’e ulaşabilir.
Donatı sıklaştırması	Plastik mafsal bölgesinde donatıda burkulma ve kayma nedeni ile göçme olasılığına karşı uygulanır.	Duvarın kenar kısımlarında ve temel kirişinde uygulanır.
Boyut sınırlamaları	Özellikle perdenin plastik mafsal oluşması beklenen alt ucunda donatı boyutu ve yerleşimi konusunda hassas sınırlamalar mevcuttur.	Doğrusal-elastik teoriye göre betonda çatlak oluşmayacak şekilde tasarlanır.
Minimum donatı gereksinimi	Sismik açıdan aktif bölgelerdeki moment taşıma kapasitesini arttırmak için daha geniş temeller kullanılır.	Isı ve rötre etkilerine karşı betona lif katılabilir.
Deprem sonrası onarım ve takviye durumu	Plastik mafsal bölgesindeki boyuna donatılarda burkulma veya yıkımı gerektiren kalıcı hasarlar oluşabilir. Bunlar söz konusu değilse ≤ 1 mm genişlikli çatlaklar epoksi enjeksiyonu ile onarılır.	Onarım gerektirmez. Kalıcı şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme oluşmaz.
Başlangıç maliyeti	Rekabete dayalı geniş çapta kullanılan bir sistemdir.	Rekabet durumu belirsizdir. Maliyet analizlerine gereksinim vardır.
Hizmet ömrü maliyeti	Diğer geleneksel sistemlere oranla daha rekabet edebilir bir sistemdir. Deprem sonrası onarım gerektirebilir yada büyük depremlerde yıkıma varan ölçüde hasar görebilir.	Çok rekabetçi olması beklenir. Artçı depremler sonrasında onarıma gereksinim yoktur.

5.3 Dünyadaki Karma Birleşim Yöntemi İle Uygulanmış Ön Üretimli İskelet Sistem Yapı Örnekleri

Yapılan kapsamlı deneysel araştırmaların (Cheok, 1992; Priestley, 1993) sonucu süratle uygulamaya yansıtılmıştır. ABD’de sismik açıdan en aktif bölgede (San Francisco), inşa edilen konut yapısı *Paramount*, 39 katlı ve 128m yüksekliğinde olup, bu bölgede ön üretimli sistemle şimdiye dek inşa edilmiş en yüksek yapı olma özelliğini taşımaktadır (Şekil 5.22). Sadece 16 ayda inşa edilerek, Ekim 2001’de tamamlanmıştır. Binada kullanılan ön üretimli kolon-kiriş birleşimleri sünek birleşim olarak tasarlanmış ve ard-germe donatısı ile yüksek dayanımlı doğal sertlikte donatı çeliği (827 MPa) içermektedir. Binanın dış çerçevesi 732 adet ön üretimli kiriş ve her biri iki kat uzunluğunda 478 adet ön üretimli kolondan oluşur. Bunun yanında 641 adet mimari ön üretimli panel, 68 adet sadece düşey yüklere göre tasarlanmış kolon ve 312 adet ön üretimli ön-germeli kiriş fabrikada üretilmiştir.



Şekil 5.22 Paramount apartman yapısı [29]

Temel sistemi radye temeldir. Yapıda iki tip moment aktaran sistem uygulanmıştır. Temelden 8. kata kadar betonarme perde duvarlar ile ön üretimli ve yerinde dökme moment aktaran iskelet sistemler kullanılmış, 8.kattan sonra ön üretimli moment aktaran karma birleşimli (Şekil 5.23) iskelet sistem uygulanmıştır. Sünek birleşim üretmenin zorlaştığı tek açıklıklı çerçeve kirişinde ve tüm kolon donatı eklerinde; sünek davranışa uygun, yüksek dayanımlı Dywidag® manşonları kullanılmıştır (Şekil 5.24b). Çok açıklıklı olan çerçevelerde ise bu birleşime gerek olmadan ön üretimli karma birleşim uygulanmıştır (Şekil 5.24a, 5.25).

kirişlerde ise C35 düzeyindedir. Kirişlerin çoğu karma birleşim olup, 15mm çaplı ard-germe donatıları kullanılmıştır. Döşeme sistemi yerinde dökülmüş ve beton dayanımını kazandıktan sonra döşemenin üst tarafında bırakılan kanallardan ard-germe uygulanmıştır (Englekirk, 2002).

