

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PREFABRİKE YAPILAR ÜZERİNDE BİR SENTEZ ÇALIŞMASI VE  
PREFABRİKE BİR YAPININ YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eren DEMİRKAYA**

**MART 2009**

**TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PREFABRİKE YAPILAR ÜZERİNDE BİR SENTEZ ÇALIŞMASI VE  
PREFABRİKE BİR YAPININ YATAY YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞLARININ  
İNCELENMESİ**

**İnş. Müh. Eren DEMİRKAYA**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“ İnşaat Yüksek Mühendisi ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.02.2009  
Tezin Savunma Tarihi : 05.03.2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin HÜSEM  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Selim PUL  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Figen KARS**

**Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

## Trabzon 2009

### ÖNSÖZ

“Değişik Taşıyıcı Sistemlere Sahip Prefabrike Yapıların Deprem Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi” adlı bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında;

Danışmanım olmayı kabul ettiği günden bugüne gösterdiği ilgi ve destekten ötürü hocam sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM’e

Çalışmamın her anında benim kadar yorulan sevgili arkadaşlarım Arş. Gör. Mehmet Emin ARSLAN’a, Burak TÜRKOĞLU’na ve Erdem TÜRKELİ’ye,

Yoğun çalışmalarım sürecinde beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Fulya ÜSTÜN DEMİRKAYA’ya,

Son olarak hayatımın her anında olduğu gibi tez çalışmam boyunca da hep yanımda hissettiğim başta annem Hacer DEMİRKAYA ve babam Sabri DEMİRKAYA olmak üzere tüm aileme,

Maddi ve manevi desteklerini gördüğüm tüm yakınlarıma ve arkadaşlarıma, sonsuz şükranlarımı sunarım.

Eren DEMİRKAYA  
Trabzon 2009

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	VI
SUMMARY .....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VIII
TABLolar DİZİNİ .....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Prefabrikasyon ve Prefabrike Yapının Tanımı .....	2
1.3. Prefabrike Yapıların Tarihçesi .....	2
1.4. Dünyaca Ünlü Bazı Prefabrike Yapılar .....	5
1.4.1. Habitat-67, Montreal / Canada .....	5
1.4.2. Nakagin Capsule Tower, Tokyo / Japonya.....	7
1.4.3. The Paramount, California / ABD.....	8
1.5. Prefabrike Sistemin Avantajları ve Dezavantajları .....	9
1.5.1. Prefabrike Sistemin Avantajları .....	9
1.5.2. Prefabrike Sistemin Dezavantajları .....	9
1.6. Prefabrike Taşıyıcı Sistem Elemanları ve Betonarme Taşıyıcı Sistemler.....	10
1.6.1. Taşıyıcı Sistem Elemanları.....	10
1.6.1.1. Kiriş Elemanlar.....	11
1.6.1.2. Kolon Elemanlar.....	14
1.6.1.3. Çerçeve Elemanlar.....	15
1.6.1.4. Döşeme Elemanlar.....	16
1.6.1.5. Duvar Elemanlar.....	16
1.6.1.6. Kabuk Elemanlar .....	17

1.6.2.	Betonarme Prefabrike Taşıyıcı Sistemler .....	19
1.6.2.1.	Taşıyıcı Duvarlı Sistemler .....	19
1.6.2.2.	Kolon-Kiriş Sistemler.....	21
1.6.2.3.	Taşınabilir Çerçevesi Sistemler .....	21
1.6.2.4.	Kolon-Döşemeli Sistemler .....	24
1.6.2.4.1.	Kaldırılan Döşemeli ve Perdeli Sistemler .....	25
1.6.2.4.2.	Öngerilmeli Döşeme-Kolon Sistemler .....	27
1.6.2.5.	Hücre Sistemler .....	27
1.6.2.6.	Karma Sistemler .....	28
1.6.3.	Ala-Sawa Sistemi .....	28
1.7.	Prefabrike Yapılarda Birleşimler.....	34
1.7.1.	Birleşimlerde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar .....	34
1.7.2.	Birleştirme Yöntemleri.....	35
1.7.2.1.	Eğilme Momenti Aktaran Birleşimler.....	35
1.7.2.2.	Mafsallı Birleşimler.....	39
1.7.3.	Birleşim Detayları .....	41
1.7.3.1.	Temel-Kolon Birleşim Detayları.....	41
1.7.3.2.	Temel-Duvar Birleşim Detayları.....	42
1.7.3.3.	Kolon-Kolon Birleşim Detayları .....	43
1.7.3.4.	Kolon-Kiriş Birleşim Detayları .....	46
1.7.3.5.	Kiriş-Kiriş Birleşim Detayları .....	53
1.7.3.6.	Kiriş-Plak Birleşim Detayları .....	56
1.7.3.7.	Duvar-Duvar Birleşim Detayları .....	59
1.7.3.8.	Duvar-Plak Birleşim Detayları .....	61
1.7.3.9.	Plak-Plak Birleşim Detayları.....	67
1.8.	Depremlerde Prefabrike Yapılarda Oluşan Hasarların Nedenleri ve Çözüm Önerileri.....	70
1.8.1.	27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapılarda Oluşan Yapısal Hasarlar .....	70
1.8.1.1.	Depremle İlgili Genel Bilgiler.....	70
1.8.1.2.	Adana-Ceyhan Depreminde Prefabrike Oluşan Hasarlar.....	71
1.8.2.	17 Ağustos Marmara Depreminde Prefabrike Yapılarda Oluşan Yapısal Hasarlar.....	72
1.8.2.1.	Depremle İlgili Genel Bilgiler.....	72

1.8.2.2.	Marmara Depreminde Prefabrikte Yapılarda Oluşan Hasarlar .....	73
1.8.3.	Depremlerde Prefabrikte Yapılarda Oluşan Hasarların Nedenleri .....	77
1.8.4.	Çözüm Önerileri .....	78
1.8.5.	Depremlerden Çıkarılan Sonuçlar ve Öneriler .....	80
1.9.	Prefabrikte Yapı Sistemlerinin Hesap İlkeleri .....	81
1.9.1.	Betonarme Yapı Tasarımı ile İlgili İlkeler .....	81
1.9.1.1.	Yeterli Dayanım .....	81
1.9.1.2.	Yeterli Süneklik .....	83
1.9.1.3.	Yeterli Rijitlik (Sınırlı yanal yer değiştirme) .....	85
1.9.1.4.	Yeterli Kararlılık (Duraylık, Stabilité) .....	86
1.9.1.5.	Yeterli Sönüm .....	87
1.9.1.6.	Yeterli Uyum (Adaptasyon) .....	87
1.9.2.	Tasarımla İlgili Öneriler .....	87
1.9.2.1.	Yapı Davranışı .....	88
1.9.2.2.	Sistem Seçimi .....	88
1.9.2.3.	Boyutlandırma ve Detaylandırma .....	90
1.10.	Konu ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar .....	91
1.11.	Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	95
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME .....	96
2.1.	İnceleme Konusu Prefabrikte Yapının Özellikleri .....	96
2.2.	Prefabrikte Yapıların Deprem Yüğü Altında Yapısal Çözümlemesi .....	100
2.2.1.	Taşıyıcı Sistem-1 Ağırlığının Hesaplanması .....	101
2.2.2.	Taşıyıcı Sistem-2 Ağırlığının Hesaplanması .....	104
2.2.3.	Taşıyıcı Sistem-3 Ağırlığının Hesaplanması .....	106
2.2.4.	Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5 Ağırlıklarının Hesaplanması .....	107
2.3.	Prefabrikte Kapalı Spor Salonunun Fiktif Yükleme Etkisi Altında Kat Ötelemelerinin Sonlu Elemanlar Kullanan SAP-2000 Programıyla Belirlenmesi .....	110
2.4.	Prefabrikte Kapalı Spor Salonunun ve Tasarlanan Tüm Sistemlerin Kat Seviyelerine Gelen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Hesabı .....	111
2.4.1.	Taşıyıcı Sistem-1 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Hesabı .....	113
2.4.2.	Taşıyıcı Sistem-2 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin Hesabı .....	116
2.4.3.	Taşıyıcı Sistem-3 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüğülerinin	

Hesabı.....	120
2.4.4. Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı.....	124
2.5. Prefabrike Kapalı Spor Salonunun ve Tasarlanan Tüm Sistemlerin, Kat Seviyelerine Gelen Eşdeğer Deprem Yükleri Etkisi Altında Kat Ötelemelerinin Sonlu Elemanlar Kullanan SAP-2000 Programıyla Belirlenmesi.....	129
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	131
4. KAYNAKLAR.....	134
ÖZGEÇMİŞ	

## ÖZET

Bu çalışmada prefabrike yapıların tarihsel gelişimi, uygulama alanları ve bu yapılarda kullanılan sistemleri ve birleşimleri irdelenmiş, bu bilgiler ışığında prefabrike bir kapalı spor salonu yapısının, yatay yüklere göre stabilitesini sağlamak amacıyla, perde duvar ve çelik diyagonal ile güçlendirilmiş yeni taşıyıcı sistemlerin kat ötelemeleri yönünden davranışları incelenmiştir.

Çalışma 3 bölümden oluşmaktadır:

Birinci bölümde, prefabrike yapıların tarihsel gelişimi ve prefabrike yapılarda uygulanan sistemler ve birleşim detayları ve prefabrike sistemlerin hesap ilkeleri hakkında genel bilgiler verilmiş, deprem ve depremlerde prefabrike yapılarda oluşan hasarların nedenleri ile çözüm önerileri irdelenmiştir.

İkinci bölümde, mafsal bağlantılı prefabrike kapalı spor salonundan türetilen perdeli ve çelik diyagonalli dört sistemin değerlendirilmesi eşdeğer deprem yüküyle analizi ile yapılmıştır. Yapının ve tasarlanan tüm sistemlerin kat seviyelerine gelen deprem yükleri hesaplanmış, bu yükler altında kat ötelemeleri Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde, tüm incelemeler ve değerlendirmeler doğrultusunda çalışmadan çıkartılabilecek sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Prefabrikasyon, Prefabrike Elemanlar, Prefabrike Sistemler, Prefabrike Birleşimler, Eşdeğer Deprem Yükü



## SUMMARY

### **The Synthesis Study on Prefabricated Buildings and the Investigation of Behaviors Under Horizontal Loads of a Prefabricated Building**

In this study, the historical development of prefabricated structures, fields of application and the systems and parts that are used in these structures are studied, in the light of this information a prefabricated closed sport hall structure is investigated in point of their behaviour of storey deflections of new load carrying systems reinforced with shear walls and diagonal steels, in order to get the stability under horizontal loads.

This study comprises of three parts:

In the first part, general information about the historical development of prefabricated structures and applied systems and union details, and calculation principles of prefabricated systems are given, the reasons and solution suggestions of damages occurred in earthquakes on prefabricated structures are studied.

In the second part, four systems with shear walls and steel diagonals that are produced from hinge jointed prefabricated closed sport hall is evaluated with Equivalent Earthquake Load Analysis. The earthquake load that comes to structure and the storey level of proposed systems is calculated, the deflections of storeys under these loads are determined with Equivalent Earthquake Load Method.

In the third part, in the direction of all examinations and evaluations, the results of this study is put forward.

**Key Words:** Prefabrication, Prefabricated members, Prefabricated systems, Prefabricated unions, Equivalent Earthquake Load

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. Balloon frame sistemi .....	3
Şekil 2. Feshane binasının içten görünümü .....	4
Şekil 3. Fener ve balat semtleri arasındaki Ortodoks kilisesi .....	4
Şekil 4. Habitat-67’de kullanılan prefabrikte modüller ve projesinden bir görünüş.....	6
Şekil 5. Habitat-67 genel görünüş .....	6
Şekil 6. Nakagin Capsule Tower .....	7
Şekil 7. The Paramount Binası .....	8
Şekil 8. Prefabrikte yapı elemanları .....	11
Şekil 9. Prefabrikte aşık kirişi .....	12
Şekil 10. Prefabrikte oluk kirişi .....	12
Şekil 11. Prefabrikte çatı kirişi .....	12
Şekil 12. Prefabrikte döşeme kirişi .....	13
Şekil 13. Prefabrikte kreyn kirişi.....	13
Şekil 14. Prefabrikte köprü kirişi .....	13
Şekil 15. Prefabrikte fener kirişi.....	14
Şekil 16. Prefabrikte boşluklu makas .....	14
Şekil 17. Prefabrikte kolon.....	15
Şekil 18. Prefabrikte çerçeve elemanlar .....	15
Şekil 19. Döşeme paneli.....	16
Şekil 20. Boşluklu döşeme .....	16
Şekil 21. Duvar panel çeşitleri .....	17
Şekil 22. Duvar paneli .....	17
Şekil 23. Kabuk detayı .....	18
Şekil 24. Camide kubbesinin kabuk elemanlarla kaplanması .....	18
Şekil 25. Sydney opera binası kabuk çatı.....	18
Şekil 26. Taşıyıcı duvarlı sistemler .....	19
Şekil 27. Enine, boyuna ve çift yönde duvarlı sistemler .....	20
Şekil 28. Kolonlar ve kirişlerden oluşan sistem.....	21

Şekil 29.	Ara kiriş bağlantılı taşınabilir prefabrike çerçeve.....	22
Şekil 30.	Konsollu olarak üretilmiş taşınabilir çerçeve.....	22
Şekil 31.	H çerçeveli sistemler .....	23
Şekil 32.	Ters L'den oluşan çerçeve sistem .....	23
Şekil 33.	Ardışık T çerçevelerden oluşan çerçeve sistem ve statik sistem.....	24
Şekil 34.	Kolon-döşeme sistemler .....	24
Şekil 35.	Kolon-döşeme sistemler .....	25
Şekil 36.	Kaldırılan döşemeli ve perdeli sistemler.....	26
Şekil 37.	Döşemelerin önceden yapılarak katlara yerleştirilmesi şeması .....	26
Şekil 38.	Hücre sistemler .....	27
Şekil 39.	Hücre sistem birleşim detayı.....	28
Şekil 40.	Ala-Sawa sistemi.....	29
Şekil 41.	Üretim ve ard-germe kanalları .....	30
Şekil 42.	Nakilye ve kolon montajı.....	30
Şekil 43.	Kiriş ve döşemelerin montajı .....	31
Şekil 44.	Kolon-kiriş birleşim derz dolgusu.....	31
Şekil 45.	Ard-germe halatlarının sürülmesi .....	32
Şekil 46.	Ard-germe işlemi .....	32
Şekil 47.	Japonya'dan uygulama örnekleri .....	33
Şekil 48.	Türkiye'den bazı uygulamalar .....	33
Şekil 49.	Ard-germeli kolon-kiriş detayı.....	34
Şekil 50.	Çekme donatısının metal bir parçaya ve onu da sabit kabul edilebilen başka bir parçaya kaynaklamak suretiyle eğilme moment aktaran birleşimler.....	36
Şekil 51.	Birinden diğerine aktarılmak istenen iki elemanı çekme kuvveti tatbik noktasında bulonla birleştirmek suretiyle eğilme moment aktaran birleşimler .....	37
Şekil 52.	İki elemanı çekme kuvveti tatbik noktasında öngerilme ile birleştirmek suretiyle eğilme moment aktaran birleşimler .....	38
Şekil 53.	Prefabrik elemanın birleşim yüzeyinde kenet dişleri yapılarak kesme Kuvvetinin aktarılması .....	38
Şekil 54.	Islak birleşimde çekme kuvvetinin fiyongla bindirme yardımıyla Aktarılması.....	39
Şekil 55.	Mafsallı bağlantı örnekleri .....	40
Şekil 56.	Mafsallı bağlantı örnekleri .....	40
Şekil 57.	Soket temel-kolon birleşimi .....	42

Şekil 58. Temel-kolon birleşimi.....	42
Şekil 59. Temel-duvar birleşimleri.....	43
Şekil 60. Kolon-kolon birleşimi.....	44
Şekil 61. Kolon-kolon birleşimi.....	44
Şekil 62. Bulonlu kolon-kolon birleşimi.....	45
Şekil 63. Kaynaklı kolon-kolon birleşimi.....	46
Şekil 64. Geçmeli kolon-kiriş birleşimleri.....	47
Şekil 65. Oturmalı ve geçmeli kolon-kiriş birleşimi.....	48
Şekil 66. Çelik askı yardımıyla yapılan kolon-kiriş birleşimleri.....	49
Şekil 67. Çelik oturtma yüzeyli kolon-kiriş birleşimleri.....	50
Şekil 68. Oturmalı kaynaklı kolon-kiriş birleşimleri.....	51
Şekil 69. Öngerilmeli kolon-kiriş birleşimleri.....	52
Şekil 70. Bağ çubukları ile yapılan kolon-kiriş birleşimleri.....	53
Şekil 71. İnceltilmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimleri.....	54
Şekil 72. Islak birleşimli kiriş-kiriş birleşimi.....	54
Şekil 73. İnceltilmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimi.....	55
Şekil 74. İnceltilmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimi.....	56
Şekil 75. Kirişlerin üzerine basit mesnetli oturan kiriş-plak birleşimi.....	57
Şekil 76. Fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı yerinde dökme kiriş-plak birleşimi ...	58
Şekil 77. Moment aktaramayan kiriş-plak birleşimi.....	59
Şekil 78. Kaynaklı ve bulonlu duvar-duvar birleşimleri.....	60
Şekil 79. Kaynaklı ve bulonlu duvar-duvar birleşimleri.....	60
Şekil 80. Geçmeli ve songermeli duvar-duvar birleşimleri.....	61
Şekil 81. Yerinde dökme fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı duvar-plak birleşimi .	62
Şekil 82. Yerinde dökme fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı duvar-plak birleşimi .	63
Şekil 83. Basit mesnetli duvar-plak birleşimi.....	64
Şekil 84. Yerinde dökme duvar elemanı ile prefabrikee döşeme elemanı birleşimi.....	65
Şekil 85. Boşluklu döşeme-duvar birleşimi.....	66
Şekil 86. Önceden dökülen duvarlara prefabrike döşeme elemanının birleşimi.....	67
Şekil 87. Donatılı üst betonsuz fiyonglu plak-plak birleşimi.....	68
Şekil 88. Donatılı üst betonu olan plak-plak birleşimi.....	68
Şekil 89. Boşluklu döşemeli plak-plak birleşimleri.....	69
Şekil 90. Prefabrike çerçeveli yapı sistemde çatı kirişlerinin yıkılması.....	70

Şekil 91. Yıkılan prefabrike çerçeve sistemin ayrıntıları .....	71
Şekil 92. Prefabrike çerçeveli yapıların yıkılma biçimleri .....	71
Şekil 93. Moment aktarabilen bağlantılara sahip prefabrike çerçevelerden oluşan çok katlı yurt binasında oluşan hafif hasarlar .....	73
Şekil 94. Pimli bağlantı .....	74
Şekil 95. Kolonların ayakta kaldığı, kirişlerin tümünün yere düştüğü yapı .....	74
Şekil 96. Kirişlerin ayakta kalması bazılarının yere düştüğü yapı .....	75
Şekil 97. Kolon tabanındaki mafsallaşma .....	75
Şekil 98. Prefabrike kolon ortasında hasar .....	76
Şekil 99. Kolon alt kesiminde dönme .....	76
Şekil 100. Kolonlarda büyük yanal ötelenme .....	77
Şekil 101. Kolon başlıklarının yere düşmesi .....	77
Şekil 102. Filizlerin uçlarının bulonlu yapılması .....	78
Şekil 103. Kiriş yan levhalarının mesnet levhalarına kaynaklanması .....	79
Şekil 104. Kirişin çelik bir levhaya oturması ve ortasından geçen bir pimle bağlanması .....	79
Şekil 105. Kirişin mesnete oturduktan sonra kaynaklı levhalarla sarılması .....	80
Şekil 106. Kesme kuvvetinin kiriş uçlarında hesaplanan gerçek eğilme kapasitelerine göre hesaplanması .....	82
Şekil 107. Çekme donatısı oranının ve basınç donatısının süneklik etkileri .....	84
Şekil 108. Süneklik katsayısının eksenel yük düzeyiyle değişimi .....	84
Şekil 109. Yatay yükler etkisi altında çerçeveli, perde duvarlı-çerçeveli yapıların yatay yer değiştirmesi .....	85
Şekil 110. Çok katlı çerçeve yapılarda mekanizma şekilleri .....	88
Şekil 111. Bitişik düzende yapılmış çerçevelerde derzler .....	89
Şekil 112. Planda burulma oluşturacak simetrik olmayan sistemler .....	89
Şekil 113. Yapılarda kısa kolon oluşturulması .....	90
Şekil 114. Prefabrike kapalı spor salonunun çatı planı .....	97
Şekil 115. Prefabrike kapalı spor salonu arakat planı .....	98
Şekil 116. Prefabrike kapalı spor salonunun kesitler .....	99
Şekil 117. Taşıyıcı Sistem-2 kalıp planı .....	105
Şekil 118. Taşıyıcı Sistem-3 kalıp planı .....	106
Şekil 119. Taşıyıcı Sistem-4 kalıp planı .....	108
Şekil 120. Taşıyıcı Sistem-5 kalıp planı .....	109

Şekil 121. Taşıyıcı Sistem-1 SAP-2000’de oluşturulan model.....	113
Şekil 122. Taşıyıcı Sistem-2 SAP-2000’de oluşturulan model.....	117
Şekil 123. Taşıyıcı Sistem-3 SAP-2000’de oluşturulan model.....	121
Şekil 124. Taşıyıcı Sistem-4 Sap-2000’de oluşturulan model .....	125
Şekil 125. Taşıyıcı Sistem-5 SAP-2000’de oluşturulan model.....	125

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 1. Yapının bazı proje bilgileri .....	100
Tablo 2. Taşıyıcı sistem ağırlıkları .....	110
Tablo 3. Fiktif yükler altında kat ötelemeleri .....	111
Tablo 4. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).....	111
Tablo 5. Etkin yer ivmesi katsayısı( $A_0$ ).....	112
Tablo 6. Spektrum katsayısı S(T) .....	112
Tablo 7. Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ .....	112
Tablo 8. Kat seviyelerine gelen deprem yükleri.....	129
Tablo 9. Eşdeğer deprem yükleri etkisi altında yer değiştirmeler .....	129

## SEMBOLLER DİZİNİ

$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
$A_0$	: Etkin Yer İvmesi
DY-2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
$d_{fi}$	:Yapının i'inci katında $F_{fi}$ fiktif yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
$F_{fi}$	: Birinci doğal titreşim periyodunun hesabında i'inci kata etkiyen fiktif yük
$F_t$	: Kat seviyesine etkiyen deprem yükü
$g_i$	: Yapının i'inci katındaki toplam sabit yük
$h_i$	: Yapının i'inci katının kat yüksekliği
I	: Bina Önem Katsayısı
k	: Yapının rijitliği
m	: Yapının kütlesi
$M_r$	: Uçlardaki moment taşıma kapasiteleri
$M_I$	: Birinci merteye momentleri
$M_{II}$	: İkinci merteye momentleri
N	: Binanın temel üstünden itibaren toplam kat sayısı (Bodrum katlarında rijit çevre perdelerinin bulunduğu binalarda zemin kat döşemesi üstünden itibaren toplam kat sayısı)
$N_0$	: Eksenel yük altında taşıma gücü
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
$q_i$	: Yapının i'inci katındaki toplam hareketli yük
$P_{ko}$	: Kar yükü
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı
S(T)	: Spektrum katsayısı
$T_A, T_B$	: Spektrum karakteristik periyotları
$T_n$	: Yapının doğal titreşim periyodu
$T_1$	: Binanın birinci doğal titreşim periyodu



- $V_d$  : Kesme kuvveti
- $V_t$  : Taban kesme kuvveti
- $W_i$  : Yapının  $i$ 'inci kat ağırlığı
- $\Delta F_N$  : Binanın  $N$ 'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü
- $\Delta_i$  : Yapının  $i$ 'inci katındaki azaltılmış görece kat ötelemesi
- $\theta$  : Kararlılık kriteri
- $\xi$  : Modal sönüm

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

19. yüzyılın ortalarında çok kısa sürede hızla artan nüfusa bağlı olarak şehirlerin büyümesi ve yapı ihtiyacının kısa sürede karşılanması sorunu yaşanmaya başlanmış ve buna bağlı olarak inşaat yapımında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu etmenlere bağlı olarak da 20. yüzyılın başlarında “zaman” ve “sayı” kavramları çok büyük önem kazanmıştır. Sanayi devrimi ve buna bağlı olarak her alanda ileri üretim teknikleri kullanılmaya başlanmış, bu da endüstrileşme konusunda gelişmelere neden olmuştur. Sanayileşmeye paralel olarak hızla artan ücretler, yapımda emek yoğun teknolojileri yerine endüstrileşmiş yöntemlerin kullanılmasını zorlamıştır.

Bu durum özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında ortaya çıkmıştır. İkinci Dünya Savaşı sonrasında Avrupa özellikle Fransa, Hollanda, Danimarka ve eski Sovyetler Birliği'ndeki şehirlerin büyük zarar ve hasarlara uğraması, harabeye dönmeleri bu şehirleri kısa sürede imar edilmesi zorunluluğu beraberinde getirmiştir. Böylece yapı açığının kısa sürede kapatılması için prefabrike yapılar kullanılması yaygınlaşmaya başlanmıştır.

Ülkemizde ise 1960'lı yılların ortasından itibaren prefabrike yapılar uygulanmaya başlanmıştır. Ancak günümüzde prefabrike beton/betonarme eleman üretiminin tüm üretim içerisinde sahip olduğu oran Avrupa Birliği bünyesindeki ülkelerde % 25-30, Kuzey Amerika ülkelerinde % 40-50 kadar olmasına rağmen, ülkemizde ise bu oran % 5-6'larda kalmaktadır. Bu oranlar da prefabrike yapıların uygulanmasında ülkemizde dünya ülkelerine oranla ne kadar geri kaldığının göstergesidir [1].