Sismik açıdan en aktif bölgede ön üretimli karma sistem ile inşa edilmiş olan diğer bir yapı *Stanford Shopping Center Parking Structure* (Palo Alto, California)'dır, 6 ayda tamamlanmıştır (Şekil 5.26). Döşeme sistemi yerinde dökme betonarmedir.



Şekil 5.26 Stanford Mall Parking Structure, (Palo Alto, California) [29]

San Andreas fay hattına 0.5 km uzaklıkta bulunan *Pacific Plaza* (Daly City, California) 9 katlı ofis binası ve iki adet 7 katlı otopark yapısından oluşmaktadır (Şekil 5.27). Taşıyıcı sistemi ön üretimli moment aktaran karma sistem olup, iç duvarları ön üretimli panel sistem ile perde oluşturularak üretilmiştir. Dış duvarlar ise ön üretimli cephe panellerinden oluşmaktadır. Ofis bloğunun her iki yanında bulunan otopark yapıları da ön üretimli perde duvar ile inşa edilmiştir.



Şekil 5.27 Pacific Plaza, (Daly City, California) [29]

Ön üretimli moment aktaran karma birleşim yöntemi ile inşa edilmiş 4 katlı *Westside Media Center* (West Los Angeles, California) yapısı 45 günde tamamlanmıştır (Şekil 5.28). 2 katı otopark olarak kullanılan yapının diğer 2 katı ofis olarak kullanılmaktadır.

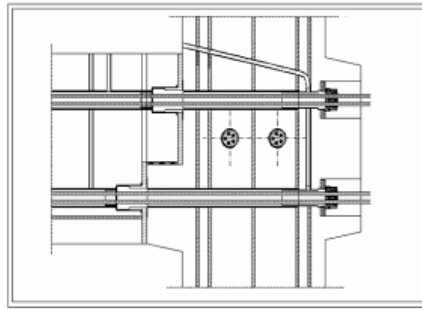


Şekil 5.28 Westside Media Center, (West Los Angeles, California) [29]

Ülkemizde de son yıllarda ard-germe birleşimli ön üretimli iskelet sistemler (Şekil 5.29) sınırlı sayıda da olsa uygulanmaya başlamıştır. Ancak bu alandaki araştırma-geliştirme çalışmalarının azlığı nedeni ile ülkemizin yabancı patentlere bağımlı kalması söz konusudur. (Şekil 5.29, 5.30).



Şekil 5.29 Ard-germeli birleşim yöntemiyle inşa edilen çok katlı iskelet sistem yapı [20]



Şekil 5.30 Ön üretimli ard-germe birleşim yöntemi uygulanmış kolon-kiriş birleşim detayı [20]

Türkiye’de ard-germe birleşim yöntemiyle inşa edilmiş en belirgin örnek *IKEA Bayrampaşa* kompleksidir (Şekil 5.31).



Şekil 5.31 IKEA, Bayrampaşa, İstanbul [20]

Forum İstanbul projesi kapsamında önemli yer işgal eden IKEA Bayrampaşa kompleksinin tüm taşıyıcı sistemi (A, B, C, D ve E blokların tümü) ön üretimli ard-germeli birleşim yöntemi kullanılarak projelendirilmiş ve kısa sürede inşa edilmiştir. Yaklaşık 35.000m² oturma alanına sahip bina, dilatasyonla birbirinden ayrılmış 4 ana bloktan oluşmuş ve 170 günde tamamlanmıştır (Şekil 5.32).



Şekil 5.32 IKEA kompleksinin montaj süreçleri [20]

6. SONUÇ

Depreme dayanıklı yapı tasarımının amacı, yapıların ekonomik ömürleri içinde olabilecek hafif ve orta şiddetli depremlerde hiç hasar görmemesinin ve yine aynı süre içinde olabilecek en şiddetli depremlerde can kaybına yol açmayacak ve ekonomik biçimde onarılabilecek düzeyde hasar görmesinin sağlanmasıdır. Özellikle son yirmi yıl içinde yaşanan depremlerden elde edilen deneyimler, ön üretimli iskelet sistemlerin depreme dayanıklı olabilmesi için öncelikle, kolon-kiriş birleşimlerinin en az yerinde dökme betonarme sistemlere eşdeğer enerji yutma kapasitesine sahip olması gerektiğini göstermiştir. Bu çıkarımdan hareketle ve kapsamlı araştırma programlarının sonucunda yeni teknolojileri kullanarak, ön üretimli sistemler için moment aktaran, sünek kolon-kiriş birleşimleri geliştirilmiştir. Günümüzde artık sismik açıdan en aktif bölgelerde güvenilir çok katlı yapı tasarımına imkan veren teknolojiler mevcuttur. Kolon-kiriş birleşimleri için geliştirilen *karma birleşim* teknolojisi, daha sonra ön-üretimli beton paneller ile oluşturulan perdelerle uyarlanmıştır.

Geliştirilen birleşim teknolojilerinin temel özellikleri şunlardır :

- 1) Gerek kolon-kiriş birleşimlerinde, gerekse perde teşkilinde ard-germe donatısının yanında, doğal sertlikte donatı çeliğinin (S420, S520) kullanılması, depremde enerji yutma kapasitesinin artırılması açısından büyük öneme sahiptir. Bu yeni birleşim tarzı aynı zamanda deprem hasarlarının monolitik sistemlere kıyasla çok sınırlı kalmasını sağlamaktadır. Dolayısı ile deprem sonrası zahmetli onarım-güçlendirme çalışmalarına gerek kalmamaktadır.
- 2) Kolon-kiriş birleşimlerinde, kiriş kesitinin tarafsız eksenini boyunca yerleştirilen ard-germe donatısı, sürtünme ile birleşimin kayma dayanımını sağlarken, alt ve üst kenarlar boyunca konumlanan doğal sertlikte donatı çelikleri de birleşime etkiyen eğilme momenti etkisi ile akarak birleşimin enerji yutma kapasitesini artırır. Uygulanan ard-germe kuvveti, klasik ard-germe uygulamalarından daha düşük düzeydedir. Deprem sırasında ard-germe donatısındaki gerilme düzeyi doğrusal-elastik sınır içinde kaldığı (*ikili doğrusal davranış*), kalıcı şekildeğiştirmeler oluşmadığı için; deprem etkisi ortadan kalktığında, birleşimi ilk konumuna geri getirmektedir. Bu da yok denecek düzeyde hasar anlamına gelir.
- 3) Kolon-kiriş birleşimlerinde tersinir yükler altında en iyi davranış, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde doğal sertlikte donatı çeliğinin küçük bir bölgede aderanssız bırakılması sonucu daha rahat akmasına izin verilerek elde edilmiştir. Benzer uygulama ard germe donatılarında da gerçekleştirilmiştir.

- 4) Özellikle çok katlı yapılarda, iki kat uzunluğundaki kolonların birleştirilmesi işleminde, donatı ekleri için yüksek dayanımlı, sünek manşonlar kullanılmaktadır.
- 5) Ön üretimli beton panellerle perde oluşturmak için, perdenin tüm yüksekliği boyunca ardgerme donatısı yerleşimi; kenarlara, sargı etkisi sağlamak amacı ile spiral donatı yerleşimi ve enerji yutma kapasitesini arttırmak için kenar bölgelere doğal sertlikte boyuna donatı yerleşimi yapılmaktadır. Yükseklik arttıkça tedrici şekilde boyuna donatıların sayısı azalmaktadır.
- 6) ABD, Japonya gibi gelişmiş ülkelerde laboratuvarında üretilen bilgi süratle uygulamaya konulmakta, buradan elde edilecek yeni bilgilerle de geliştirilen ürün daha da iyileştirilmektedir. Ön üretimli sistemler için de süreç benzerdir. Laboratuvarında geliştirilmiş birleşimler 1:1 olarak çok katlı bir yapıda uygulanarak, olası bir deprem sırasında davranışı tam olarak test edilebilecektir.
- 7) Ceyhan ve Doğu Marmara (Kocaeli) depremlerinde bazı ön üretimli sistemler çok iyi performans sergileyememiştir. Bu durum Türkiye’de ön üretimli sistem kullanımı için bir dezavantaj oluşturmamalı, dünyadaki gelişmelere süratle adapte olunarak, yurt dışından lisans almak yerine, Türkiye Prefabrik Birliği’nin öncülük edeceği ulusal AR-GE çalışmaları ile ülke şartlarına uygun, moment aktaran yeni sünek birleşimler geliştirilmelidir. Böylece yüksek kalitede birleşimlerle donatılmış ön üretimli sistemler; konut alanında monolitik sisteme, kalite, hız ve maliyet bakımından ciddi bir alternatif olabilecektir.