Prefabrike yapılar, ülkemizde çoğunlukla endüstri yapıları olarak kullanılmaktadır. Ancak taşıyıcı sistemi prefabrike elemanlar kullanılarak yapılan endüstri yapılarının, son on yılda ülkemizde meydana gelen 1998 Ceyhan depremi ve 1999 Marmara depremlerinde, ağır hasarlar görmüşlerdir. Bu sebeple ülkemizde prefabrike yapılara karşı olumsuz bir düşünce gelişmiş olsa da günümüzde sanayi yapılarının büyük bir kısmı prefabrike olarak inşa edilmektedir.

## 1.2. Prefabrikasyon ve Prefabrike Yapının Tanımı

Prefabrikasyon, yapıyı oluşturacak yapı eleman ve bileşenlerinin sonradan birleştirilmek üzere endüstriyel olarak fabrikalarda üretilmesi işlemidir. Bu elemanlarla inşa edilen yapılar ise prefabrike yapı olarak adlandırılmaktadır.

Kullanma amacına göre dayanım, görünüm, ikamete uygunluk, konfor, süre ve en az bakım yönlerinden olağan koşullara yeterli şekilde yanıt verebilecek tutarlı bir yapım sistemi meydana getirmek üzere, elemanlarının çoğunluğu atölyede modern endüstriyel yöntemlerin duyarlılığı ile ve seri halinde imal edilmektedir [2].

Üretimin 19. yüzyıl başlarında endüstri devrimi ile küçük atölyelerden çıkıp, fabrikalara girmesi ile üretimin her alanında serileşmek, standartlaşmak ve ekonomik olmak yoluna gidilmiştir. Önceleri binanın konstrüktif elemanları, daha sonra ise binanın taşıyıcı sistemi de fabrikasyona geçmiştir.

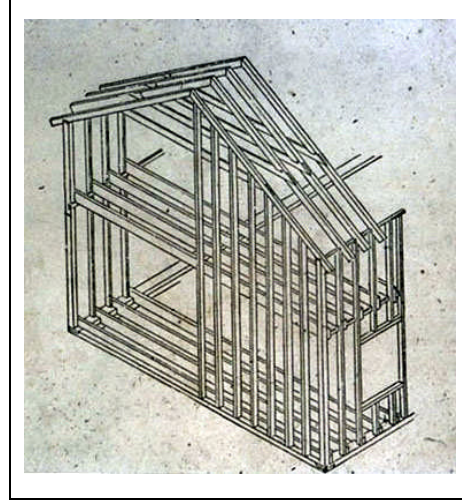
## 1.3. Prefabrike Yapıların Tarihçesi

Tarih boyunca insan ihtiyaçlarının değişmesi sonucunda, yeni üretim teknikleri gelişmiştir. İlkel dönemde açıklıklar taşla geçilirken, daha sonra kemerler yardımıyla daha geniş ölçülerde geçilmeye başlanmıştır. Kemer açıklığına dik yönde eklenen kemerlerle tonozlar, tonozların ise kemer eksenini etrafında döndürülmesiyle kubbeler inşa edilmiştir. Tüm yapılar “yığma kagir” taşıyıcı sisteme sahip iken yaklaşık 150-200 kadar önce yeni taşıyıcı sistemler geliştirilmeye başlanmıştır. Bunlar betonunun basınca, donatısının çekmeye çalıştığı betonarme ile hem basınca hem çekmeye çalışan çeliktir. Bu gelişmelerin doğal sonucu olarak iskelet, asma ve kabuk taşıyıcı sistemleri ortaya çıkmıştır [3].

Prefabrikasyonun başlangıcının ise aslında antik çağlara kadar dayandığı söylemek mümkündür. İnsanlar bilinçli ya da bilinçsiz olarak prefabrikasyon yöntemlerini; ahşap, taş veya metalin yapıda kullanımını sırasında uygulamışlardır. Tarihsel ve dinsel yapıların sütunları ve bazı büyük elemanları, ocaklarda hazırlanıp yapıya taşınarak yerine konulması örnek olarak gösterilebilir [3].

Ancak prefabrikasyonun günümüze en yakın örnek, 19. yüzyılda A.B.D.'de kolonileşme aşamasında hızlı konut gereksinimi duyulduğundan klasik ahşap karkas

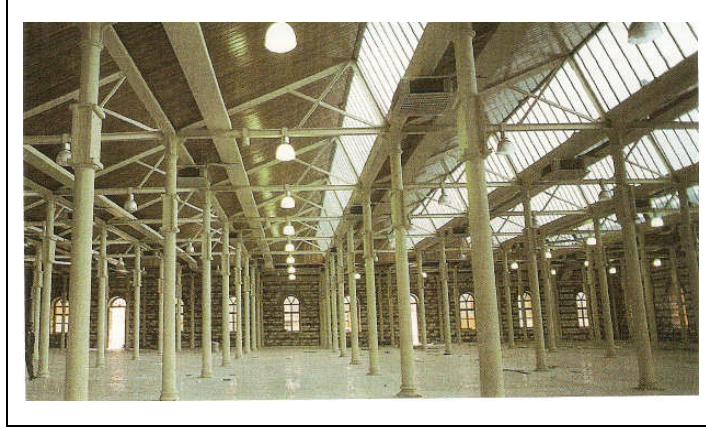
yapılar, birtakım rasyonel yaklaşımlarla değiştirilmiş, daha hızlı kurulan "Balloon Frame" adıyla bilinen çözümdür (Şekil 1) [4].



Şekil 1. Balloon frame sistemi [4]

Prefabrike yapıların asıl gelişimini ise 20. yüzyılın ilk yarısında özellikle 2. Dünya Savaşı sırasında yıkılan kentlerin yeniden inşasının yapılması ve bu inşanın sarsılan ekonomi nedeniyle en kısa zamanda en ucuz maliyetle yapılması gerekliliği nedeniyle özellikle Fransa, Hollanda, Danimarka gibi Avrupa ülkelerinde ve Rusya'da göstermiştir. Endüstri devrimiyle birlikte üretim yöntemlerinin değişerek mekanize olmaya başlaması, seri üretime geçilerek üretimin artması ve yeni malzemelerin bulunması üretim süreçlerinin sorgulanmasına yol açmıştır. Buna bağlı olarak yapı sistemlerinde neden mekanizasyonun kullanılmadığı sorgulanmaya başlanmıştır [5].

Ülkemizdeki ilk prefabrike yapı uygulaması ise İstanbul Defterdar semtindeki Feshâne-i Âmire'dir (Şekil 2). Feshane binasının çatısı, ince etli dökme demir silindirik kolonlara oturtulmuştur ve bina yaklaşık 8000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Feshane binası Belçika menşeli dökme demir kolonları ve çatı konstrüksiyonu, dönemine ait Avrupa standartlarına uymaktadır. Feshane yapısı gibi o dönemde yapılan diğer pik döküm taşıyıcı kolonlu ve çelik çatılı öteki yapılar içinde geçerlidir (1884'de açılan Cibali Tütün ve Sigara Fabrikası vb) [3].



Şekil 2. Feshane binasının içten görünümü [3]

İstanbul'un Balat ve Fener semtleri arasındaki Bulgar Ortodoks Kilisesi (Sveti Stefan Kilisesi), Osmanlı döneminde yapılan ilk ve tam prefabrike yapı olduğu kabul edilmektedir (Şekil 3). Kilisenin çelikten ve prefabrike olarak yapılmak istenmesinin nedeni, yapılacak olan kagir binanın temelini oturacağı zeminin geçirgen ve gevşek olma özelliklerine bağlı olarak, binanın zamanla oturacağı düşüncesidir. Kilisenin taşıyıcı iskeleti çelik profillerden oluşturulmuş olup sonra üzeri sac ve pik döküm elemanlarla kaplanmıştır. Bütün parçalar birbirine civata-somun, perçin veya kaynaklarla birleştirilmiştir. 1892'de kilisenin uygulama projesinin yapılması ve prefabrike elemanların üretilmesi amacıyla uluslararası bir yarışma düzenlenmiştir. Yarışmayı kazanan Avusturya firması 1893'de üretime geçmiş ve yapıyı önce Viyana'da atölyenin bahçesinde inşa edilmiştir. Daha sonra tüm elemanları sökülerek, Tuna Irmağı ve Karadeniz üzerinde gemiyle İstanbul'a ulaştırılmış ve yapı elemanları 1,5 yıllık çalışma sonucu birleştirilerek yapı 1898'de şu anki halini almıştır [3].



Şekil 3. Fener ve Balat semtleri arasındaki Ortodoks kilisesi [3]

Osmanlı Devleti'nin, Endüstri Devrimini algılayamaması ve gelişmelere uzak kalması birçok teknolojide olduğu gibi yapı teknolojisinde de gelişme gösterememesine neden olmuştur. Ülkemizde uygulanan ilk betonarme yapılar 1915'de Mimar Vedat Bey tarafından inşa edilen "Seyr-i Sefain Acenta Binası" ve 1920'lerde Kemalettin Bey tarafından yapılan "Harikzadegan Apartmanları"dır [9].

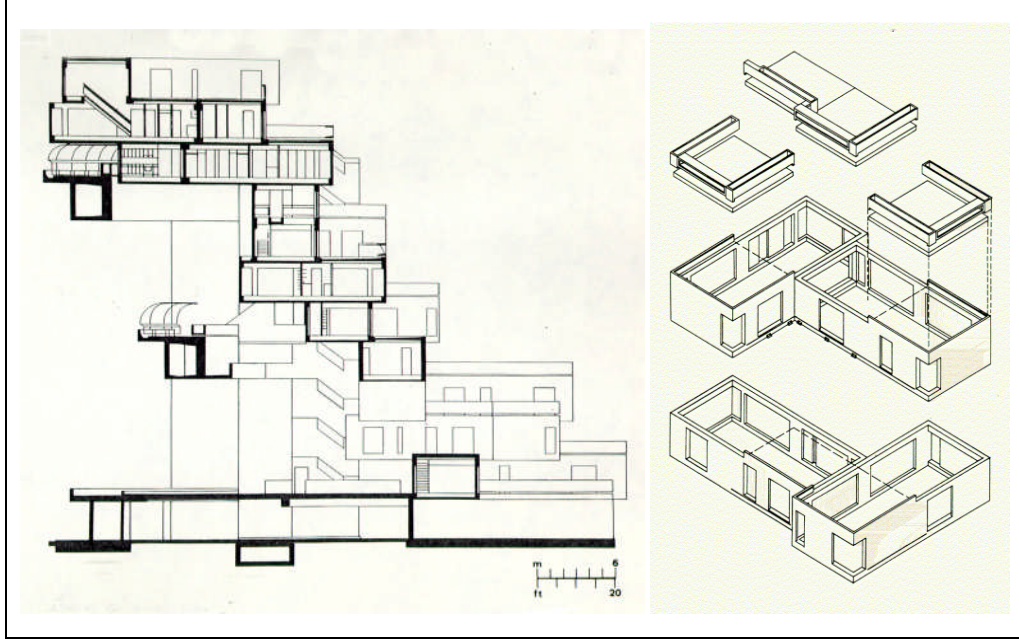
Türk Prefabrike Birliği, 1980'lı yılların başında gelişmekte olan prefabrike beton sanayisinin teknik standart ve Türkçe literatür eksikliğini giderilmesi, prefabrikasyonun tanıtılıp, yaygınlaştırılmasına yönelik çalışmalarını yürütmek üzere 1984 yılında 20 firmanın katılımıyla kurulmuştur. Türkiye Prefabrike Birliği 1994 yılında uluslararası prefabrike beton üreticilerinin üst kuruluşu olan "Bureau International du Beton Manufacture-BIBM"e kabul edilmiştir. Bu gelişmeler Türk beton prefabrike endüstrisinin teknolojik açıdan çağdaş düzeye ulaştığını göstermektedir [9].

## **1.4. Dünyaca Ünlü Bazı Prefabrike Yapılar**

### **1.4.1. Habitat-67, Montreal / Canada**

Ünlü mimar Moshe Sofdie tarafından Montreal Kanada'da 1967 yılında yapılmıştır. 350 Prefabrike küp modülden (Şekil 4, Şekil 5) oluşan 158 konutluk site, şehir yaşamında apartmanlarda yaşayanların kendilerine ait bağımsız daireleri ve manzaraları olmasından yola çıkılarak planlanmıştır.

Bu yapının en önemli özelliği, bahçeli banliyö tipi evlerdeki yaşama tarzını, şehir merkezinde toplu olarak bulundurmasıdır. Proje 950 yaşam ünitesinden oluşan konut, dükkan, ofis olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Modüllerden oluşan yapının tek modülünün boyutları 11.3x5.3x3.0m.dir. Modüller, yapıda 16 farklı yaşama alanı oluşturmakta olup, bu yaşam alanları sekiz modülden oluşan üç adet tepe etrafında kümelenmiştir [6].



Şekil 4. Habitat-67’de kullanılan prefabrike modüller ve projesinden bir görünüş



Şekil 5. Habitat-67 genel görünüş [6]

### 1.4.2. Nakagin Capsule Tower, Tokyo / Japonya

Nakagin Capsule Tower 1972 yılında ünlü mimar Kisho Kurokawa tarafından tasarlanmıştır, dünyanın ilk kapsül mimari yapısıdır. Kurokawa, kapsüllerin 4 adet yüksek gerilimli cıvatayla betonarme çekirdek sisteme bağlayarak bu yapıyı oluşturmuştur. Kapsüller tek başlarına veya beraber apartman dairesi veya stüdyo boşluğu ihtiyacını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Fabrikada alet ve malzeme, ses sisteminden telefon sistemine kadar bitirildikten sonra şantiyede vinçle yükseltilerek, çekirdekteki betonarme sütunlara bağlanır (Şekil 6) [7].



Şekil 6. Nakagin Capsule Tower [7]



### 1.4.3. The Paramount, California / ABD

"The Paramount" binası arduermeli kolon kiriş birleşim teknolojisinin çok etkileyici bir uygulaması olarak Amerika Birleşik Devletlerinin California eyaleti, San Francisco şehrinde inşa edilmiştir. Birinci derece deprem bölgesinde yer alan yapı, konut ve ticari amaçlı kullanılmaktadır. Yapı 39 katlı ve 128 metre yüksekliğinde olup toplam inşaat alanı 61.380 m<sup>2</sup>'dir (Şekil 7). Yapının taşıyıcı sistemi prefabrike betonarme çerçeve (kolon/kiriş) sistemi ile oluşturulmuştur. Bu son derece yüksek ve dolayısıyla esnek yapıda, kolon-kiriş birleşimlerinde oluşacak büyük deformasyonları, güvenlikte taşıyabilecek ve deprem kaynaklı mekanik enerjiyi sönmümlendirebilecek özelliklere sahip bir arduermeli birleşim sistemi (Ala-Sawa) kullanılmıştır. Yapıda kullanılan prefabrike taşıyıcı sistem ve prefabrike cephe elemanları proje maliyetini azaltmış, kullanılan arduermeli birleşim sistemi ise konvansiyonel sistemlere göre daha yüksek performanslı bir yapı sistemi oluşturulmasına olanak sağlanmışır [8].



Şekil 7. The Paramount binası [8]

## 1.5. Prefabrike Sistemin Avantajları ve Dezavantajları

Prefabrike sistemlerin kullanılması, düşük maliyet, hızlı yapım ve yüksek kalite gibi avantajlarının yanında dezavantajları da vardır.

### 1.5.1. Prefabrike Sistemin Avantajları

#### 1. Maliyetin düşmesini sağlayan faktörler:

- Kalıbın çok defa kullanılabilmesi,
- İskelelerin tümüyle veya kısmen ortadan kaldırılması,
- Makineleşmeyle birlikte iş verimliliğinin sağlanması nedeniyle yapının hafiflemesi ve malzemedan tasarruf edilmesi,
- Malzeme firelerinin ve işçilik artışlarının en aza indirilmesi,

#### 2. Yapım hızını etkileyen faktörler

- Eleman üretimlerinin şantiye işlerine paralel olarak sürdürülmesi,
- Üretimin mevsimsel duraklamalardan etkilenmemesi,
- Betonun sertleşmesi ve yeterli dayanım kazanılması için gerekli olan bekleme sürelerinin en aza indirilmesi,
- Makineleşme ile iş veriminin artması sonucunda, malzeme ve ekip beklemelerinin önlenmesi,

#### 3. Kalite artışını etkileyen faktörler

- Fabrikada iyi çalışma, ölçüm, denetim koşulları ve makineleşme olanakları ve standartlaşma,
- Aynı işin tekrarlanmasında doğan tecrübe,
- Gelişmiş çelik kalıp sisteminin sağladığı düzgün yüzey,
- Fabrikada kolaylıkla uygulanabilen öngerme yöntemleri sayesinde betonun dayanımının artması [10, 12].

### 1.5.2. Prefabrike Sistemin Dezavantajları

- Prefabrike sistemin detaylandırmaya fazla olanak sunmaması ve bunun sonucunda konut olarak tasarlanan prefabrike yapıların kullanışsız olması,

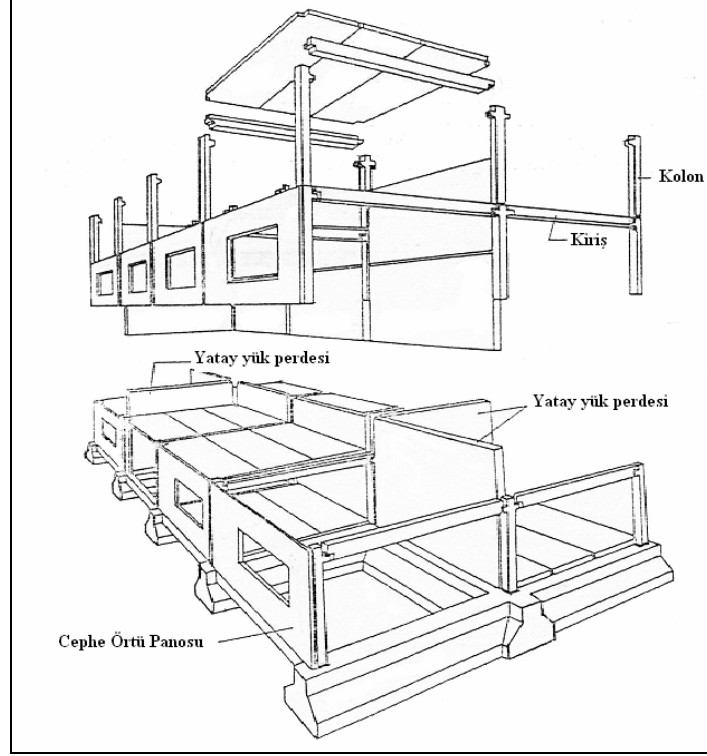
- Montajda kolaylık sağlanması ve üretim maliyetinde düşüklük nedeniyle ülkemizde çok tercih edilen mafsallı birleşimlerin, düktilite ve enerji yutabilme kabiliyetlerinin çok zayıf olması,
- Prefabrike sistemlerde, kolonların temele ankastre bağlı kabul edilmesi sonucunda depremde kirişlerden ve kolon uçlarından hiçbir moment aktarımı olmaması ve bunun sonucunda kolon diplerinde mafsallaşma oluşması,
- Mafsallı bağlantılı prefabrike sistemlerde, kolonlar kirişlere oranla daha az düktil olmasından dolayı, monolitik davranıştaki kirişlerde oluşan plastik mafsallaşma esasını prefabrike betonarme yapılardan beklemek doğru değildir. Bu sebeple yapı davranış katsayısı olan R'nin TDY-2007'e göre R=5 seçilmesi yerine, Amerikan yönetmeliği olan UBC ve Avrupa Birliği yönetmeliği olan Eurocode'da olduğu gibi R=2 civarında seçilmesi ile, bu tür sistemlerin güvenlikleri açısından daha olumlu davranış sergilemesine olanak sağlayacaktır [13].
- Elemanların montajlarının doğru yapılmaması veya montaj sürelerinin uzatılması nedeniyle sistemin güvenliğinin tehlikeye atılması,
- Birleşim bölgeleri zayıf bağlantılı (mafsallı) yatay yükler altında yeterli stabiliteye sahip olmadıkları için yeterli enerji tüketememektedirler. Bu tür bağlantılara sahip çerçevelerden oluşan yapılarda yatay yükleri alabilecek perde yapılmalıdır.
- Birçok prefabrike yapıda döşemelerde prefabrike elemanlardan oluşmaktadır. Bunların, depremden oluşacak yatay kuvvetleri bir düşey elemandan diğerine aktarabilecek dayanım ve rijitliğe sahip olmaları gerekir.
- Prefabrikasyonun yerel ve bölgesel anlamda kalite problemlerinin bulunması,
- Prefabrike elemanlar, yapının uygulanacağı yerin iklim koşullarına uygun üretilmesi gerekmektedir [10, 12].

## **1.6. Prefabrike Taşıyıcı Sistem Elemanları ve Betonarme Taşıyıcı Sistemler**

### **1.6.1. Taşıyıcı Sistem Elemanları**

Farklı prefabrike elemanların çeşitli şekil ve yöntemlerle bir araya gelmesi sonucu prefabrike yapılar oluşmaktadır. Bu elemanlar genel olarak: kiriş elemanlar, kolon

elemanlar, çerçeve elemanları, döşeme elemanları, duvar elemanları ve kabuk elemanlar sıralanabilmektedir (Şekil 8) [5].



Şekil 8. Prefabrike yapı elemanları [5]

### 1.6.1.1. Kiriş Elemanlar

Kiriş elemanlar, bir basit kirişi, bir sürekli veya bir çerçeve kirişini oluşturmak için kullanılan elemanlardır. Bu elemanların, birbirleri ve kolon elemanlarla birleşimleri mafsallı veya rijit olarak yapılabilmektedir [5].

Kiriş elemanları, farklı amaçlara uygun olarak üretebilmektedir. Örneğin, aşık kirişi (Şekil 9), oluk kirişi (Şekil 10), çatı kirişi (Şekil 11), döşeme kirişi (Şekil 12), kreyn kirişi (Şekil 13), köprü kirişi (Şekil 14), fener kirişi (Şekil 15) ve boşluklu makas kirişi (Şekil 16) şeklinde sıralanabilir.



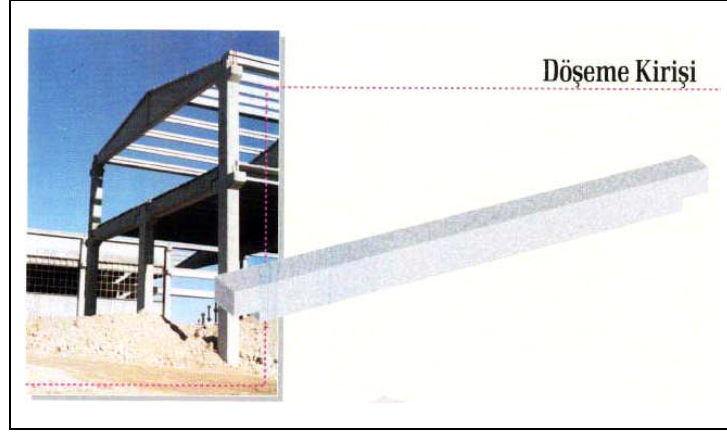
Şekil 9. Prefabrike aşık kirişi [5]



Şekil 10. Prefabrike oluk kirişi [11]



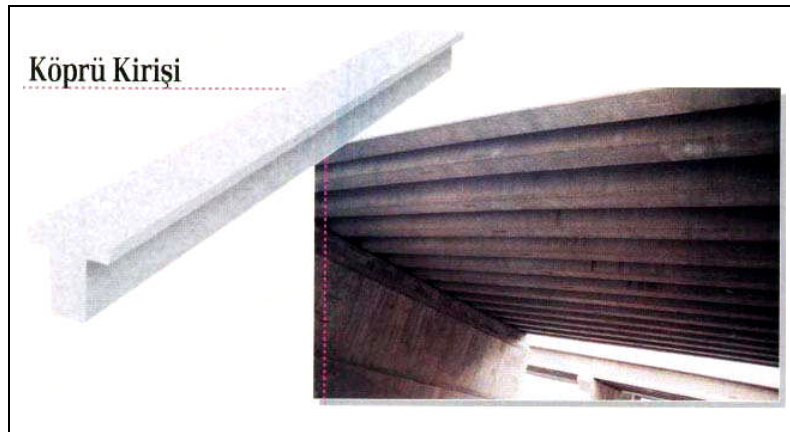
Şekil 11. Prefabrike çatı kirişi [11]



Şekil 12. Prefabrike döşeme kirişi [5]



Şekil 13. Prefabrike kreyn kirişi [11]



Şekil 14. Prefabrike köprü kirişi [5]



Şekil 15. Prefabrike fener kirişi [5]



Şekil 16. Prefabrike boşluklu makas [11]

### 1.6.1.2. Kolon Elemanlar

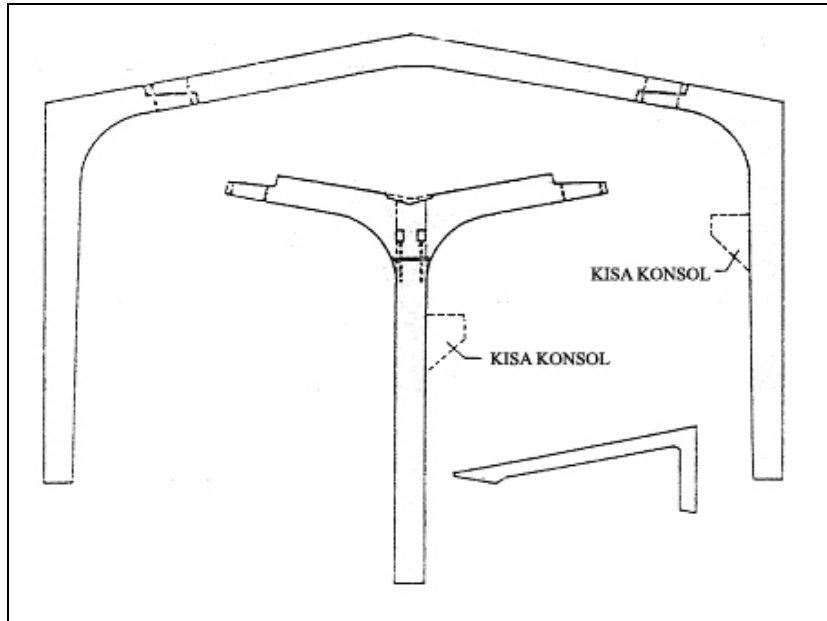
Kolon elemanlar bir, iki ve üç kat yüksekliğinde oluşturulabilirler, kendileri ve kirişlerle birleşimleri mafsallı veya rijit olabilirler. Kolonlar, kirişlerin oturmaları için inceltilmiş uçlu konsollar veya kısa konsollar şeklinde oluşturulabilmektedir (Şekil 17) [5].