KAYNAKLAR

- Atakoy, H., (2000), "17 August Marmara Earthquake and the Precast Concrete Structures Built by TPCA Members", Ankara.
- Ayaydın, Y., (1987), Taşıyıcı Duvar Perdeli Prefabrike Yapılar, İstanbul.
- Balassanian, S. Y., Arakelian, A. R., Nazaretian, S. N., Avanesian, A. S., Martirosian, A. H., Igoumnov, V. A., Melkoumian, M. G., Manoukian A. V., Tovmassian, A. K., (1995), "Retrospective Analysis of the Spitak Earthquake", *Annali Di Geofisica*, September-October, 38:345-372
- Barka, G., Zorbozan M., Bakan İ., (1997) "Konutlarda Prefabrike Eleman Kullanımı ve Uygulama Örnekleri", Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu, İstanbul.
- Bayülke, N., (1986), "Deprem Dayanıklı Prefabrike Yapılar", DAE. Bülteni, Sayı 54, Temmuz 1986.
- Bayülke, N., (1990), Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir.
- Birguer, A., (1966), "Constructions Composites et Precontraintes en Aciebeton", *Annales*, May, S:507-556.
- Bljger, F., (1976), "Determination Of Deformability Characteristics of Vertical Shear Joints in Precast Buildings, *Building and Environment*, S:277-289.
- Cheok, G. S., Stone W., Lew, H. S., (1992), "Partially Prestressed and Debonded Precast Concrete Beam- Column Joints", *Proceeding of the 3rd Meeting of the U.S.-Japan Joint Technology Coordinating Committee on Precast Seismic Structures Systems*, November.
- Cheok, G. S., Stone, W. C., Kunnath, S. K., (1998), "Seismic Response of Precast Concrete Frames with Hybrid Connections" *ACI Structural Journal*, September/October, 95:527-539.
- DAE, (2007), "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik", Ankara.
- El-Sheikh, M.; Sause, R.; Pessiki, S., Lu, L.-W., (2000), "Moment Rotation Behavior of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Beam-Column Connections", *ACI Structural Journal*, January-February, 97:122-132.
- Elliott, K.S., (2000), *Multi Storey Precast Concrete Framed Structures*, Blackwell Science.