Şekil 17. Prefabrike kolon [11]

### 1.6.1.3. Çerçeve Elemanlar

Çerçeve elemanlar genelde T, ters V, H şeklinde olup, birbirleri ile ve kirişlerle ekleri mafsallı veya rijit olabilirler (Şekil 18).



Şekil 18. Prefabrike çerçeve elemanlar [5]



#### 1.6.1.4. Döşeme Elemanlar

Döşeme panoları genel olarak binada bir hacmin plan alanını kaplayan döşeme elemanlarıdır. Döşeme panoları dolu veya boşluklu kesitli olabildikleri gibi II veya TT kesitli de olabilirler. Kaset döşeme şeklinde döşeme panoları da olabilir (Şekil 19, 20).



Şekil 19. Döşeme paneli [5]



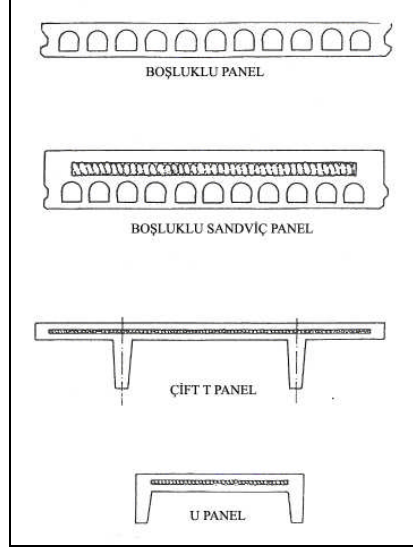
Şekil 20. Boşluklu döşeme [9]

#### 1.6.1.5. Duvar Elemanlar

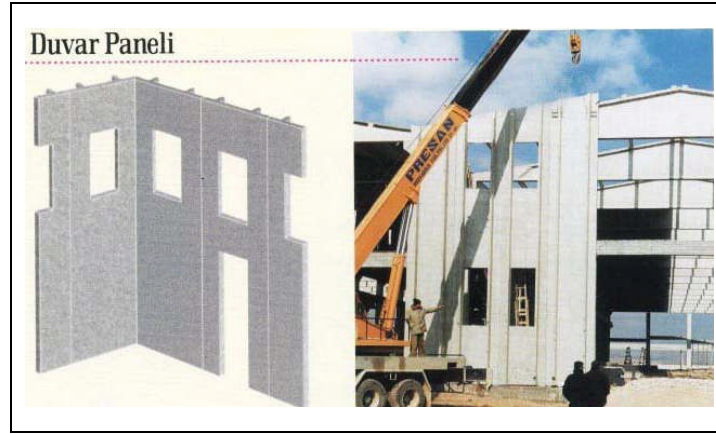
Duvar panoları genel olarak bir hacmin bir yan yüzünü yekpare olarak örten dolu kesitli düzlemsel elemanlardır. Oldukça büyük bir hacmin yan yüzleri, bir kat yüksekliğinden daha yüksekte olabilen bu panoların düşeyde birleştirilmesi sonucu

örtülmektedir. Duvar panolarının taşıyıcı, rijitleştirici ve bölme duvarlarında kullanılan türleri birbirinden farklı olmaktadır [5].

Duvar elemanlarına ait bazı örnekler Şekil 21, 22’de verilmektedir.



Şekil 21. Duvar panel çeşitleri [14]

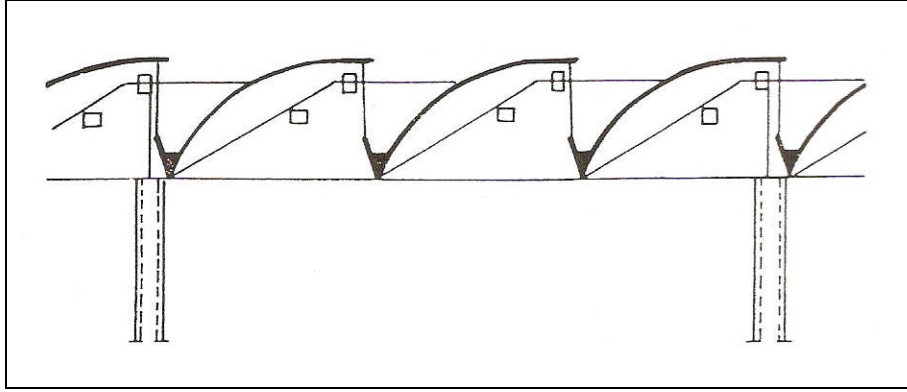


Şekil 22. Duvar paneli [5]

#### 1.6.1.6. Kabuk Elemanlar

Kabuk elemanlar düşünülen kabuk örtüyü meydana getirmek üzere oluşturulmuş kabuk parçalarıdır.

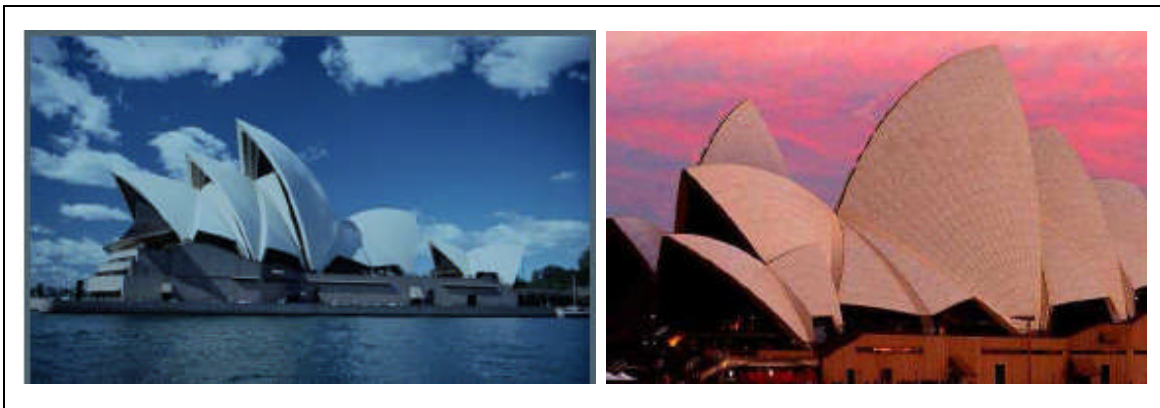
Kabuk elemanlara ait uygulanan örnekler Şekil 23, 24, 25’de verilmektedir.



Şekil 23. Kabuk detayı [14]



Şekil 24. Camide kubbenin kabuk elemanlarla kaplanması



Şekil 25. Sydney Opera Binası kabuk çatı örneği

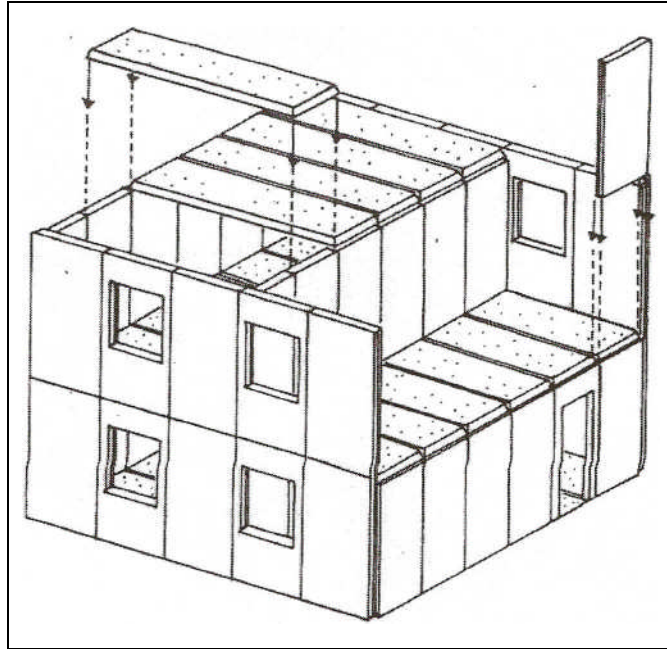
## 1.6.2. Betonarme Prefabrike Taşıyıcı Sistemler

Betonarme prefabrike taşıyıcı elemanlardan oluşan taşıyıcı sistemleri, taşıyıcı duvarlı sistemler, kolon-kiriş sistemler, taşınabilir çerçevesi sistemler kolon-döşeme sistemler, hücre sistemler, karma sistemler olmak üzere altı gruba ayırmak mümkündür.

### 1.6.2.1. Taşıyıcı Duvarlı Sistemler

Birbirleri ile yatay ve düşey yönlerde bağlantıları yapılan panolarla kurulan bu sistemlerde amaç, bölme, yalıtma ve taşıma görevlerinin aynı eleman tarafından yüklenilmesidir. Böylece eleman türlerinde ve bağlantı sayısında büyük bir azalma olmakta; bunun sonucunda, üretim ve montaj maliyetleri oldukça düşmektedir. Bununla birlikte üretimi, taşınması, montaj ve stabilite sorunları gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır [15].

Prefabrike taşıyıcı duvarlı (Pano) sistemler, genellikle konut türü yapılarda kullanılmaktadır (Şekil 26).



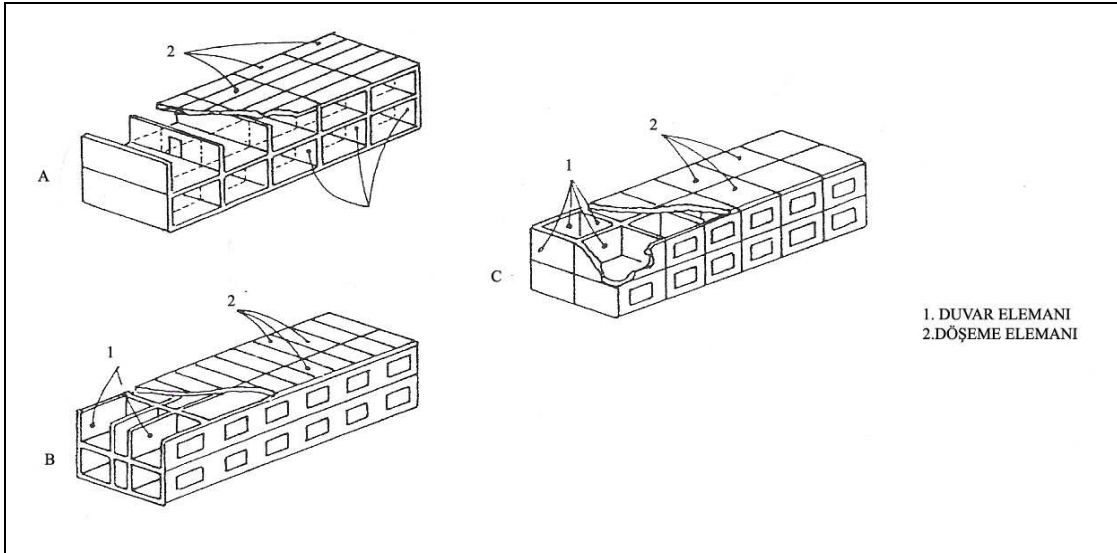
Şekil 26. Taşıyıcı duvarlı sistemler [15]

Yatay döşeme elemanları, kapattıkları alanın büyüklüğüne göre tek yönde çalışan paneller veya çift yönde çalışan pano elemanlarından oluşabilmektedir. Buna göre taşıyıcı duvarlı sistemler genelde üç tipte uygulanmaktadır:

a) Enine Duvarlı Sistemler: Boşluklu veya boşluksuz panolardan oluşan bu sistem, yapının uzun doğrultusuna dik yönde düzenlenirler. Bu panolara tek yönde yük taşıyan döşeme panellerinin mesnetlik etmesi sonucu, düşey yükleri ve kendi doğrultusunda gelen deprem kuvvetlerini taşıyacak şekilde tasarlanırlar. Buna dik yöndeki duvarlar ise sadece yatay deprem kuvvetlerin etkisi altındadır (Şekil 27a).

b) Boyuna duvarlı sistemler: Yapının uzun doğrultusuna paralel olarak düzenlenen panolar, döşeme panellerinden aktarılan düşey yüklerle, yatay deprem kuvvetlerini taşımaktadırlar. Buna dik yöndeki duvarlar ise sadece yatay deprem kuvvetlerin etkisi altındadır (Şekil 27b).

c) İki yönde duvarlı sistemler: Yapının her iki doğrultusunda yapılan panolarla bu sistem oluşturulur. Panolar, çift yönde yük taşıyan döşeme elemanlarından aktarılan düşey yükleri ve kendi yönündeki deprem kuvvetlerini karşılayacak şekilde tasarlanırlar (Şekil 27c).

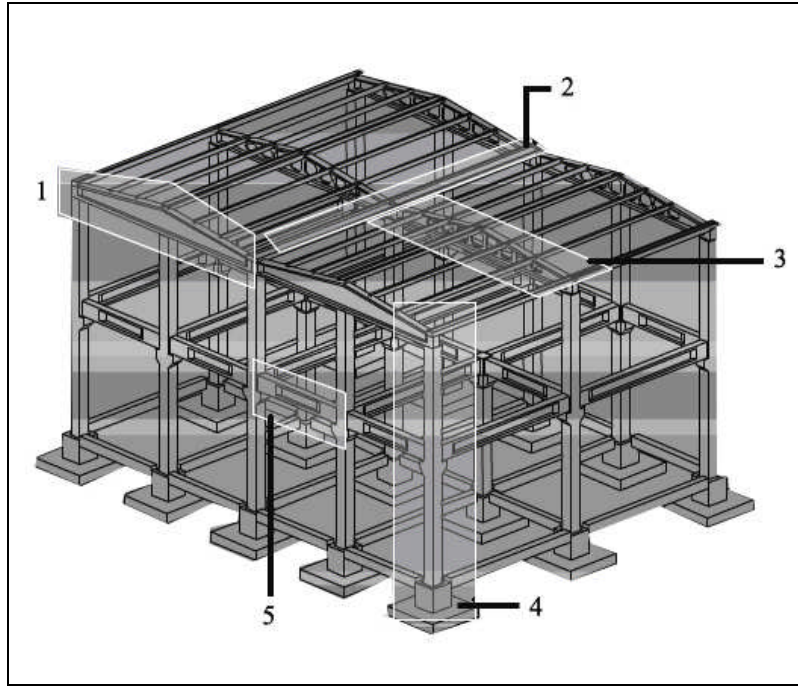


Şekil 27. Enine, boyuna ve çift yönde duvarlı sistemler [15]

### 1.6.2.2. Kolon-Kiriş Sistemler

Prefabrike çok katlı çerçeve sistemler yaygın olarak endüstriyel ve konut türü yapılarda kullanılırlar.

Kolon-kiriş-döşeme elemanlarından oluşan bu sistemde temel amaç, üretim, taşıma ve montaj kolaylığı sağlamaktır. Bu sistemin dezavantajları ise, yüksekliğin fazla olması, eleman ve tip sayısının fazlalığından kaynaklanan stabilite sorunları, derin kirişlerin bölme duvar ve tesisat düzenlemelerine getirdiği kısıtlamalardır (Şekil 28).[10]



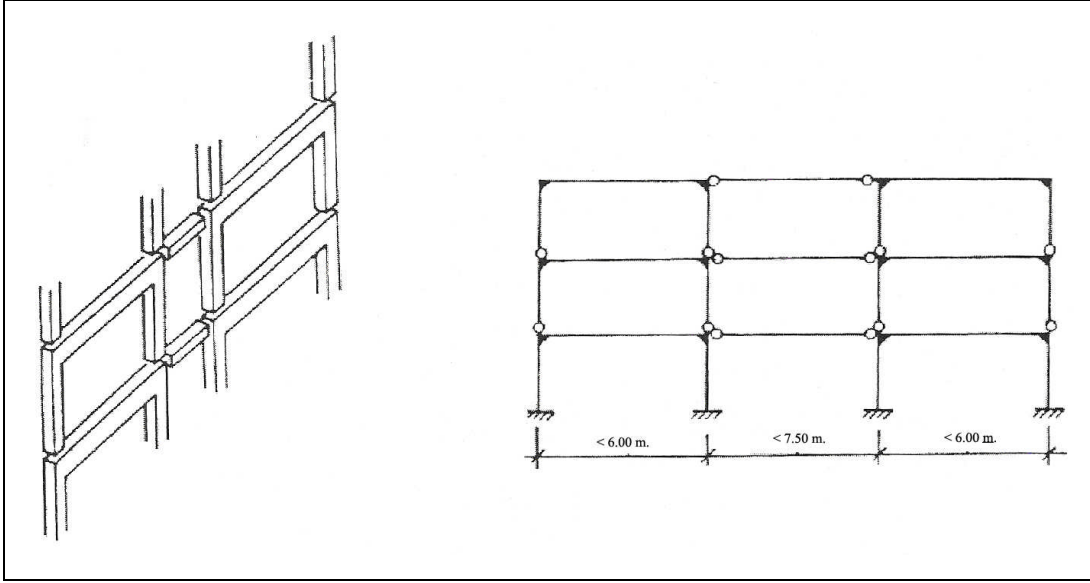
Şekil 28. Kolonlar ve kirişlerden oluşan sistem [16]

### 1.6.2.3. Taşınabilir Çerçevesi Sistemler

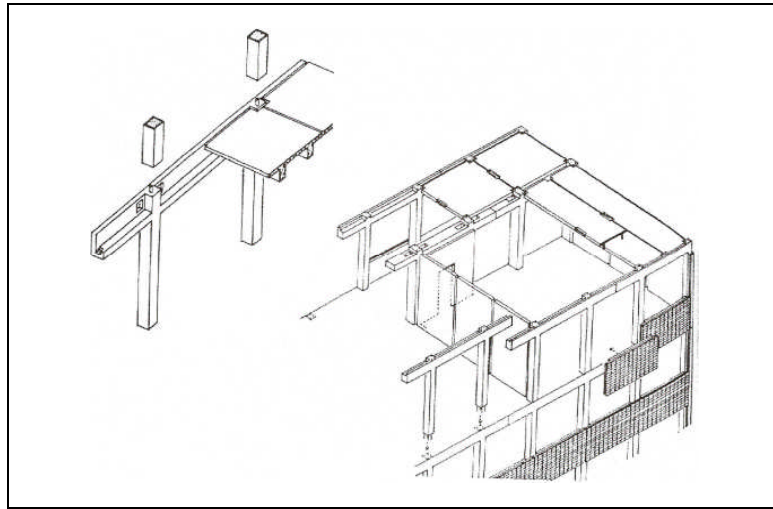
Bu sistemlerde prefabrike ve yekpare olarak üretilen taşıyıcı ana çerçeveler, kolon-kiriş bağlantıları, uygun boyut ve biçimlerde üretilmektedir. Böylece, sistemi oluşturan eleman tipi çerçeve+döşeme olarak iki tipe inmekte, noktalarında sadece kolon-kolon bağlantıları söz konusu olmakta, kirişlerde süreklilik sağlanmakta, kiriş-kiriş bağlantıları az kuvvet gelen bölgelerde yer almakta, dengeli kuvvet ve moment dağılımı sonucunda eleman enkesitlerinde, dolayısıyla yapı yüksekliğinde azalma olabilmekte, çerçeveye paralel doğrultudaki yanal stabilite kolaylıkla sağlanmaktadır. Diğer doğrultuda ise bu tür

sistemlerde, stabilitenin sağlanması için, kolon-kiriş bileşiminde olduğu gibi, çekirdek ve/veya perde sistemlerle takviye edilmelidir [10].

Taşınabilir çerçevesiz sistemlerin, çeşitli taşıyıcı sistemlerin yanal stabilitesinin sağlanmasında görev alabildikleri gibi balkon veya çatı çözümlerinde de yardımcı olabilirler. Bu tür çerçevelerin ardışık düzenlenmesi sırasında iki kolonun yan yana gelmesini engellemek amacı ile çeşitli çözümler geliştirilmiştir. Bunlar ara kirişli (Şekil 29) ve konsollu (Şekil 30) olarak üretilmesidir [15].

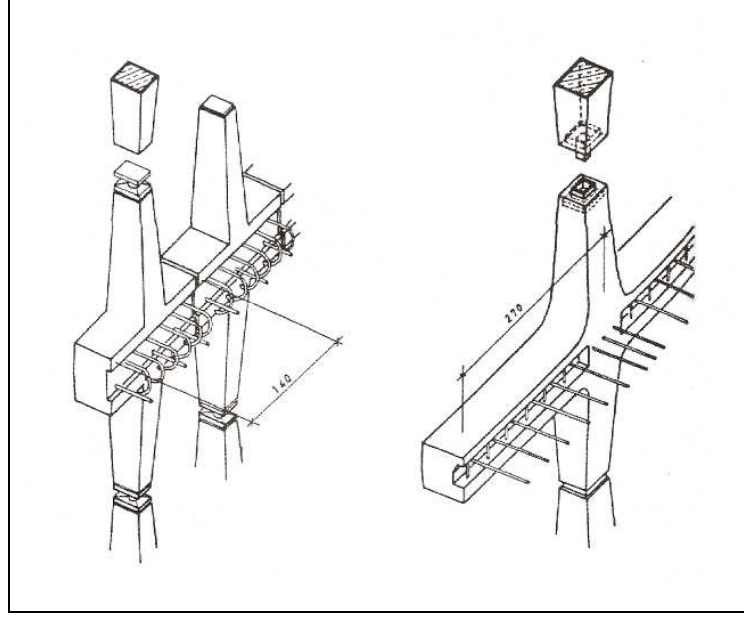


Şekil 29. Ara kiriş bağlantılı taşınabilir prefabrikte çerçeve [10]

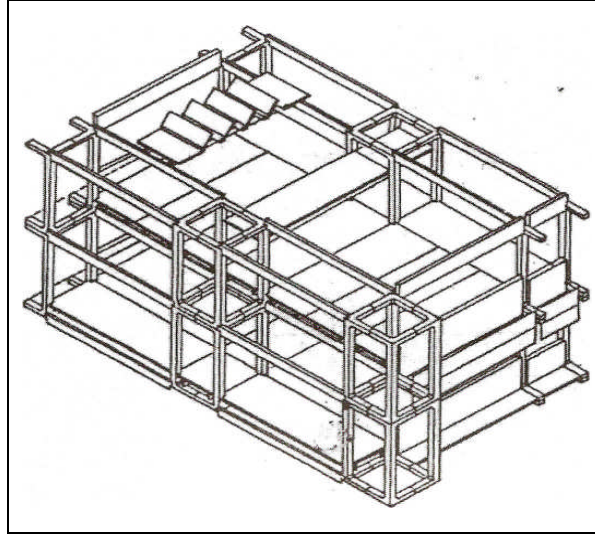


Şekil 30. Konsollu olarak üretilmiş taşınabilir çerçeve [15]

Bu tür çerçevesi sistemler H (Şekil 31), ters L (Şekil 32), T (Şekil 33) ve Lamda tiplerinde üretilmektedir.

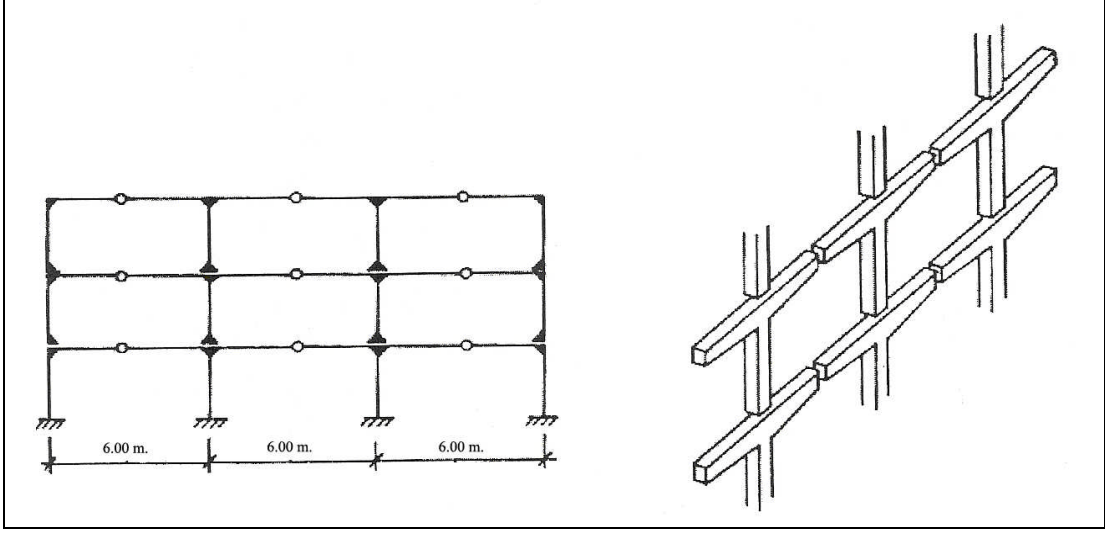


Şekil 31. H çerçevesi sistemler [10]



Şekil 32. Ters L'den Oluşan Çerçeve Sistem [15]

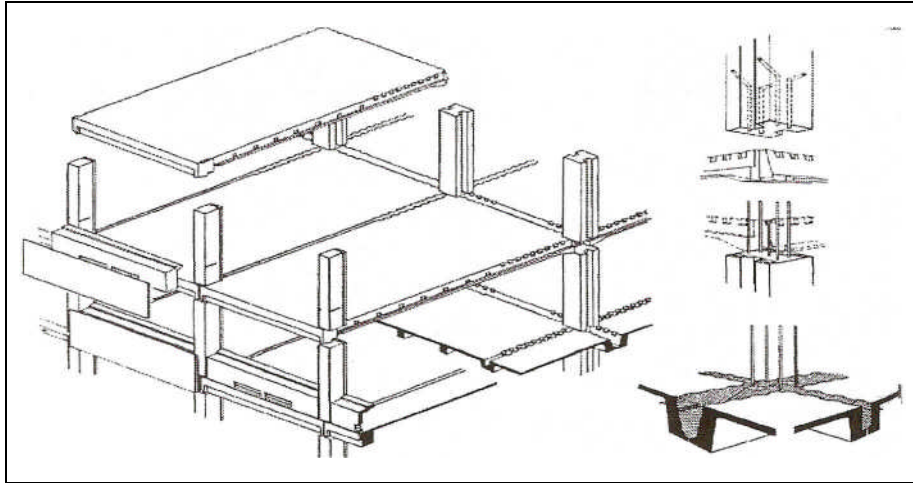




Şekil 33. Ardışık T çerçevelerden oluşan çerçeve sistem ve statik sistem [10]

#### 1.6.2.4. Kolon-Döşemeli Sistemler

Bu tür sistemlerde döşemeler, doğrudan doğruya kolonlar üzerinde oturtulmaktadır (Şekil 34, 35). Bu sistemde karşılaştırılan bazı stabilite ve montaj problemleri aşağıda verilmektedir.



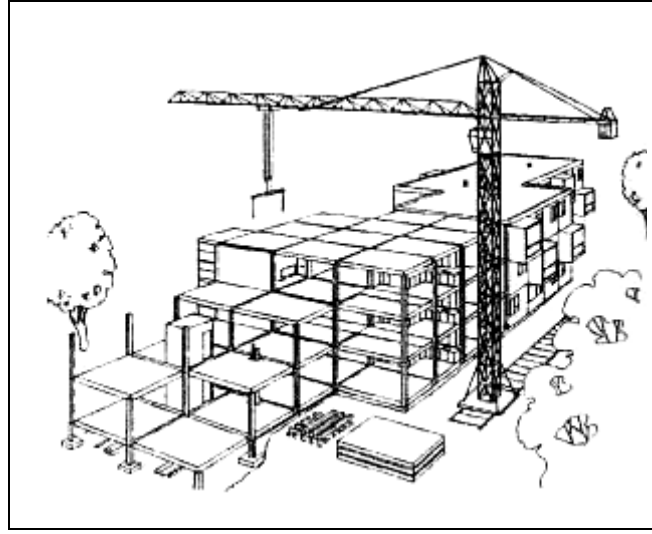
Şekil 34. Kolon-döşeme sistemler [5]

Kolon modülü iki veya bir doğrultuda çalışan tek bir döşeme elemanlarıyla geçilebilmektedir. Bu durumda taşıma kısıtlamalarından dolayı en az bir doğrultuda kolonların sık düzenlenmesi gerekmektedir. Bu çözümün iki sorunu vardır. Birincisi;

üretim şantiyede yapılıyorsa döşeme boyutları kaldırma araçlarına göre seçilmelidir. İkincisi ise kolon-döşeme arasında oluşan büyük ağırlık farklarıdır.

Döşemenin eşit büyüklükte parçalara bölünmesi: Bu sistemin sorunları, montaj sırasında her bir parçanın desteklenme zorunluluğu bulunmaktadır. Bağlantıları daha zordur.

Bir veya iki mafsallı uzaysal çerçeveler şeklinde ele alınarak bölümlere ayrılması. Bu durumda döşeme bölümlerinin kendi aralarındaki birleşimlerinin momentlerin az olduğu bölgelerde düzenlenmesi gerekir [5].



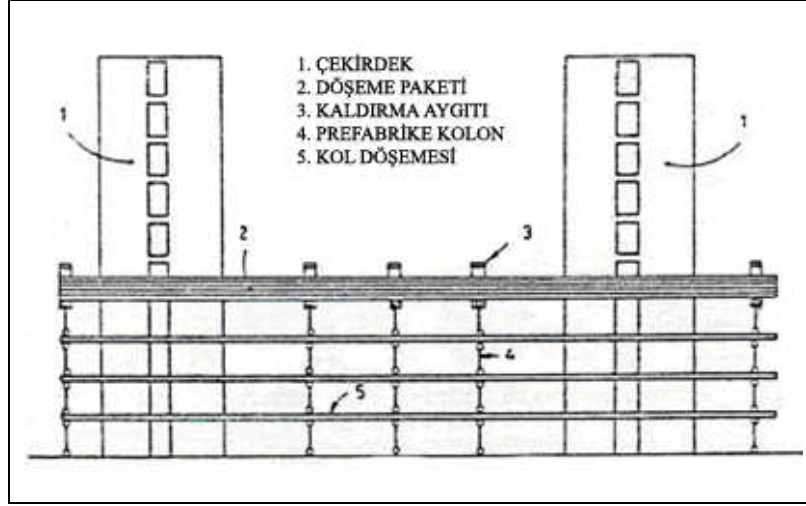
Şekil 35. Kolon-döşeme sistemler [5]

Kolon-döşeme sistemlerin oluşturulması için özel yapım sistemleri gerektirmektedir. Bunlar kaldırılan döşemeli ve perdeli sistemler ve öngerilmeli kolon-döşeme sistemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

#### 1.6.2.4.1. Kaldırılan Döşemeli ve Perdeli Sistemler

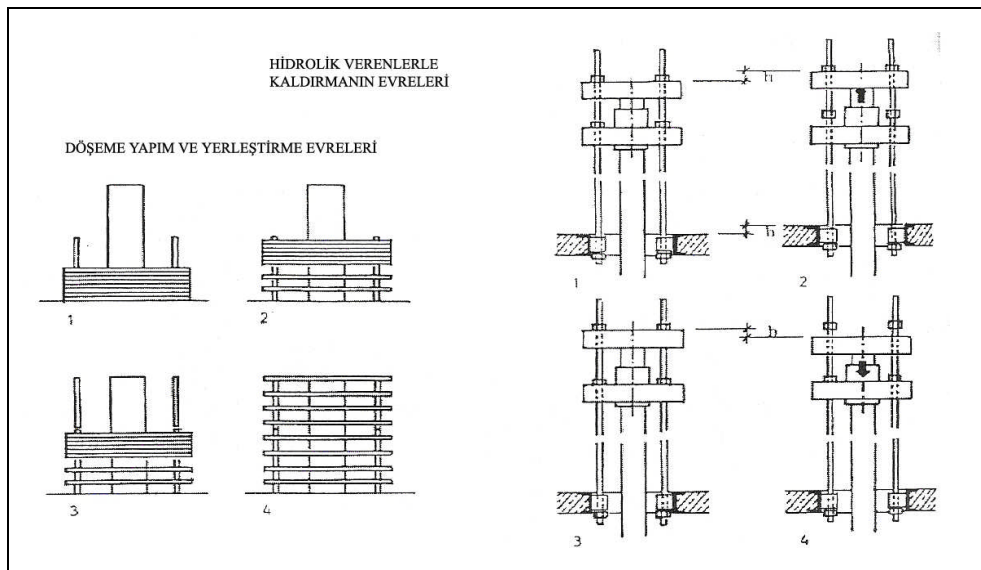
Bu tür sistemlerde var olanın aksine farklı bir teknolojiye yönelerek kat alanı boyutlu döşeme bölümlerinin üst üste döküldükten sonra kaldırılıp son konumlarına yerleştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır (Şekil 36).

Kaldırma döşemeli ve perdeli sistemler çoğunlukla çok katlı konut, ofis ve endüstri yapılarında kullanılmaktadırlar.



Şekil 36. Kaldırılan döşemeli ve perdeli sistemler [10]

Bu tür sistemlerde, döşemeler binanın zemininde kat alanı boyutunda üst üste dökülmektedir. Bu döşemeler daha sonra kolonlara bağlı hidrolik verenlerle kaldırılarak son konumlarına getirilmekte ve özel çelik kasnak, yaka, kama ve benzeri madeni elemanlar aracılığı ile kolonlara monte edilmektedir (Şekil 37). Bu şekilde oluşturulan sistemlerde döşeme ve kolonlar, yalnız düşey yükler taşıyacak şekilde boyutlandırılmışlardır. Yatay yükler yerinde dökme betonarme perdeler, merdiven ve asansör kovalarında teşkil edilen çekirdeklerle alınır. Binanın diğer duvarları bölme duvarı olarak kullanılır.



Şekil 37. Döşemelerin önceden yapılarak katlara yerleştirilmesi şeması [10]

#### 1.6.2.4.2. Öngerilmeli Döşeme-Kolon Sistemler

Öngerilmeli döşeme kolon sistemlerinde prefabrike kolonlar bir, iki veya üç kat yüksekliğinde olabilirler. Bir katın kolon ve döşemeleri monte edildikten sonra kat hizalarında kolonların içinden ve döşemelerin arasındaki boşluktan geçen kablolarla öngerilme verilerek suretiyle kat monolitik şekle getirilir. Sonra döşemelerin arasına beton dökülür ve kablolarla da aderans temin edilmiş olur. Yatay yükler uygun yerlerde uygulanmış perdeler veya çekirdekler tarafından alınır. Bunlar bina yüksekliğinin veya deprem şiddetinin büyük olduğu durumlarda yerinde dökme betonarme olarak yapılırlar. Diğer durumlarda prefabrike olabilirler [5].

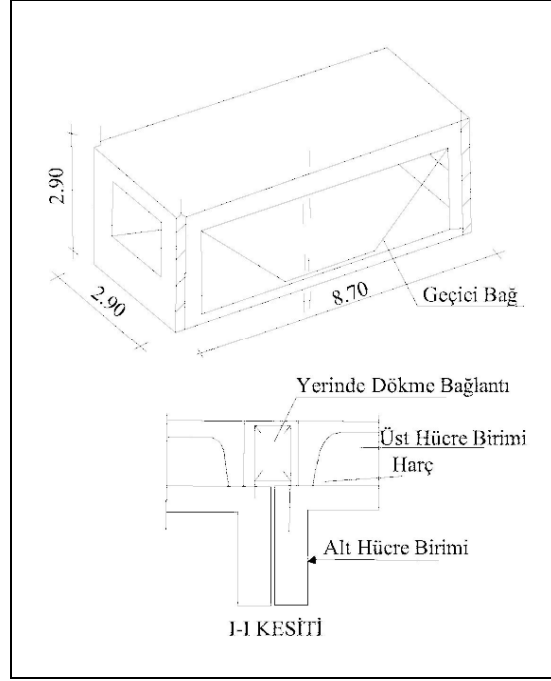
#### 1.6.2.5. Hücre Sistemler

Bu tür sistemlerde prefabrikeasyon oranı %90'lara çıkarılmaktadır. Döşeme ve duvar betonları fabrikada, birlikte veya ayrı ayrı dökülüp birleştikten sonra hücre tamamlanmış olmaktadır. Daha sonra bu hücrelere ısıtma, sıhhi ve elektrik tesisatı ile ilgili armatürler monte edilip; doğrama, cam, döşeme ve duvar kaplamaları bitirilerek hücre hazır hale getirilmektedir. Tamamlanan hücreler, şantiyelerde önceden hazırlanmış altyapılar üzerine monte edilmekte, bu hücrelerin birbirleri ile olan bağlantıları da yapılarak sistem kullanıma hazır hale getirilmektedir. Çok katlı yapılarda da başarıyla uygulanabilen bu yapılarda döşemeler, duruma göre tek ya da iki yönlü olarak çalıştırmakta ve deprem kuvvetleri her iki yöndeki duvarlar yardımı ile temel sistemine aktarılmaktadır (Şekil 38) [5].



Şekil 38. Hücre sistemler [5]

Hücre sistemin birleşim detayına ait bir örnek Şekil 39’da verilmektedir.



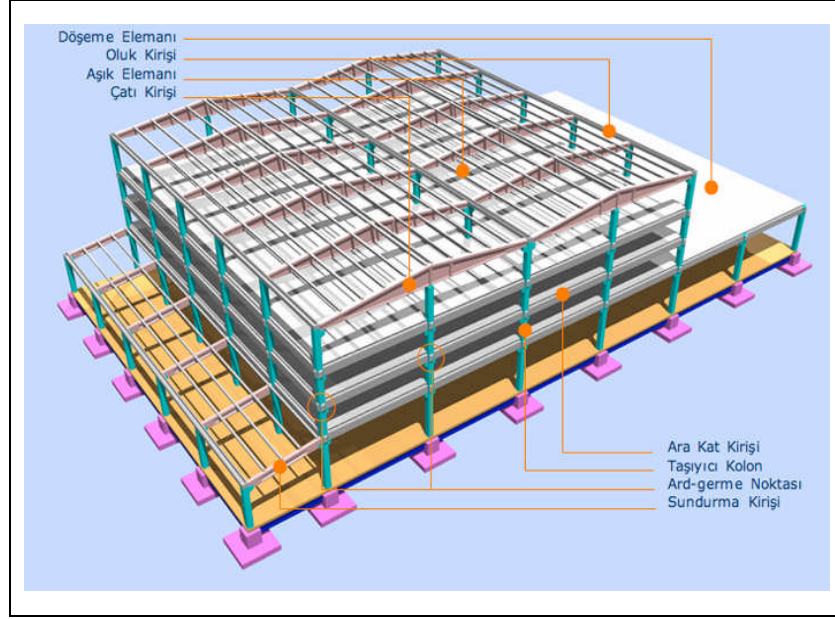
Şekil 39. Hücre sistem birleşim detayı [14]

### 1.6.2.6. Karma Sistemler

Bu tür sistemler, yukarıda sözü edilen taşıyıcı sistemlerin çeşitli kombinasyonları olarak düzenlenebilmektedir.

### 1.6.3. Ala-Sawa Sistemi

Ala-Sawa sistemi, bina taşıyıcı sistemini oluşturan ve çok yüksek kalitede malzeme kullanılarak fabrika şartlarında yüksek denetim altında üretilen taşıyıcı elemanların yerine montajı sonrasında kısmi ard-germe yapılarak birleşimlerini moment aktarıcı hale getiren ve rezerv olarak bırakılan germe kuvvetiyle deprem gibi yatay kuvvet etkilerini karşılayan prefabrike betonarme çok katlı bina yapım teknolojisidir (Şekil 40) [17].



Şekil 40. Ala-Sawa Sistemi [17]

Türkiye’de moment aktarıcı birleşim detaylarına sahip çok katlı prefabrike betonarme yapılar ve mafsallı birleşim esasına dayanan tek katlı sanayi yapıları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ala-Sawa sistemi bu iki sistemin sunamadığı çok katlı depreme karşı dayanımı yüksek olan alternatif bir sistemdir. Ala-Sawa en önemli özelliği prefabrike kolon-kiriş sistemlerinde Türkiye’de yaygın olarak uygulanan moment aktarıcı birleşim detaylarına göre dolaylı değil, son derece net bir şekilde yük aktarımının sağlanması ve detaya olan yüksek güvenin oluşmasıdır [18].

Ala-Sawa sistemi ülkemizde benzer deprem riskine sahip Japonya’da, Japonya’nın en büyük prefabrike firması Kurosawa tarafından yıllar süren araştırma sonucunda geliştirilmiştir. Bu sistemle depreme dayanıklı olarak 15-20 kata kadar konuttan hastaneye, yurttan stadyuma, alışveriş merkezine kadar bir çok yapı inşa edilebilmektedir [18].

Ala-Sawa sisteminin diğer sistemlerden bazı üstün özellikleri aşağıda verilmektedir:

- Birlikte çok katlı yapı uygulamaları yapılmaktadır.
- Dolaylı yük aktarımı bulunmamaktadır ve donatının donatıya, donatının levhaya kaynaklanmasında oluşabilecek riskler yoktur.
- İleri teknolojik ekipmanlar kullanılmasından dolayı, oluşabilecek işçilik hatalarının minimum düzeyde kalmaktadır.
- Öngerme ve ard-germe kuvvetleri altında basınç uygulanan ve 5 cm. pas payıyla oluşturulan kesitlerdeki korozyon riskinin ortadan kalkmaktadır.

- Yüksek malzeme kalitesi bulunmaktadır.
- Şantiye işçiliği 1/6 oranında azalmaktadır.
- İnşaat süresi 1/3 oranında azalmaktadır.
- Üretimin fabrikada yapılmasından dolayı yüksek kalitedir.
- Japonya'da geliştirilmiş depreme dayanıklı ileri teknoloji ürünü taşıyıcı sistemidir.
- Yerinde dökme sistemine göre daha büyük açıklıklar rahatlıkla geçilmektedir.
- Yapılarda üç boyutta ard-germe yapılmaktadır.

Ala-Sawa sisteminin uygulama aşamaları ise şöyle sıralanabilir:

1. Fabrikada tüm kolon ve kirişlerin içerisine projesine uygun olarak ard-germe kanalları bırakılarak imal edilir (Şekil 41).



Şekil 41. Üretim ve ard-germe kanalları [19]

2. Şantiyeye nakliye ve kolon montajı (Şekil 42).



Şekil 42. Nakliye ve kolon montajı [19]

3. Kiriş ve döşeme elemanlarının montaj (Şekil 43).



Şekil 43. Kiriş ve döşemelerin montajı [19]

4. Ard-germe hazırlığı:

Kolon-kiriş birleşim derzleri rötresiz özel harç ile doldurulur, ard-germe halatları kolon ve kirişlerde bırakılan kanallar içerisine sürülür (Şekil 44, 45).



Şekil 44. Kolon-kiriş birleşim derz dolgusu [19]





Şekil 45. Ard-germe Halatlarının Sürülmesi [19]

#### 5. Ard-germe İşlemi:

Ard-germe halatlarına germe ünitesi yardımı ile projede belirtilen kuvvet verilir, hatlar kilitlenir. Sistem bu aşamadan sonra moment aktarıcı hale gelmiştir (Şekil 46).



Şekil 46. Ard-germe işlemi [19]

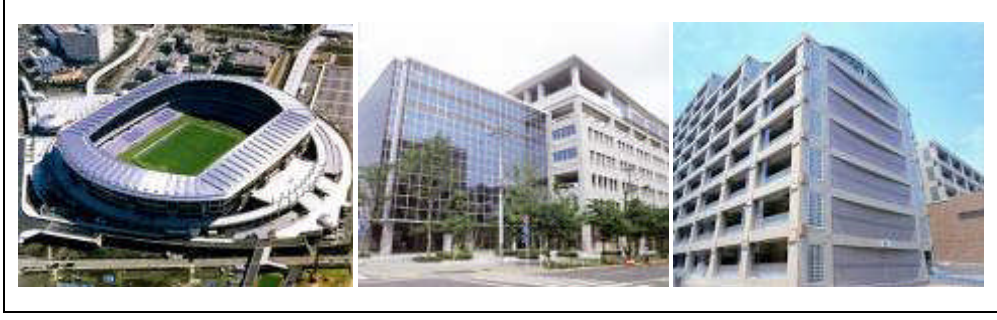
#### 6. Kanal enjeksiyonu:

İlk ve son germe noktalarının özel harç dolgusu yapıldıktan sonra bilgisayar kontrollü enjeksiyon pompasıyla tüm germe kanalları rötresiz harçla doldurulur.

#### 7. Döşeme betonunun dökülmesi:

Yüzeyi pürüzlendirilmiş ve firketeler bırakılmış olan prefabrike döşeme elemanları üzerine hasır çelik yerleştirilir ve topping betonun dökülmesiyle diyafram etkisi yaratılarak sistem tamamlanmış olur [19].

Bu sistemle inşa edilmiş bazı uygulama örnekleri Şekil 47, 48'de verilmektedir.

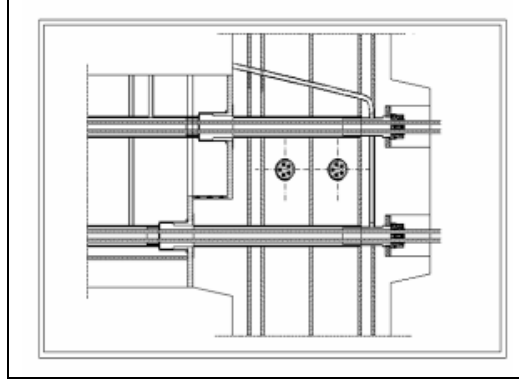


Şekil 47. Japonya'dan uygulama örnekleri



Şekil 48. Türkiye'den bazı uygulamalar [17]

Sonuç olarak Ala-Sawa sisteminin uygulandığı yapılar, kullanılan üç boyuttaki öngerilme ve ard-germe (Şekil 49) sayesinde ortalama yüz yıllık periyotta bir tekrarlanan büyük depremlere dayanabilme gücünü kazanır. Japonya'daki Ala-Sawa sistemi uygulanan yapıları, Kobe depremini sıfır hatayla atlatarak bu iddiaları kanıtlamıştır. Tüm bunların dışında kanalların betonlanması, minimum 5 cm pas payı bırakılması, yüksek kalitede beton ve çelik kullanılması ile sistem 300 yıla kadar ömrü arttırmaktadır.



Şekil 49. Ard-germeli kolon-kiriş detayı [18]

## 1.7. Prefabrike Yapılarda Birleşimler

### 1.7.1. Birleşimlerde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Birleşimlerin yeterince başarılı olabilmeleri için dikkate alınması gereken noktalar şunlardır:

**Kuvvetler:** Prefabrike taşıyıcı sistemlerin davranışı büyük ölçüde tasarlanan ve seçilen birleşimlerin başarısına bağlıdır. Bir birleşim, bir yapının ömrü boyunca maruz kalacağı ölü ve yarı yükler, rüzgâr ve deprem kuvvetleri, toprak ve su basıncı, hacim değişimi sonucu oluşan iç kuvvetler (ısı değişimi, sünme ve büzülme) gibi yükleri taşıyacak dayanıma sahip olmalıdır. Birleşim noktalarını bu tür beklenen yüklerle karşı ve patlama, taşıt çarpmaları, mesnet çökmeleri vb. gibi önceden beklenmeyen anormal tesirlere karşı da tasarlamak mümkündür.

Bir birleşim noktasında genel olarak basınç, çekme ve kesme kuvvetleri ile eğilme ve burulma momentlerinin aktarılması söz konusu olabilir. Birçok birleşimler bu kuvvetlerin birçoğuna karşı dayanıklı olabildiği halde diğer bir etkiye karşı dayanıksız olabilmektedirler. Örnek olarak bir bileşim, yüksek kesme kuvveti aktarabildiği halde moment aktaramayabilir.

**Süneklik:** Süneklik, bir yapının veya elemanın göçmeden büyük deformasyonlar yapabilme yeteneğidir. Süneklik betonarme yapı elemanlarında ise, elemanın artan tersinir yükler altında akmaya başlaması ile kırılması arasında gözlenen deformasyon miktarı olarak tanımlanmaktadır. Deprem yönetmeliğine göre bir yapıya etkiyecek deprem yükleri

hesaplanırken, yapıyı sünek olarak dikkate almışsak birleşim noktaları da aynı süneklik şartlarını yerine getirmeli, sünek bir davranış göstermelidir.

**Hacim Değişirme:** Isı değişmesi, büzülme ve sünme gibi etkiler, yapıları oluşturan iki ucu sabit olan elemanlarda iç kuvvet ve gerilmeler meydana getirmektedir. Gerek elemanlarda gerek birleşimlerin tasarımlarında bu kuvvetler hesaba katılmalı ya da bu etkileri yok etmek için elemanlara bu doğrultuda hareket serbestliği tanınmalıdır. Birleşimleri kaynaklanarak yapılan elemanlarda hacim değişirme problemi büyük sorunlar çıkarmaktadır. Hacim değişimi problemlerine, yerinde dökme betonla yapılan ıslak birleşimlerde az rastlanmasının nedeni, yerinde dökme betonun sünmesi veya meydana gelen mikro çatlakların bu etkileri karşılamasıdır.

**Dayanıklılık:** Korumasız olarak açıkta bırakılmış çelik elemanların paslanması sonucu birleşimlerin dayanıklılık problemi ortaya çıkmaktadır. Dış etkilere karşı açık birleşimlerdeki çelik elemanlar betonla kaplanmalı, boyanmalı veya galvanizli olmalıdır. Ayrıca bu birleşimler kontrol edilmeli ve bakımları yapılmalıdır.

**Yangın Dayanımı:** Açıkta ve korumasız olan çelik elemanlar yangınlardan da etkilenmektedir. Bu tür elemanları betonla kaplayarak, yangına dayanıklı boya ve spreyle kullanarak yangın dayanımını artırılmalıdır.

**Detay Basitliği:** Kontrolü ve uygulaması zor olan karışık birleşimlerden kaçınılmalı, birleşim detayı olabildiğince basit olmalıdır. Birleşim bölgesinde gerekli olmayan eleman fazlalığından kaçınılmalı, betona gömülü eleman sayısının az olması sağlanmalı, düşük tolerans gerektirecek hassas birleşimlerden kaçınılmalı; bulon, yuva ve gömülü elemanlar kullanılırken, bunların standart elemanlar olmasına çalışılmalıdır.