- Englekirk, R. E., (2002), "Design-Construction of The Paramount–A 39-Story Precast Prestressed Concrete Apartment Building", PCI Journal, July-August.
- Erdey, C. K., (2007), Earthquake Engineering: Application to Design.
- Eşsiz, Ö., (2001), "Prefabricated Modular Building Components in Modern Architecture".
- Ghosh, S. K., Nakaki, S. D., Krishan, K., (1997), "Precast Structures in Region of High Seismicity: 1997 UBC Design Provision", PCI Journal, November –December, 42:76-93.
- Hawileh, R.A., (2005), "Computational Investigation of the Behavior of Precast Hybrid Beam-Column Connections", May, The University Wisconsin-Milwaukee.
- Holden, T., Restrepo, J., Mander, J., (2003), "Seismic Performance of Precast Reinforced and Prestressed Concrete Walls", Journal of Structural Engineering, ASCE, March, 129:286-296.
- Hutchinson, R., Rizkalla, S., Lau, M., Heuvel, S., (1991), "Horizontal Post-Tensioned Connections for Precast Concrete Loadbearing Shear Wall Panels", PCI Journal, V.36, No.6.
- ISES 2005, Solar World Congress, "Japanese Manufacturers' 'Cost Performance' Marketing Strategy For The Delivery of Solar Photovoltaic Homes" Aug. 2005, Orlando, USA.
- Iverson, J.K. ve Hawkins, N.M., (1994), " Performance of Precast/Prestressed Concrete Building Structure during the Northridge Earthquake", PCI Journal, March/April, V.39, No.2.
- Koncz, T., (1979), Prefabrikasyona Giriş, Endüstrileşmiş Yapı Üretimi, çeviri, Yapı Merkezi, Reyo Basımevi, İstanbul.
- Kurama, Y., Pessiki, S., Sause, R., Lu, L. W., El-Sheikh, M., (1996), "Analytical Modeling and Lateral Load Behavior of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Walls", Research Report No. EQ-96-02, Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University, Bethlehem, Pa., Nov., S:191.
- Kurama, Y., Sause, R., Pessiki, S., Lu, L. W., El-Sheikh, M., (1997), "Seismic Design and Response Evaluation of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Walls", Research Report No. EQ-97-01, Department of Civil and Environmental Engineering, Lehigh University, Bethlehem, Pa., Nov., S:184.
- Kurama, Y., Pessiki, S., Sause, R., Lu, L. W., (1999), "Lateral Load Behavior and Seismic Design of Unbonded Post-Tensioned Precast Concrete Walls", ACI Structural Journal/July-August, 96:622-633.

- Kurama, Y., (2005), "Seismic Design of Partially Post-Tensioned Precast Concrete Walls", PCI Journal, July-August, S:100-125.
- Kurama, Y., (2004), "Posttensioned Hybrid Coupled Walls under Lateral Loads", Journal of Structural Engineering, ASCE, February, S:297-309.
- Kurama, Y., Pessiki, S., Sause, R., Lu, L. W., (2002), "Seismic Response Evaluation of Unbonded Post-Tensioned Precast Walls," ACI Structural Journal, September-October, 99:641-651.
- Lago, D. A., (2002), "Domus, A New System for the Relaunching of Residential Prefabrication", 17. Uluslararası Beton Prefabrikasyon Kongresi , 1-4 Mayıs 2002.
- Mueller, P., (1988), "Experimental Investigation on Seismic Performance of Precast Walls," Proceedings, Nineth World Conference on Earthquake Engineering, V. IV, Tokyo-Kyoto, Japan.
- Nakaki, S. D., Stanton J.F. ve Sritharan S., (1999), "An Overview of the PRESSSS Five-Story Precast Test Building", PCI Journal, March-April, S:26-39.
- Neville, A. M., (1995), Properties of Concrete, Longman Grup Ltd.
- NHESS, (2005), "Probabilistic seismic hazard map for Romania as a basis for a new building code", 5:679-684
- Nilson, A.H., (1987), "Design of Prestressed Concrete, 2nd Edition", Wiley, New York, NY, March, S:608.
- Oliva, M., Clough, R., Malhas, F., (1989), "Seismic Behavior of Large Panel Precast Concrete Walls: Analysis and Experiment", PCI Journal, V.34, No. 5.
- Özden, Ş., ve Ertaş, O., (2007), "Behavior of Unbonded, Post-Tensioned, Precast Concrete Connections with Different Percentages of Mild Steel Reinforcement", PCI Journal, S:32-44
- Özer, E., (2007), "İleri Yapı Statiği Ders Notları", İTÜ İnşaat Mühendisliği.
- Paksoy, Ş., (1993), Prefabrike Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Birleşim Noktalarındaki Deprem Sorununun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Park, R., (2003), Seismic Design of Precast Concrete Building Structures, RSS Yayın.
- Paulay, P. ve Priestley, M., (1992), "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry

- Buildings”, John Wiley & Sons, NY, New York, S:744.
- PCI, (1988), “Design And Typical Details of Connections for Precast and Prestressed Concrete”, PCI-MNL, 123.
- PCI, (2000), Annual Financialand Cost Data Survey, Chicago.
- PCI, (2002), Seismic Design of Precast Concrete Building.
- PCI, (2005), Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete.
- PCI, (2005), Historical-Technical Series, “The History of Spancrete Bringing Excellence to the Construction Industry for Sixty Years”, PCI Journal, January-February, S:14-25
- Priestley, M. J. N., (1991), “Overview of PRESSS Research Program,” PCI Journal, V.36 No. 4.
- Priestley, M. ve Tao, J., (1993), “Seismic Response of Precast Prestressed Concrete Frames with Partially Debonded Tendons,” PCI Journal, Precast/ Prestressed Concrete Institute, Jan.-Feb., 38:58-69.
- Sey, D. ve Tapan, M., (1987), Toplu Konut Üretiminde Yapım Sistemlerinin Analiz ve Değerlendirmesi, TÜBİTAK, Mayıs, Y.A.E. Yayın, İstanbul.
- Sheppard, D. A.ve Phillips, V. R., (1989), Plant-Cast Precast & Prestressed Concrete, McGraw-Hill, New York, S:29-32.
- Stanton, J. F., Stone, W. C., Cheok, G. S., (1997), “ A Hybrid Reinforced Precast Frame for Seismic Regions,” PCI Journal, March-April, 42:20-33.
- Stone, W. C., Cheok, G. S., Stanton, J.F., (1995), “Performance of Hybrid Moment-Resisting Precast Beam-Column Concrete Connections Subjected to Cyclic Loading”, ACI Structural Journal, March-April, 91:229-249.
- Structure magazine, (2005), “Emulative Connections for Precast Concrete”, April.
- Toprak, Z., (2002), “Prefabrike Sanayi Yapılarının Deprem Etkisine Göre Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Türkiye Prefabrik Birliği, (1998), “Prefabrike Yapılar ve Deprem”, Atölye Çalışması, Ankara.
- Türkiye Prefabrik Birliği, (2003), “Beton Prefabrike Elemanların Birleşim Detayları”, Ankara.

Yarar, R., (1967), “Deprem Yönetmeliklerinin Gelişmesi ve Yeni Türkiye Deprem Yönetmeliğinin Hazırlanmasına Dair Bilgiler”, Deprem Paneli I. Türkiye’nin Deprem Durumu ve Etki Alanları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Yapı Araştırma Kurumu, Seri: E Tebliğler, 5:13-18.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.civ.eng.cam.ac.uk
- [2] www.walnutlanebridge.org
- [3] www.precastdesign.com
- [4] www.res.arch.t.u-tokyo.ac.jp
- [5] www.efka.utm.my/thesis
- [6] www.eeri.org
- [7] www.conponoform.com
- [8] www.flickr.com
- [9] www.prestressconcrete.com
- [10] www.prefab.org.tr
- [11] www.cpci.ca
- [12] www.megaprefab.com
- [13] www.aarokohonen.com
- [14] www.spancrete.com
- [15] <http://vi.sualize.us/>
- [16] www.fabprefab.com
- [17] www.pci.org
- [18] www.wilcoprecast.co.nz
- [19] www.dulgerprefabrik.com
- [20] www.alacali.com.tr
- [21] <http://angora.deprem.gov.tr/>
- [22] www.egeforum.net

- [23] <http://nisee.berkeley.edu/>
- [24] <http://earthquake.usgs.gov/>
- [25] www.rms.com
- [26] www.ngdc.noaa.gov
- [27] www.lafire.com
- [28] www.deprem.gov.tr
- [29] www.pankow.com
- [30] www.teknoyapi.com