**Montaj Basitliği:** Birleşim detayı gibi montaj da olabildiğince basit olmalıdır. Montaj süresi kısa tutulup, montaj sırasında kullanılması gereken ekipman ve malzeme az olmalı, geçici ve fazla malzeme kullanılmamalıdır.[14]

**Görünüş:** Bu birleşim noktaları binanın genel estetiğine aykırı olmamalıdır.

## **1.7. 2. Birleştirme Yöntemleri**

### **1.7.2.1. Eğilme Momenti Aktaran Birleşimler**

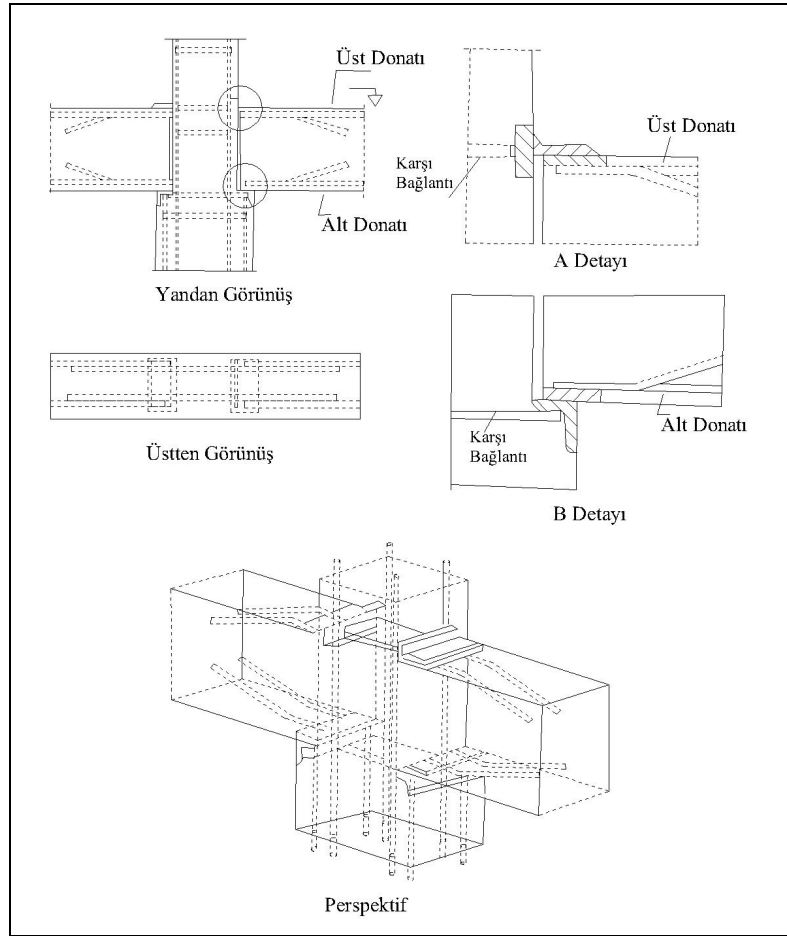
Bu tür birleşimlerde eğilme momentlerinin yanı sıra, kesme ve normal kuvvetleri de bir elemandan diğer elemana aktarılması söz konusudur.

2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelikte 3.12.2.2. hükmünde bu tür bağlantılardan:

“Bağlantılar, bağlanan elemanlardan aktarılan iç kuvvetleri, dayanım ve süneklikte herhangi bir azalma olmaksızın aktarabilecek dayanıma sahip olması gerekmektedir. Kaynaklı bağlantılarda depremden ötürü bağlantıya etkiyen iç kuvvetlerin en az 2 katı, diğer tür bağlantılarda ise en az 1.5 katı göz önüne alınacaktır. Birleşim hesaplarında emniyet gerilmeleri en çok %15 arttırılacaktır” hükümleri bulunmaktadır [20].

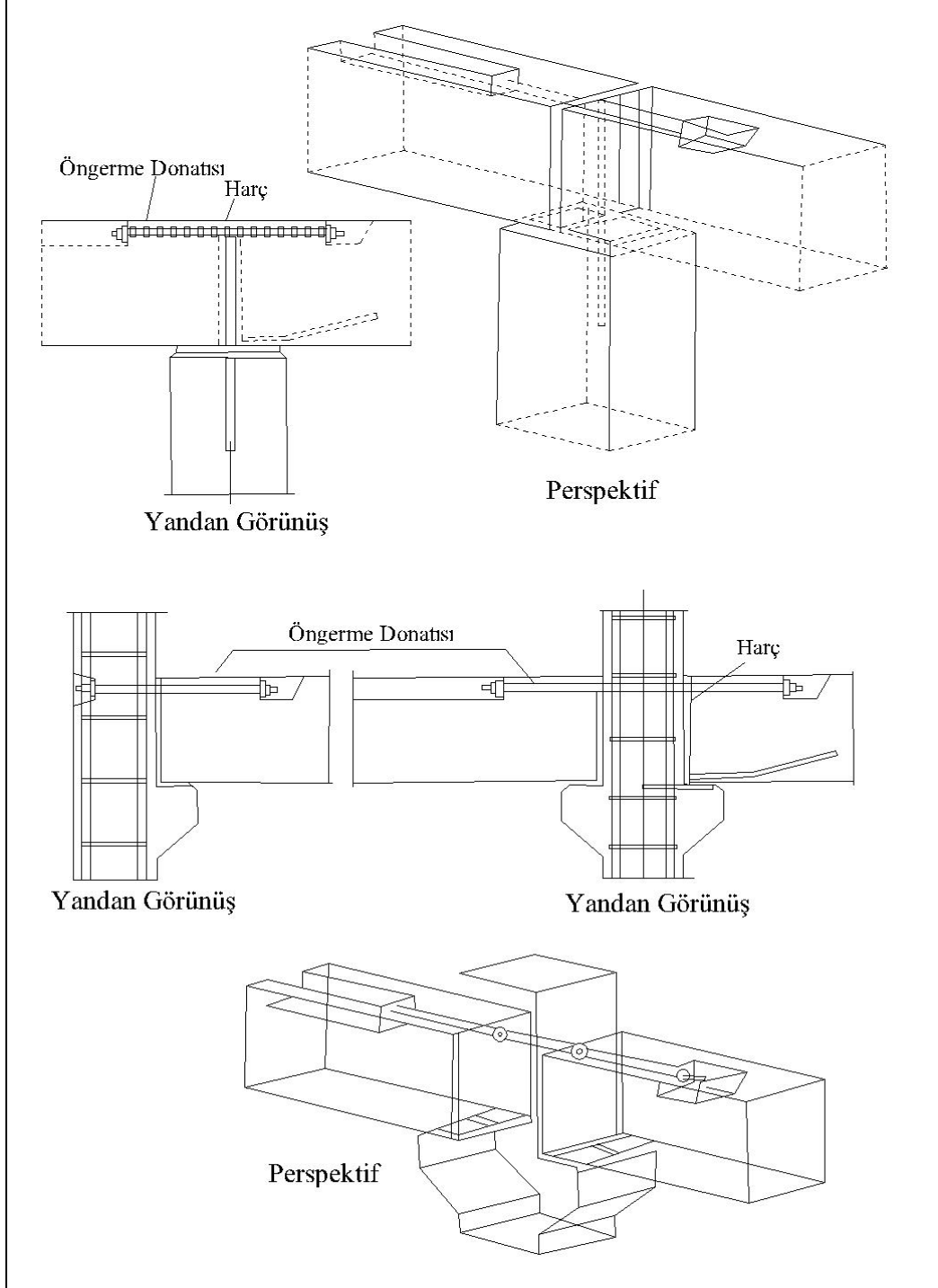
Eğilme momenti aktaran birleşimlerde kuru ve ıslak birleşim şeklinde olabilmektedir. Kuru birleşimlerde kesitteki çekme kuvveti aşağıdaki şekillerden biriyle aktarılabilmektedir.

- Çekme donatısının metal bir parçaya ve onu da sabit kabul edilebilen başka bir parçaya kaynaklamak (Şekil 50),



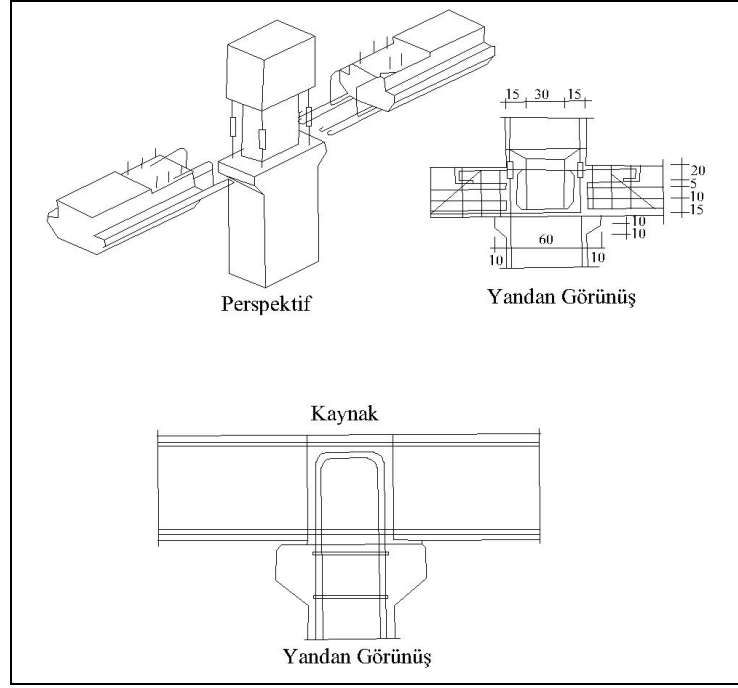
Şekil 50. Çekme donatısının metal bir parçaya ve onu da sabit kabul edilebilen başka bir parçaya kaynaklamak suretiyle eğilme moment aktaran birleşimler [14]

- Birinden diğere aktarılmak istenen iki elemanı çekme kuvveti tatbik noktasında bulonla birleştirmek (Şekil 51),



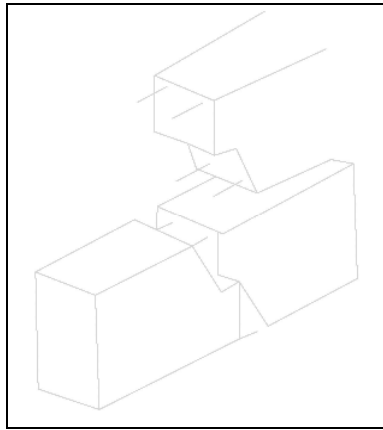
Şekil 51. Birinden diğere aktarılmak istenen iki elemanı çekme kuvveti tatbik noktasında bulonla birleştirmek suretiyle eğilme moment aktaran birleşimler [14]

- İki elemanı çekme kuvveti tatbik noktasında öngerilme ile birleştirmek (Şekil 52),



Şekil 52. İki elemanı çekme kuvveti tatbik noktasında öngerilme ile birleştirmek suretiyle eğilme moment aktaran birleşimler [14]

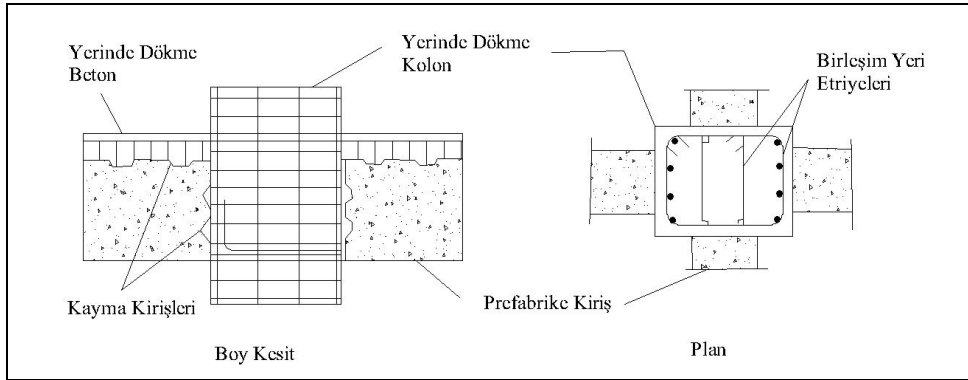
Kesme kuvvetinin aktarılması, kuru birleşimde belirtilmiş üç şekle ilave olarak, prefabrike elemanın birleşim yüzeyinde kenet dişleri yapılarak prefabrike elemanın yerinde dökme beton bir eleman veya yerinde dökme beton bir bölge ile birleşimiyle de yapılabilir (Şekil 53) [5].



Şekil 53. Prefabrik elemanın birleşim yüzeyinde kenet dişleri yapılarak kesme kuvvetinin aktarılması [5]

Islak birleşimlerde beton basınç kuvveti iki prefabrike elemanın arasına yerinde dökülen betonla sağlanır ve bu tür birleşimlerle birlikte momentle beraber basınç ve kesme kuvvetleri de kolonlarla aktarılır.

Islak birleşimde kesitteki çekme kuvveti, iki elemanın çekme donatısının ekine fiyongla bindirme (Şekil 54) ve kaynaklama şekillerinden biri uygulanarak, birleşimin moment aktarması sağlanabilir.



Şekil 54. Islak birleşimde çekme kuvvetinin fiyongla bindirme yardımıyla aktarılması [5]

Moment aktaran bağlantılara sahip çerçevelerde depremden en fazla etkilenen bölgeler, kolon-kiriş birleşim bölgeleridir. Kesme kuvvetinin aktarılması bu bölgelerde karşılaşılan en önemli sorundur. Bu sorun, kolon kiriş bağlantılarının kesme kuvvetinin maksimum olduğu bölge dışında yapılmasıyla çözülebilir.

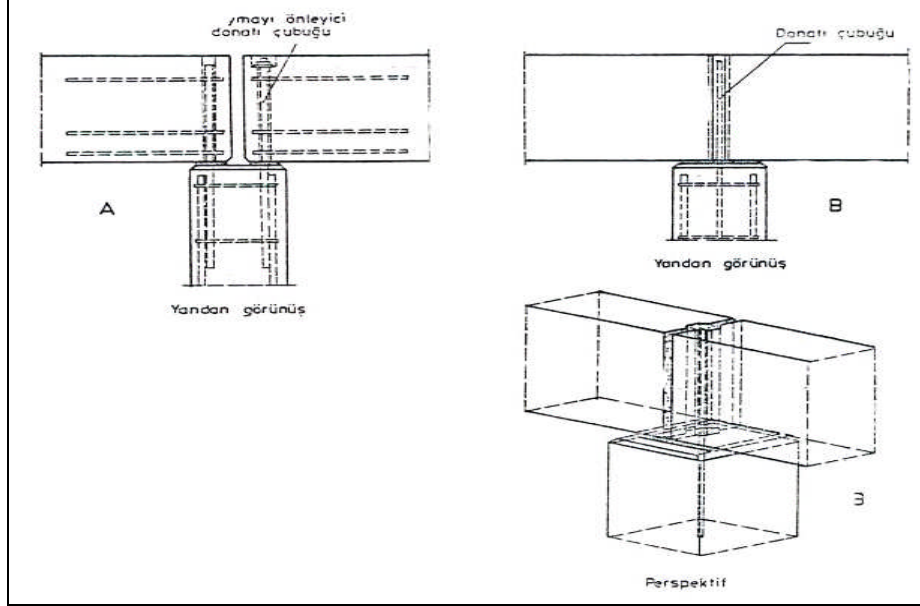
### 1.7.2.2. Mafsallı Birleşimler

Kesme kuvveti veya mesnet reaksiyonları aktarmalarına rağmen moment aktarma kabiliyetine sahip olmayan birleşimlerdir. Bu tür bağlantılı sistemlerde, düşey yüklerin taşınmasında etkilidir. Deprem yüklerinin taşınması yerinde dökme betonarme perdelerle sağlanmaktadır. Bununla birlikte döşemelerin diyafram etkileri de önem taşımaktadır. Mafsallı bağlantı örnekleri Şekil 55, 56'da gösterilmektedir.

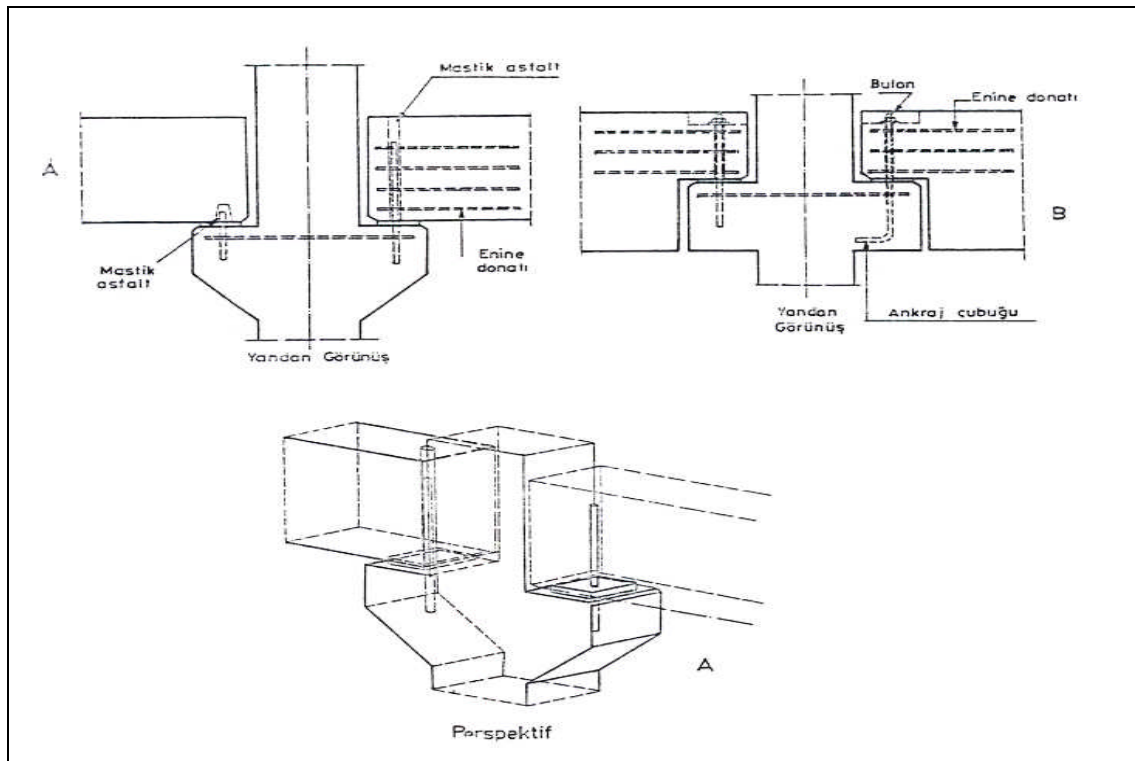
Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelikte bu tür bağlantılardan şu şekilde söz edilmektedir: “Perdeli mafsallı sistemler, bağlantıları mafsallı çerçeve türü taşıyıcı sistemlere, her iki doğrultuda yatay deprem yüklerinin tamamını taşıyabilen



yerinde dökme betonarme perdeler yapılması koşulu ile izin verilmektedir” denilmektedir [20].



Şekil 55. Mafsallı Bağlantı Örnekleri [5]



Şekil 56. Mafsallı Bağlantı Örnekleri [5]

### 1.7.3. Birleşim Detayları

Birleştirilen elemanın cinslerine göre temel-kolon, temel-duvar, kolon-kolon, kolon-kiriş, kiriş-kiriş, kiriş-plak, duvar-duvar, duvar-plak, plak-plak birleşimleri olmak üzere dokuz çeşittir.

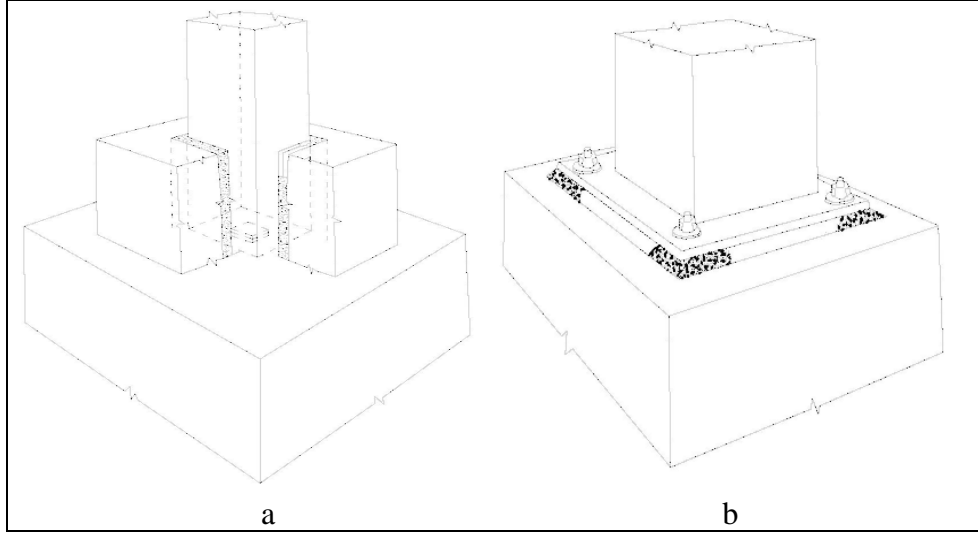
#### 1.7.3.1. Temel-Kolon Birleşim Detayları

Ülkemizde yaygın olarak kullanılan ve deprem bakımından en uygun olan soket temel-kolon birleşimi Şekil 57a'da görülmektedir. Bu tür birleşimlerin temel inşaatının pahalı olmasına karşın montajı kolay ve çabuktur [14].

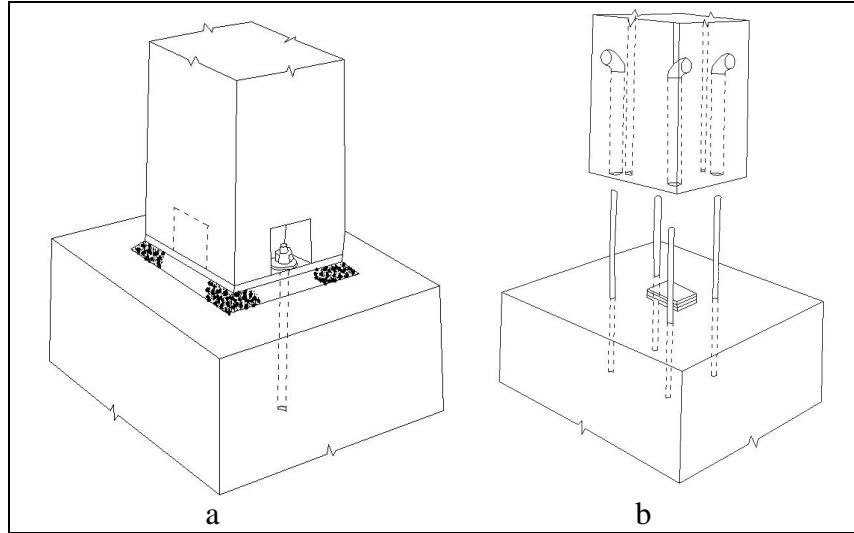
Şekil 57b'de kolondan daha geniş tabanlı birleşim görülmektedir. Bu tür birleşimlerde kolon donatıları önceden taban plakasına kaynaklanmalı ve birleşim korozyona karşı korunmalıdır. Bu tür birleşimlerinin moment taşıma kapasitesi az olduğundan yatay yük almayan çerçevelerde uygulanması daha doğrudur [1].

Şekil 58a'da kolon genişliğinde taban plakalı birleşim görülmekte olup bu tür birleşimler temelde bırakılan ankraj bulonları yardımıyla uygulanır. Önemli derecede tolerans problemleri olup, moment dayanımı nispeten azdır [14].

Şekil 58b'de yuvalı birleşim görülmekte olup bu tür birleşimler temelde bırakılan filiz donatıları, kolonlardaki yuvalara oturtulduktan sonra kalan boşluklar şerbetlenerek oluşturulur. Bu tür birleşimlerde farklı zamanlarda dökülmüş olan betonlarda rötreten doğan aderans problemi oluşabilmektedir. Bu nedenle hesaplamalar yapılırken bu tür ek yerlerinin mafsallı olarak düşünülmesi daha gerçekçi olacaktır [1].



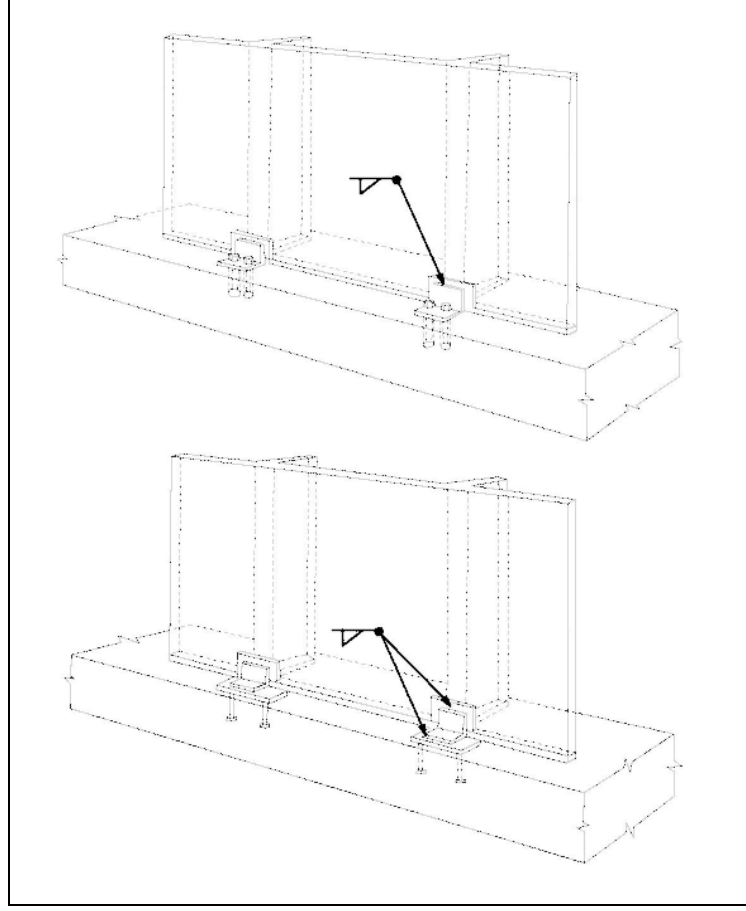
Şekil 57. Soket temel-kolon birleşimi [14]



Şekil 58. Temel-Kolon Birleşimi [14]

### 1.7.3.2. Temel-Duvar Birleşim Detayları

Şekil 59'da birinci şekilde duvarlar temelde bırakılan ankraj bulonları yardımı ile, ikinci şekilde ise ankraj plakalarına kaynaklanarak yapılan birleşimler görülmektedir [14].

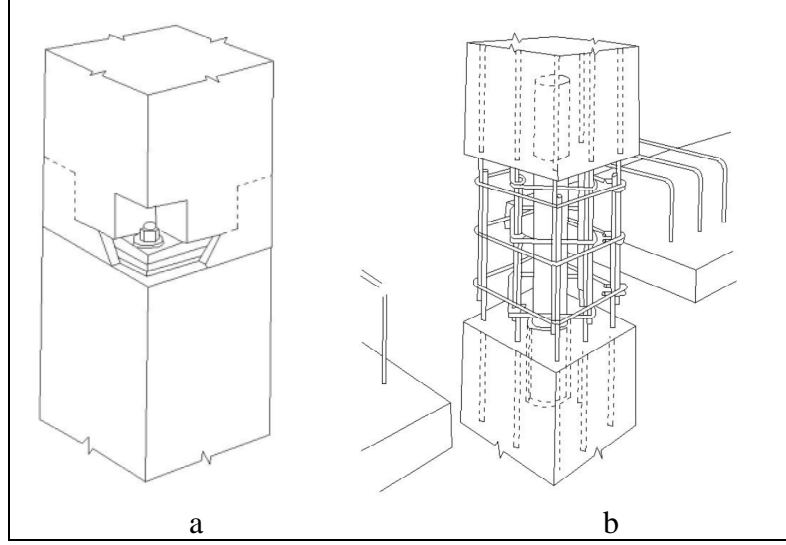


Şekil 59. Temel-Duvar Birleşimleri [14]

### 1.7.3.3. Kolon-Kolon Birleşim Detayları

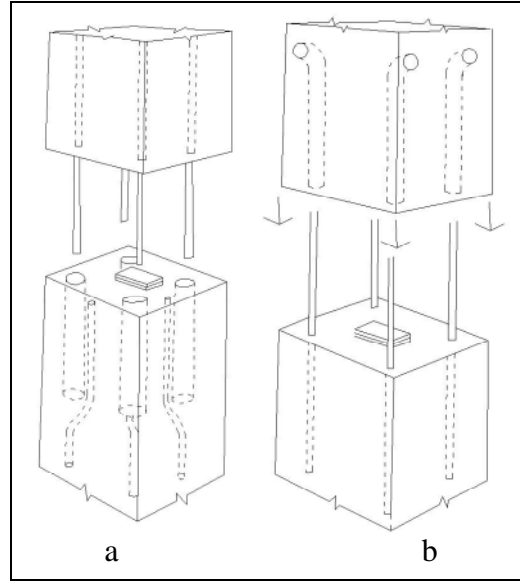
Şekil 60a'da plakalı birleşim görülmektedir. Bu tür birleşimlerin moment taşıma kapasitesi bulonlarla sınırlı olması nedeniyle, birleşimlerin kolon orta bölgelerinde olmaları daha uygun olmaktadır.

Şekil 60b'de ıslak bir birleşim görülmektedir. Bu tür birleşimler, kolonlarda bırakılan filizler bindirme şeklinde eklendikten sonra betonlanarak uygulanır [14].



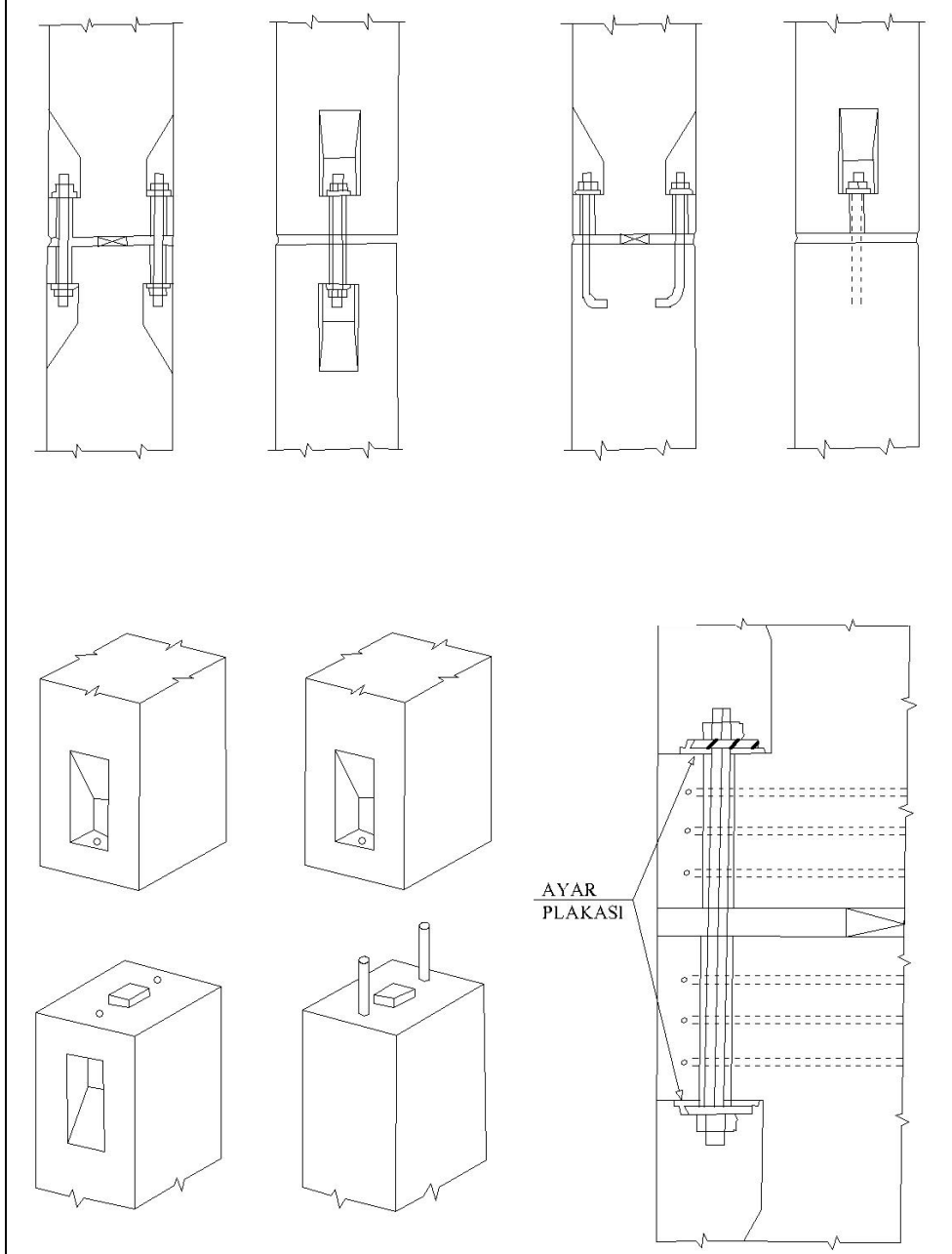
Şekil 60. Kolon-Kolon Birleşimi [14]

Şekil 61a'da ise yuvaları alt kolonda olan geçmeli birleşim görülmektedir. Şekil 61b'de yuvaları üst kolonda olan geçmeli bir birleşim görülmektedir. Bu tür birleşimlerde donatıların yeterli aderansı sağlayacak kadar betonun içine girmeleri gerekir. Ek yerlerinin oldukça yüksek kesme dayanımları olmasına rağmen moment taşıma kapasiteleri düşüktür. Bu nedenle sadece kesme kuvveti taşıyan mafsalı bir ek yeri olarak kolon ortalarında yapılmaları daha uygun olur [1].



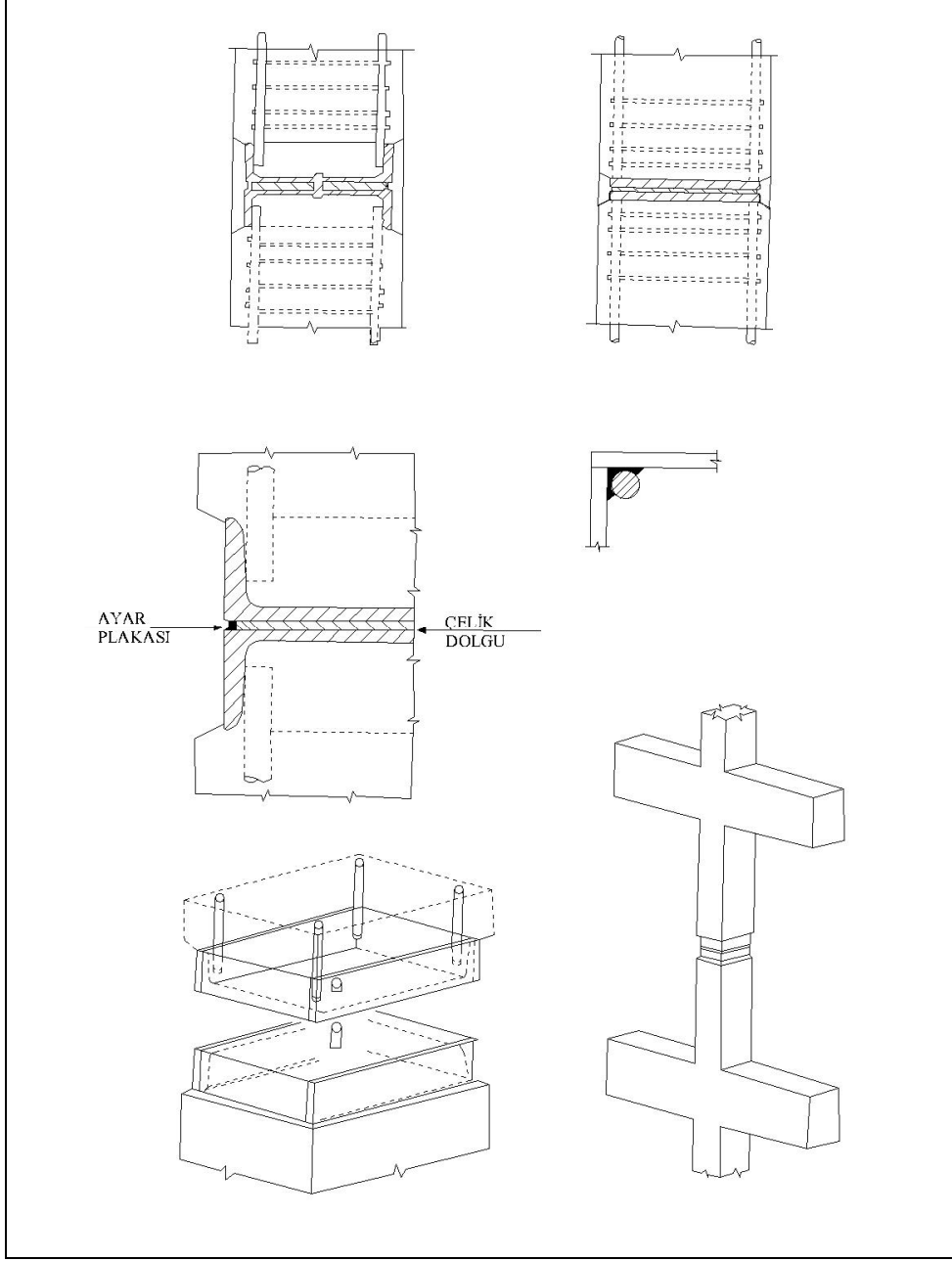
Şekil 61. Kolon-Kolon Birleşimi [14]

Şekil 62’de bulonlu kolon-kolon birleşimi görülmektedir. Bu tür birleşimlerin moment taşıma kapasiteleri çok düşük olup, bulonların yangına ve korozyona karşı korunması gerekmektedir [14].



Şekil 62. Bulonlu Kolon-Kolon Birleşimi [14]

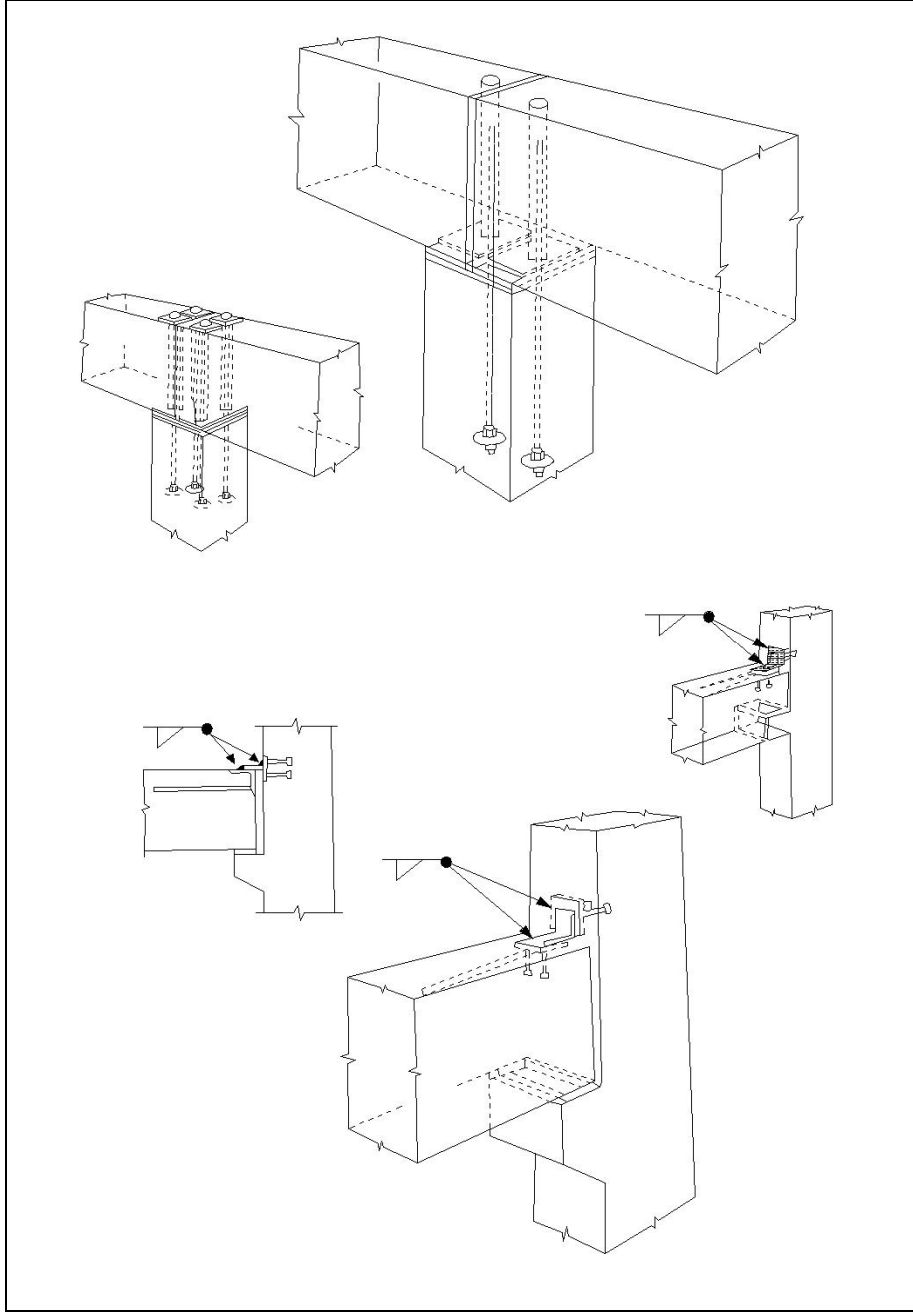
Şekil 63’de kaynaklı kolon-kolon birleşimi görülmektedir. Bu tür birleşimler de moment aktarma kapasiteleri düşük olup, birleşim yangına ve korozyona karşı korunmalıdır [14].



Şekil 63. Kaynaklı kolon-kolon birleşimi [14]

#### 1.7.3.4. Kolon-Kiriş Birleşim Detayları

Şekil 64'de geçmeli kolon-kiriş birleşimi görülmektedir. Bu tür birleşimlerin montajları kolay, tolerans problemleri az, moment aktarma kabiliyetleri ise yoktur.

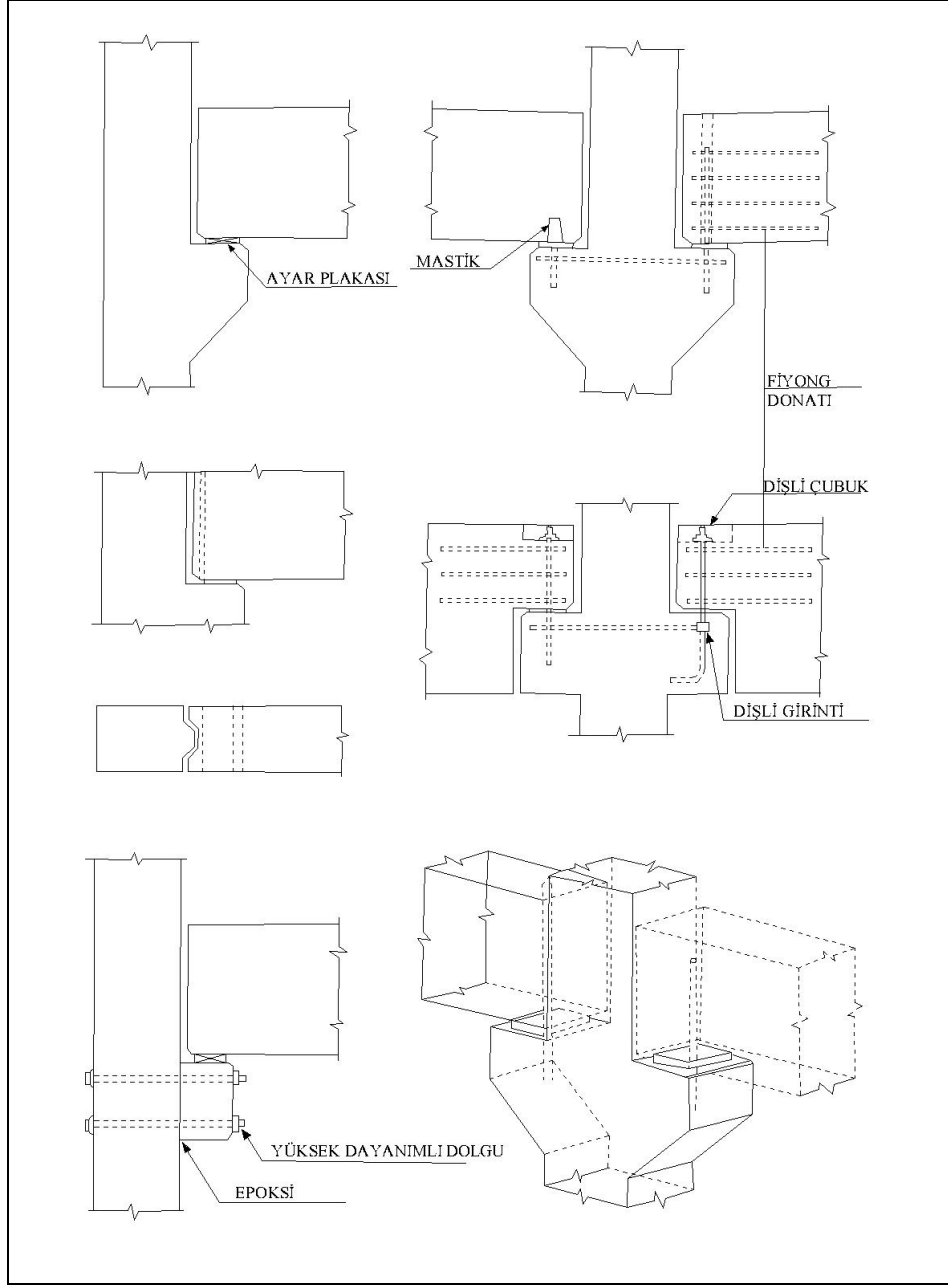


Şekil 64. Geçmeli kolon-kiriş birleşimleri [14]

Şekil 65’de ise oturtmalı birleşim görülmektedir. Bu tür birleşimlerin montajları kolay, tolerans problemleri ve moment aktarma kabiliyetleri azdır.

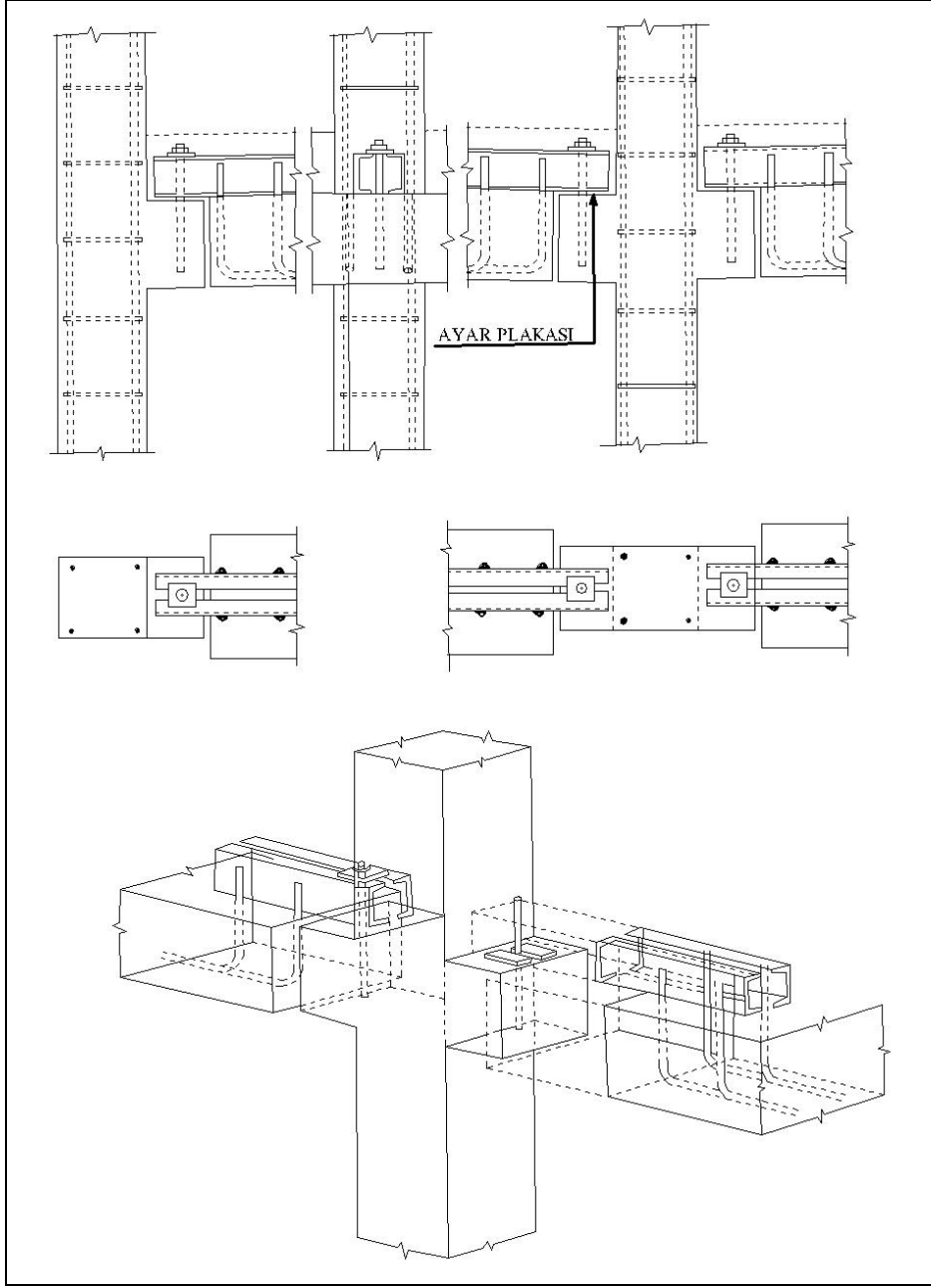
Oturmalı ve geçmeli birleşimlerde dikkat edilmesi gereken husus birleşim tamamlanmadan önce kirişin yana devrilmesi önlenmelidir [14].





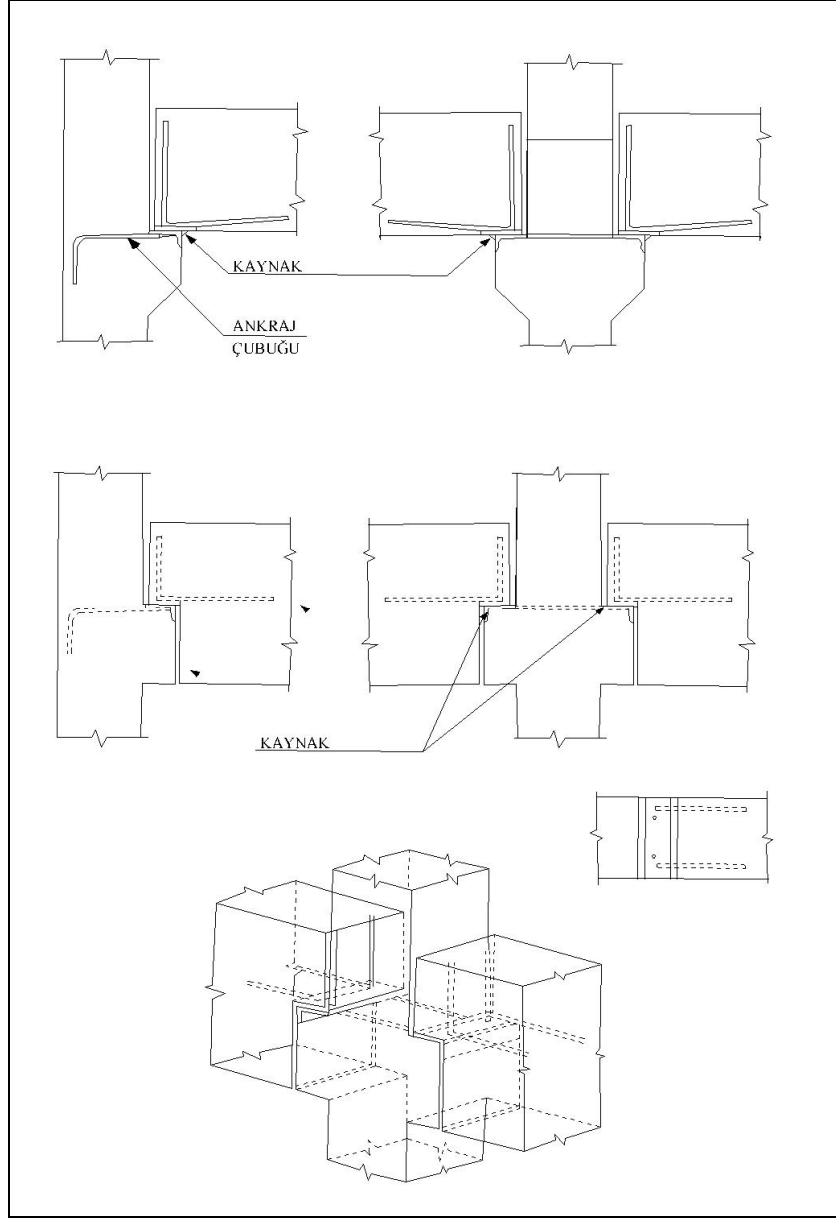
Şekil 65. Oturmali ve geçmeli kolon-kiriş birleşimi [14]

Şekil 66'da çelik askı yardımıyla yapılan kolon-kiriş birleşimleri görülmektedir. Bu tür birleşimlerde dikkat edilmesi gereken husus, birleşimin burulma momenti aktarma kabiliyeti olmadığı için kenar kirişi olarak kullanılmamalıdır ve birleşim yangın ve korozyona karşı korunmalıdır [14].