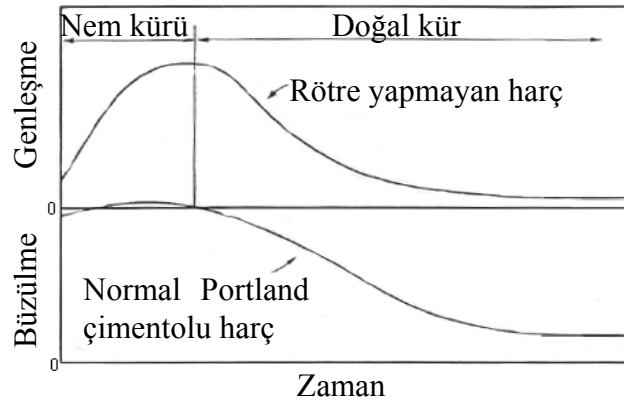
EKLER

Ek 1 Rötre Yapmayan Harç

Ek 1 Rötire Yapmayan Harç

Büzülmeden dolayı betonda oluşan şekildeğiştirmelere ve çatlaklara karşı geliştirilen harç türüdür. Klor içermeyen, toz halinde bulunan katkı malzemesi ile, pompalanabilen, büzülme yapmayan, ayrışmayan, sızdırmayan, yüksek dayanıma ve ayrıca çeliğe yapışma özelliğine sahip, dolgu harcı elde edilir. Bu katkı malzemesinin en önemli özelliği, rötreden kaynaklanan şekildeğiştirmeleri engellemesi ve korozyona karşı korumasıdır.

İlk olarak Rusya ve Fransa'da geliştirilen genişleyen çimento, Portland çimentosu ile genişletirici katkı maddesinin karışımından oluşmaktadır. Bu genişletirici katkı maddesi alçıtaşı, boksit, kireçtaşı karışımının yakılarak toz haline getirilmesi ile kalsiyum sülfat (CaSO_4) veya kalsiyum alüminat (C_5A_3) oluşur. Bu iki maddeden herhangi biri çimento ve su ile karıştırılır ve hidrasyon sürecinde genişleme özelliği olan etrenjit [$\text{kalsiyum sülfat alüminat hidrat}$, $3(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O})$] oluşur (Neville, 1995).



Şekil Ek.1 Rötire yapmayan harç ve normal Portland çimentolu harcın kür süresi boyunca büzülme ve genişleme değişimi (Neville, 1995)

Genel Özellikleri

- Kullanılması çok kolay bir malzemedir, sadece su ilave etmek sureti ile hazır hale gelir.
- Çok hızlı dayanım kazanır ve 12 saat sonra yükleme yapılabilir.
- Rötire yapmadığından dolayı her yerde kullanılabilir.
- Basınç dayanımı ve yapışma (aderans) dayanımı çok yüksektir. Sadece 1 günde 20 MPa dayanıma ulaşır. 28 günlük dayanımı 60-80 MPa düzeyindedir.

- Çok yüksek yapışma dayanımı olduğundan, eski betonla birlikte monolitik olarak çalışır.
- Çimento miktarı arttıkça genleşme artar.
- 28 günlük genleşmenin 7 günlük genleşmeyi % 15'den fazla aşmaması gerekir.
- Su ihtiyacı, normal portland çimentosuna kıyasla % 15 daha fazladır.
- Hazırlanan karışım hava sıcaklığı ve su miktarına göre 15 dakika içerisinde yerine yerleştirilmelidir.
- Aşırı genleşme söz konusu olacaksa silis dumanı da karışıma eklenmelidir.
- Harcın pompalanacağı duvarların veya yüzeylerin sıcaklığı, en iyi sonucu alabilmek için +5°C ile +40°C arasında olmalıdır [30].

Kullanım Alanları

- Ön üretilmiş elemanların birleşim bölgelerinde,
- Betonarme güçlendirme perdelerinin kirişle birleştiği yerlerde,
- Taş yüzeylerdeki oyukları kapatmak için,
- Tuğla onarımında kullanılır.

Teknik Özellikleri

- Renk : Gri
- Tane boyutu : 0 - 2 mm
- Büzülme (rötre) oranı: 0
- Genleşme oranı: %0.5-1.5
- Yağlara ve asitlere karşı mukavimdir.
- Nemden etkilenmez ve su geçirimsizdir.
- Toksik değildir.
- Donmaya ve çözölmeye karşı dayanımlıdır.
- Basınç Dayanımı (28 günlük) > 50 MPa (+20 °C de 180 gr su / 1 kg malzeme için ve 4x4x16 lık prizma)
- Kullanıma açma süresi: 2 saattir [30].

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	07.03.1981	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1995-1998	Trabzon Fatih Lisesi
Lisans	1999-2003	Karadeniz Teknik Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Mimarlık Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Programı
Çalıştığı kurum	2006-	Mimari Grup