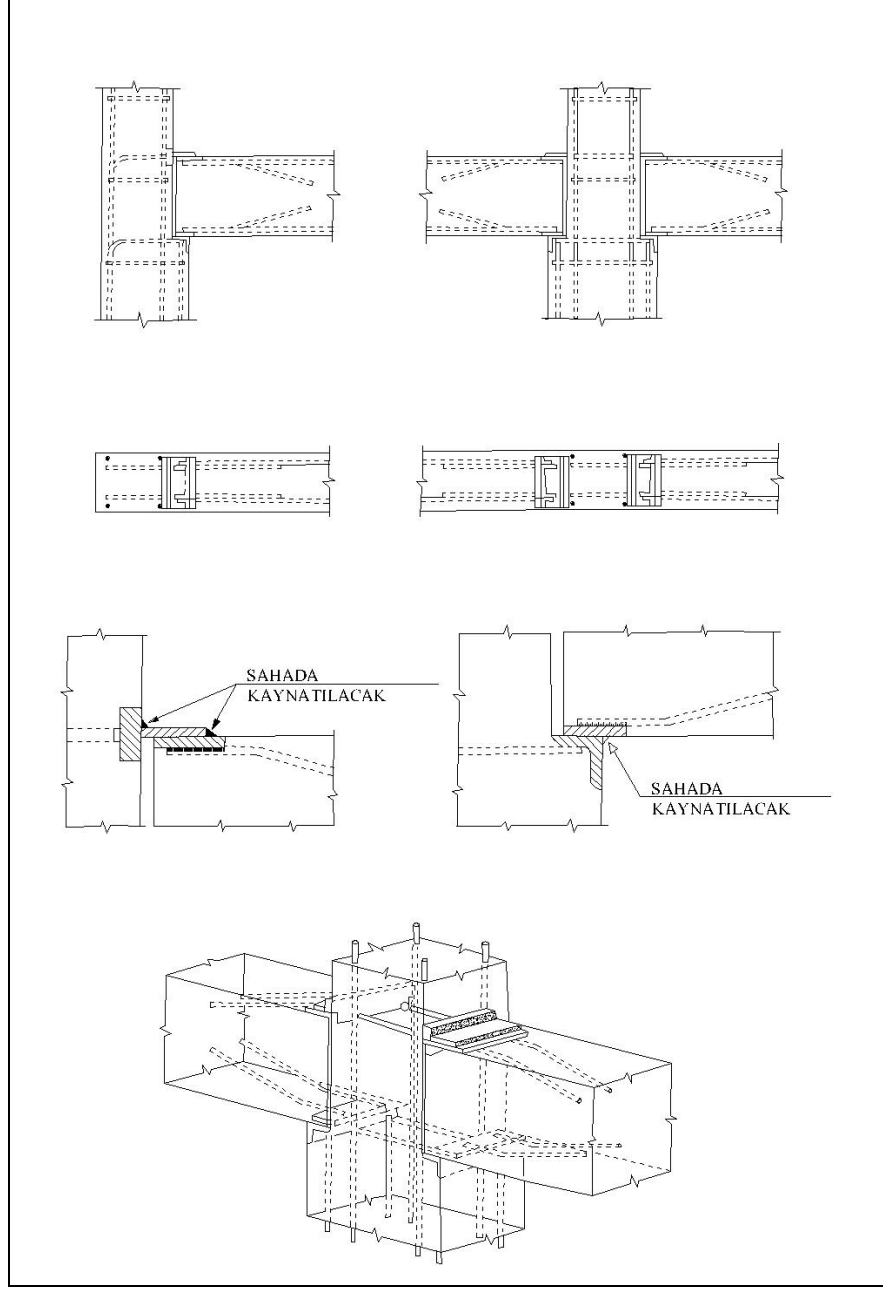
Şekil 66. Çelik askı yardımıyla yapılan kolon-kiriş birleşimleri [14]

Şekil 67’de çelik oturma yüzeyli kolon-kiriş birleşimleri görülmektedir. Bu tür birleşimlerin, düşey kesme kuvveti aktarma kapasitesi oldukça yüksek olup, tolerans problemi az, montajı kolaydır. Birleşim yangına ve korozyona karşı korunmalıdır [14].



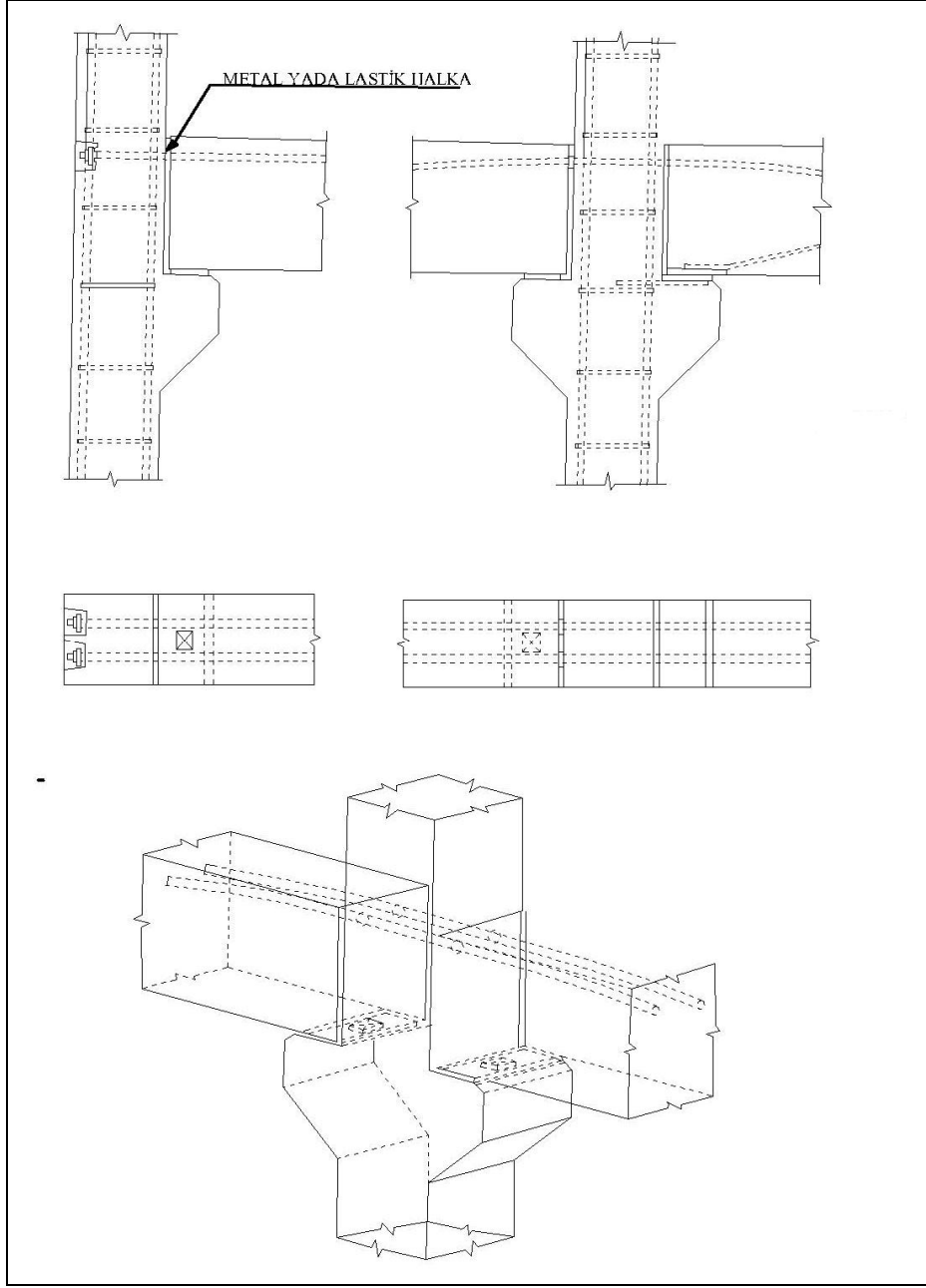
Şekil 67. Çelik oturtma yüzeyli kolon-kiriş birleşimleri [14]

Şekil 68'de oturmalı kaynaklı kolon-kiriş birleşimleri görülmektedir. Bu tür birleşimler üstten ve alttan kaynaklanarak kesme kuvveti, normal kuvvet ve moment taşıma kapasitesi elde edilebilir. Tolerans problemleri az olup yangına ve korozyona karşı korunmalıdır [14].



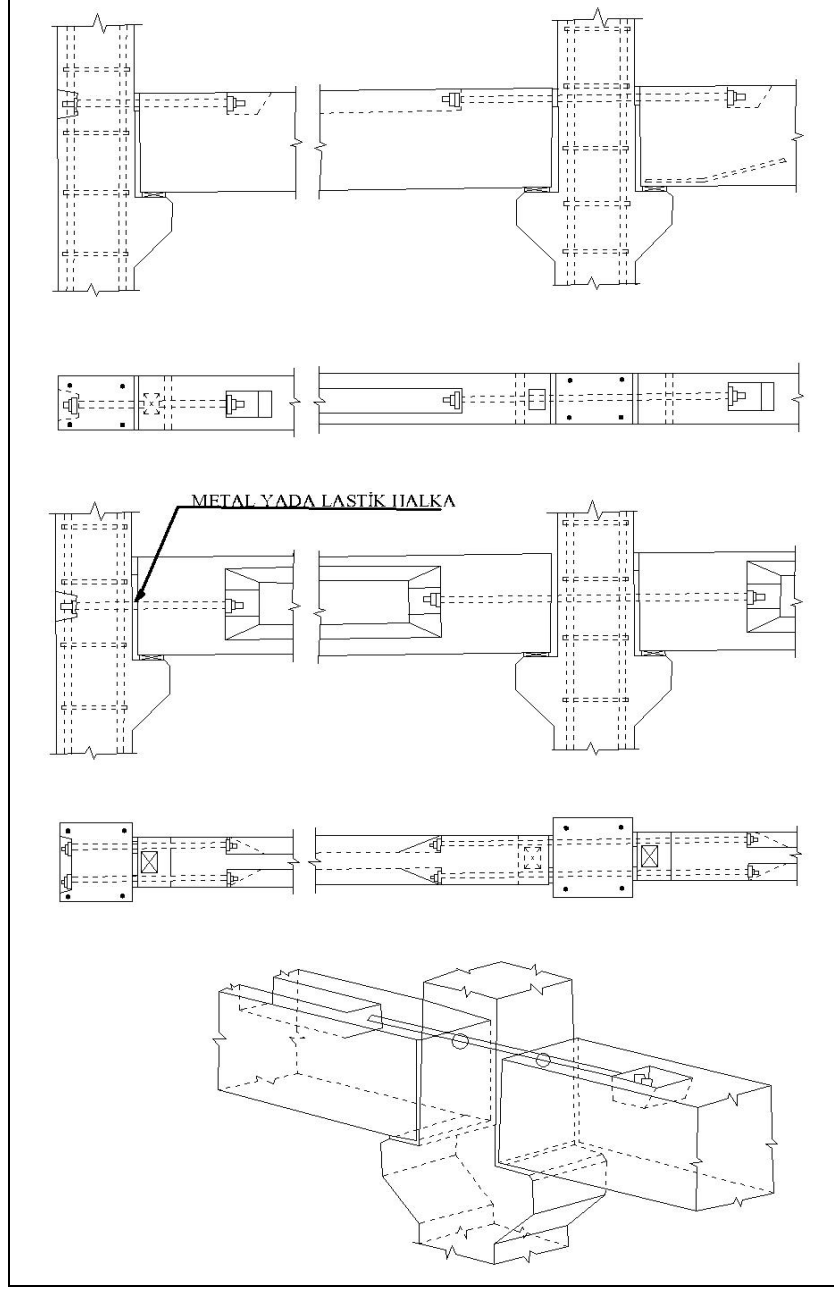
Şekil 68. Oturmalı kaynaklı kolon-kiriş birleşimleri [14]

Şekil 69'da önerilmeli kolon-kiriş birleşimleri görülmektedir. Bu tür birleşimlerin kesme kuvveti, normal kuvvet ve moment taşıma kapasiteleri yüksektir. Ayrıca şekil ve performansları monolitik yapıya yakındır [14].



Şekil 69. Öngerilmeli kolon-kiriş birleşimleri [14]

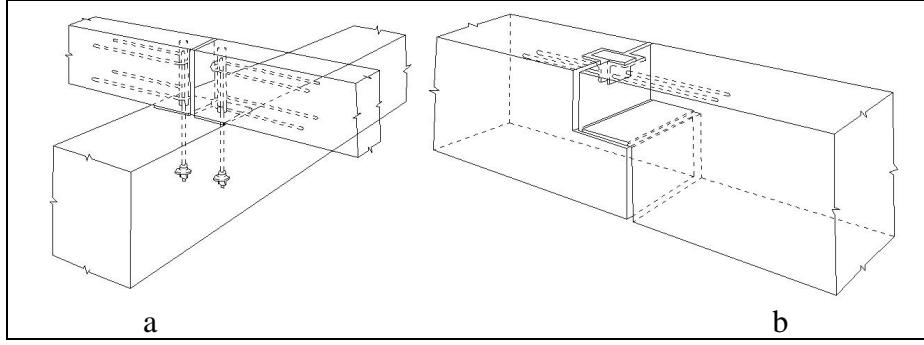
Şekil 70’de bağ çubukları ile yapılan kolon-kiriş birleşimleri görülmektedir. Bu tür birleşimlerin kesme ve moment aktarma kapasiteleri yüksektir.



Şekil 70. Bağ çubukları ile yapılan kolon-kiriş birleşimleri [14]

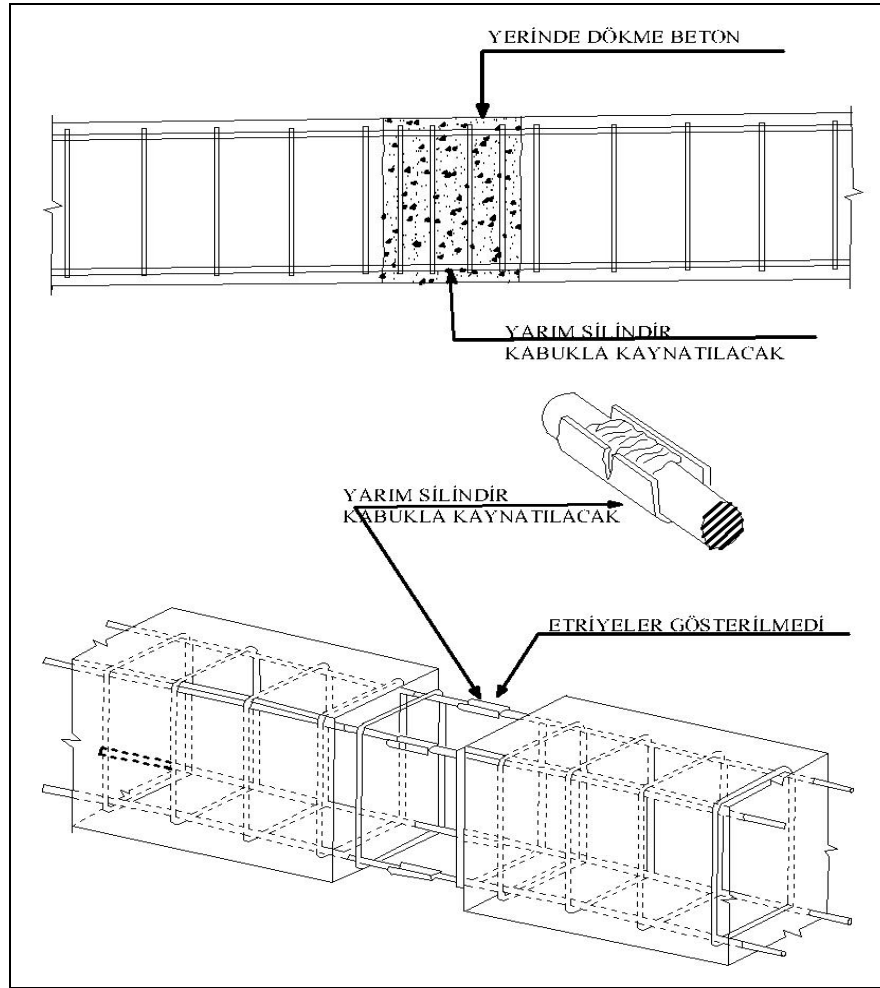
### 1.7.3.5. Kiriş-Kiriş Birleşim Detayları

Şekil 71a'da geçmeli oturmali birleşim, Şekil 71b'de inceltmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimleri görülmektedir. Her iki birleşimin de tolerans problemleri azdır.



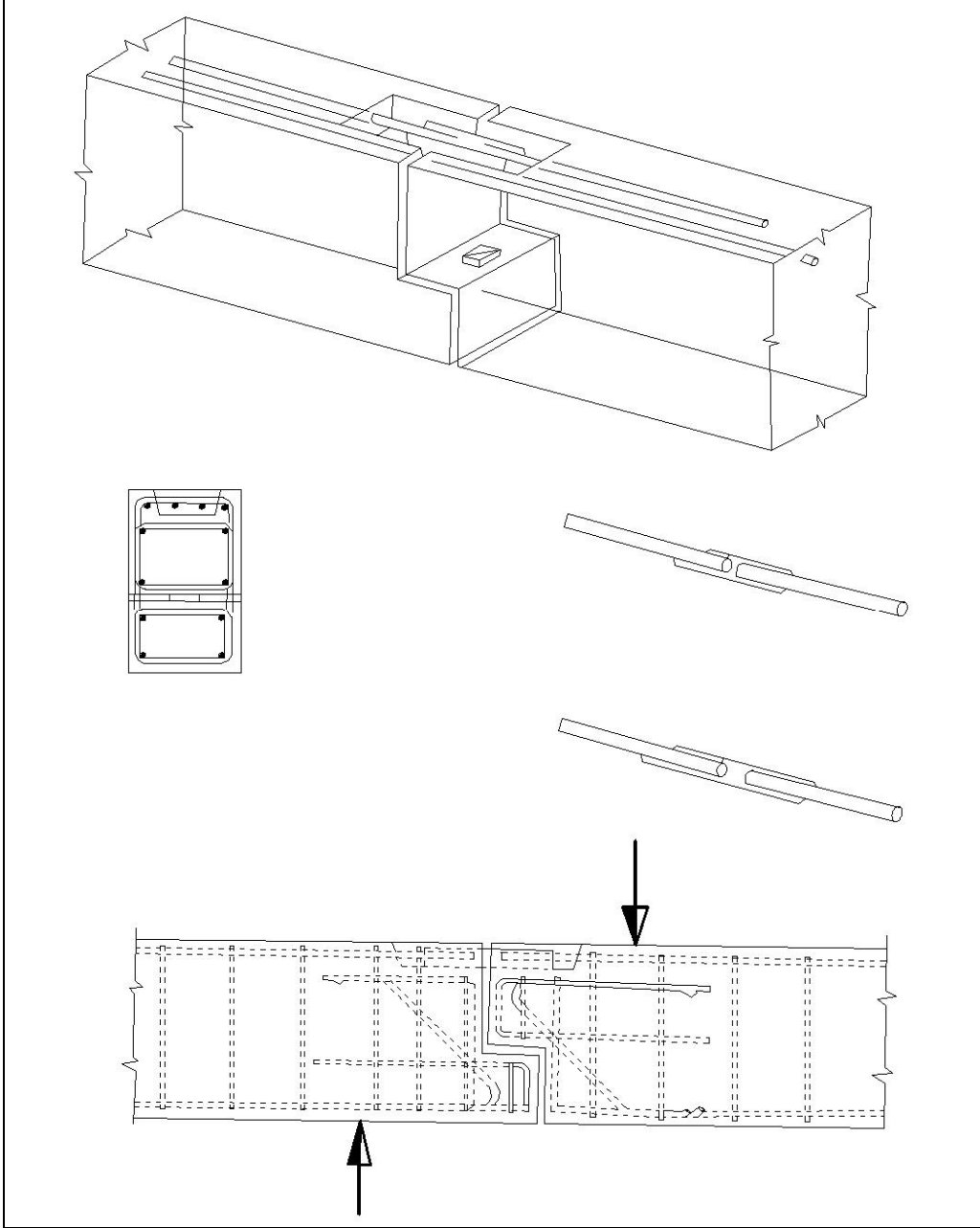
Şekil 71. İnceltmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimleri [14]

Şekil 72’de ıslak birleşimli kiriş-kiriş bağlantısı görülmektedir. Bu tür bağlantılar moment, kesme ve normal kuvvet artırabilir, tolerans problemleri ise azdır. Uygulanırken yerinde beton dökülmesi gerekmektedir



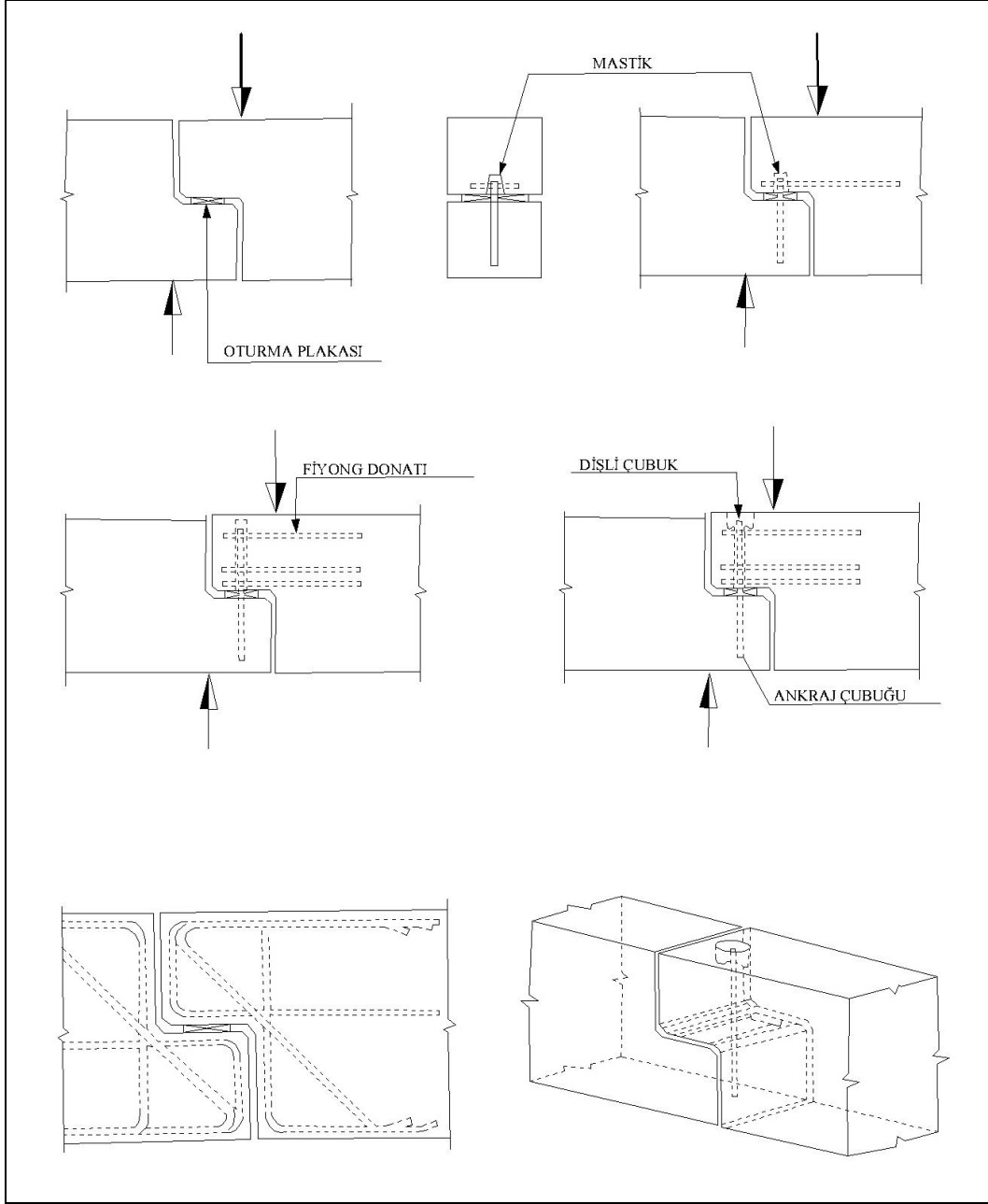
Şekil 72. Islak birleşimli kiriş-kiriş birleşimi [14]

Şekil 73 ve 74’de başka tip inceltilmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimleri görülmektedir. Bu tür birleşimler negatif moment taşıyabilirler.



Şekil 73. İnceltilmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimi [14]

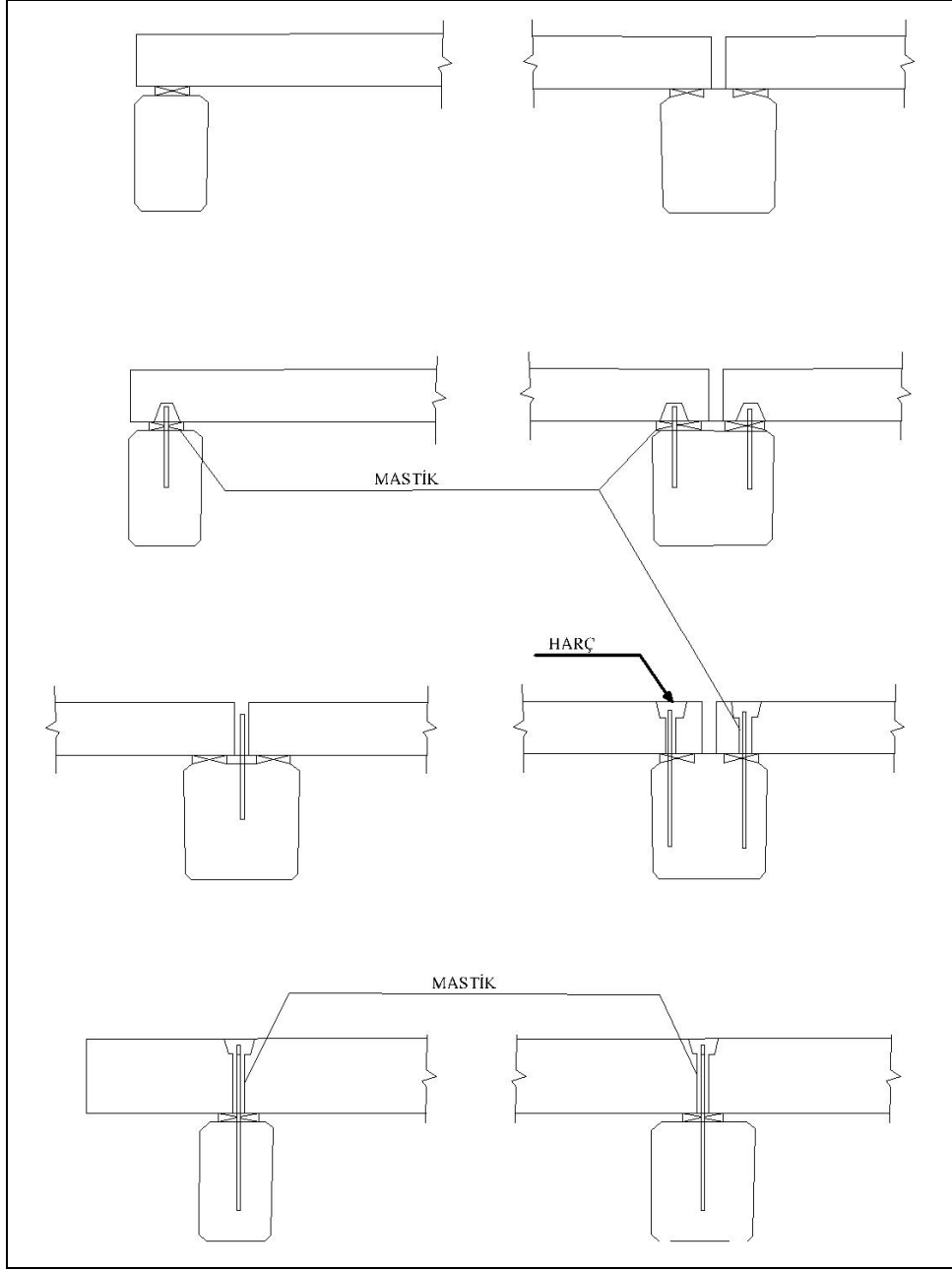




Şekil 74. İnceltmiş uçlu kiriş-kiriş birleşimi [14]

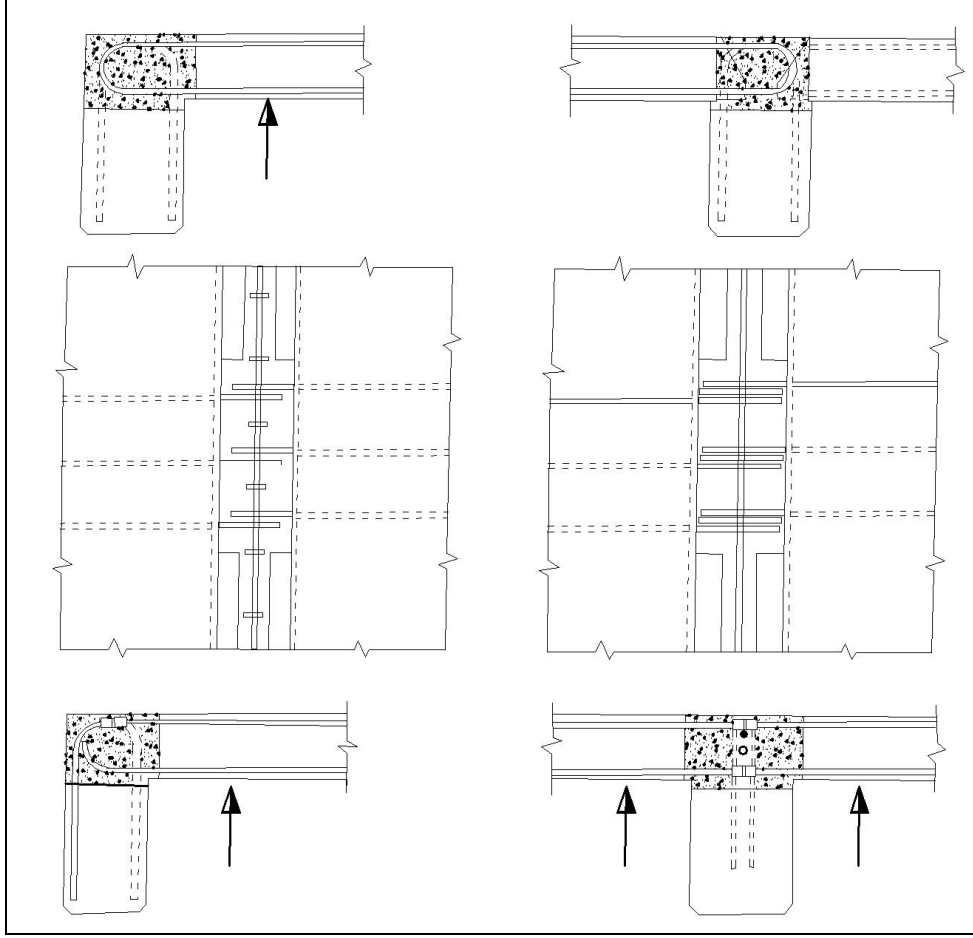
### 1.7.3.6. Kiriş-Plak Birleşim Detayları

Bu tür birleşimler, kirişlerin üzerine basit mesnetli oturan kiriş-plak birleşimi, fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı yerinde dökme kiriş-plak birleşimi, moment aktaramayan kiriş-plak birleşimi olmak üzere üç çeşittir.



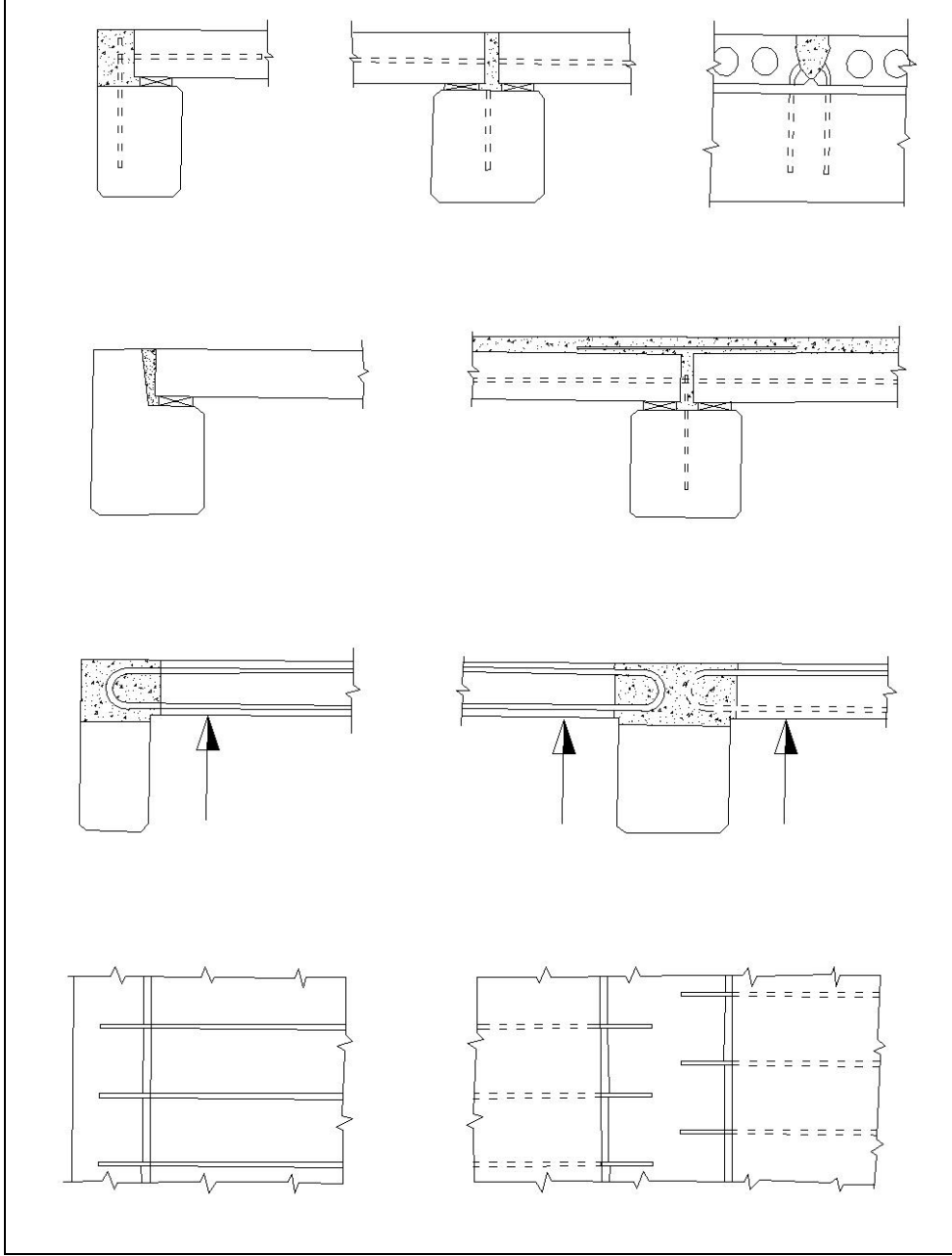
Şekil 75. Kirişlerin üzerine basit mesnetli oturan kiriş-plak birleşimi [14]

Şekil 76'da fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı yerinde dökme kiriş-plak birleşimi görülmektedir. Bu tür birleşimlerin montaj sırasında plakların geçici olarak mesnetlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 76. Fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı yerinde dökme kiriş-plak birleşimi [14]

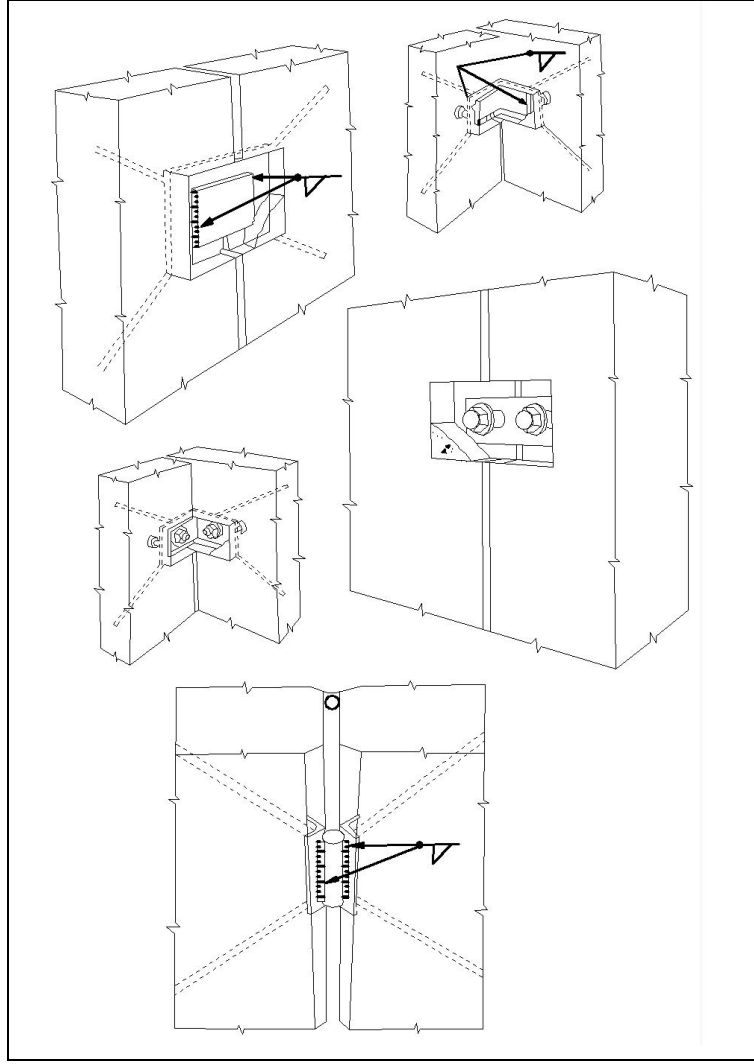
Şekil 77’de moment aktaramayan kiriş-plak birleşimi görülmektedir. Bu tür birleşimler plağın stabiliteye katkısının gerekmediği yerlerde kullanılır.



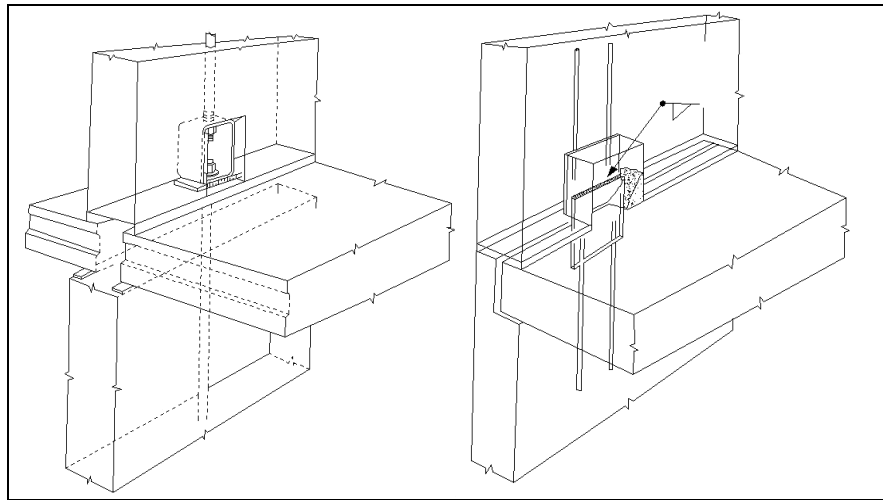
Şekil 77. Moment aktaramayan kiriş-plak birleşimi [14]

### 1.7.3.7. Duvar-Duvar Birleşim Detayları

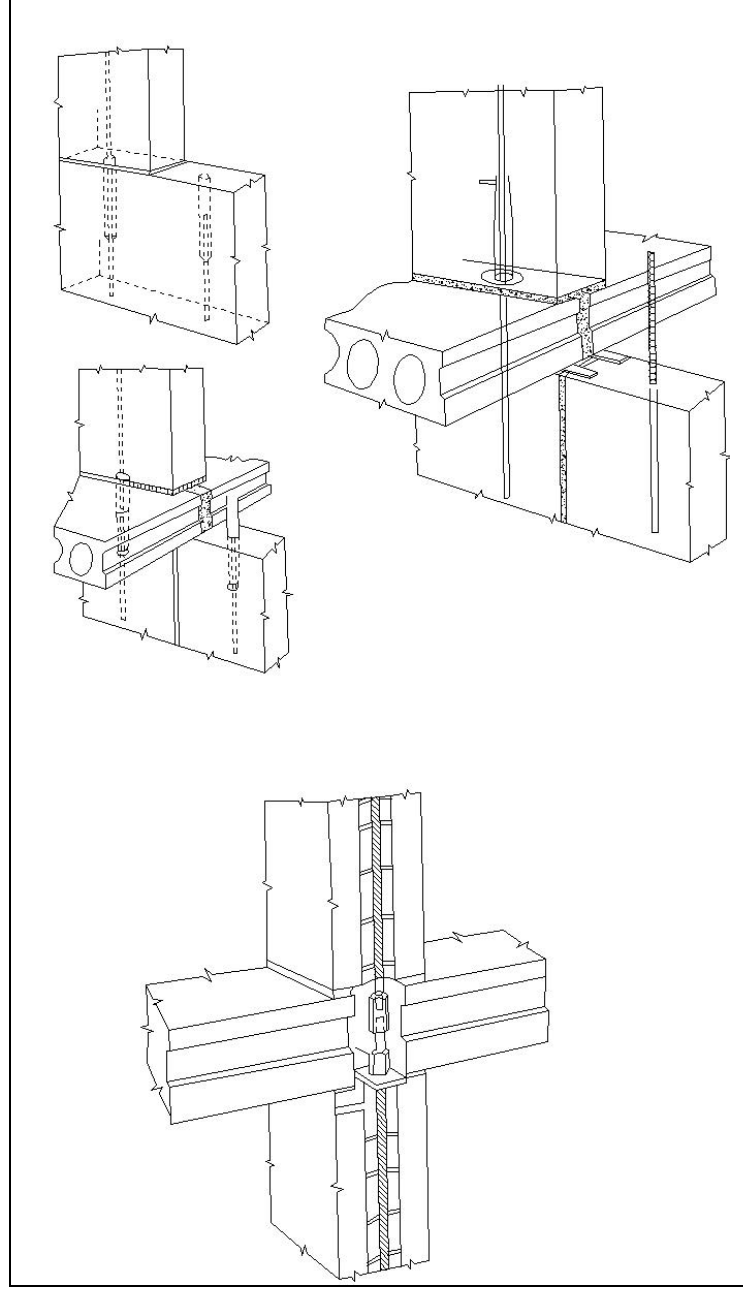
Duvar-duvar birleşimleri, kaynaklı ve bulonlu (Şekil 78, 79), geçmeli ve songermeli (Şekil 80) duvar-duvar birleşimleri olmak üzere iki çeşittir.



Şekil 78. Kaynaklı ve bulonlu duvar-duvar birleşimleri [14]



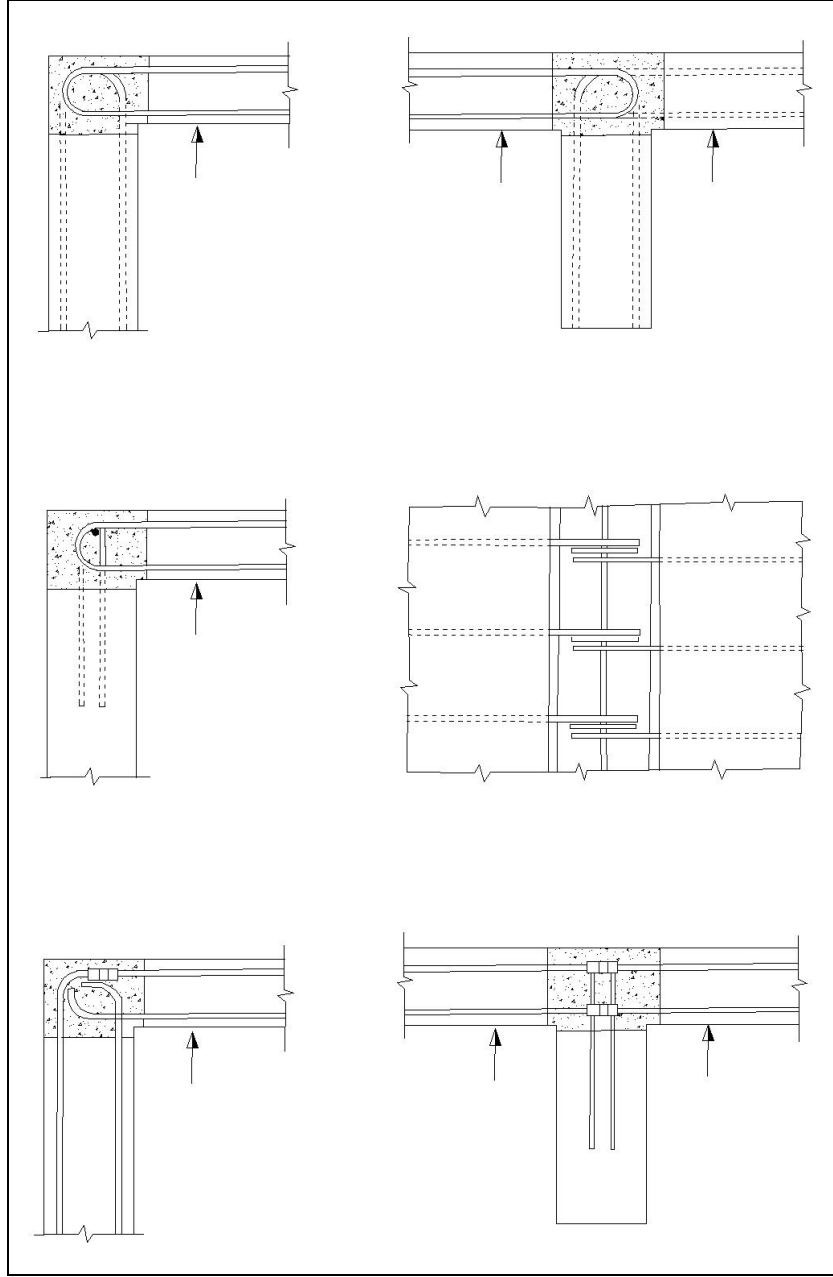
Şekil 79. Kaynaklı ve bulonlu duvar-duvar birleşimleri [14]



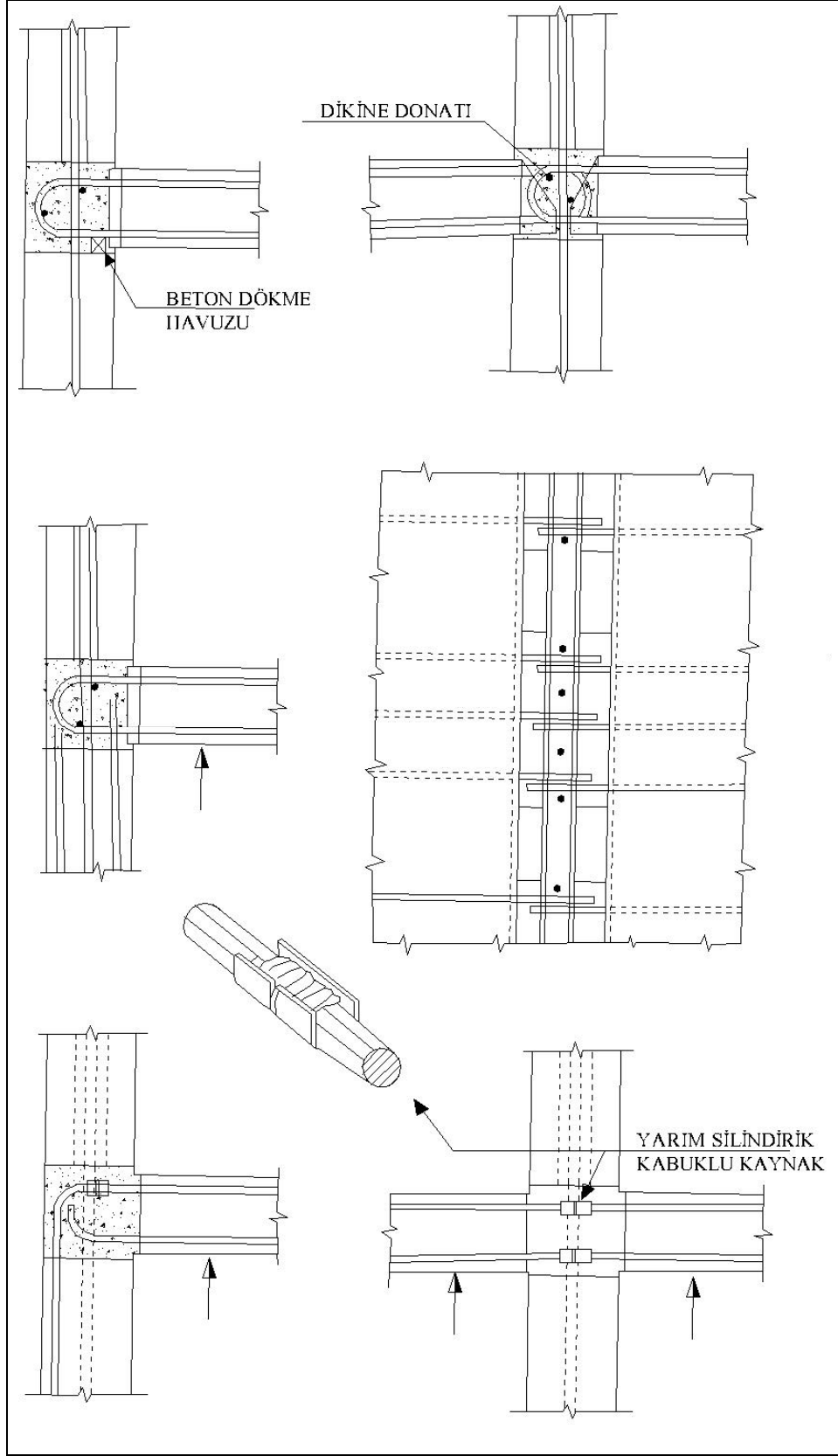
Şekil 80. Geçmeli ve songermeli duvar-duvar birleşimleri [14]

### 1.7.3.8. Duvar-Plak Birleşim Detayları

Şekil 81 ve Şekil 82’de yerinde dökme fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı, basit mesnetli duvar-plak birleşimi görülmektedir. Bu tür birleşimlerin döşeme montajı yapılırken geçici mesnet kullanılması gerekmektedir. Ayrıca bu birleşimler moment, kesme ve normal kuvvet aktarabilir.

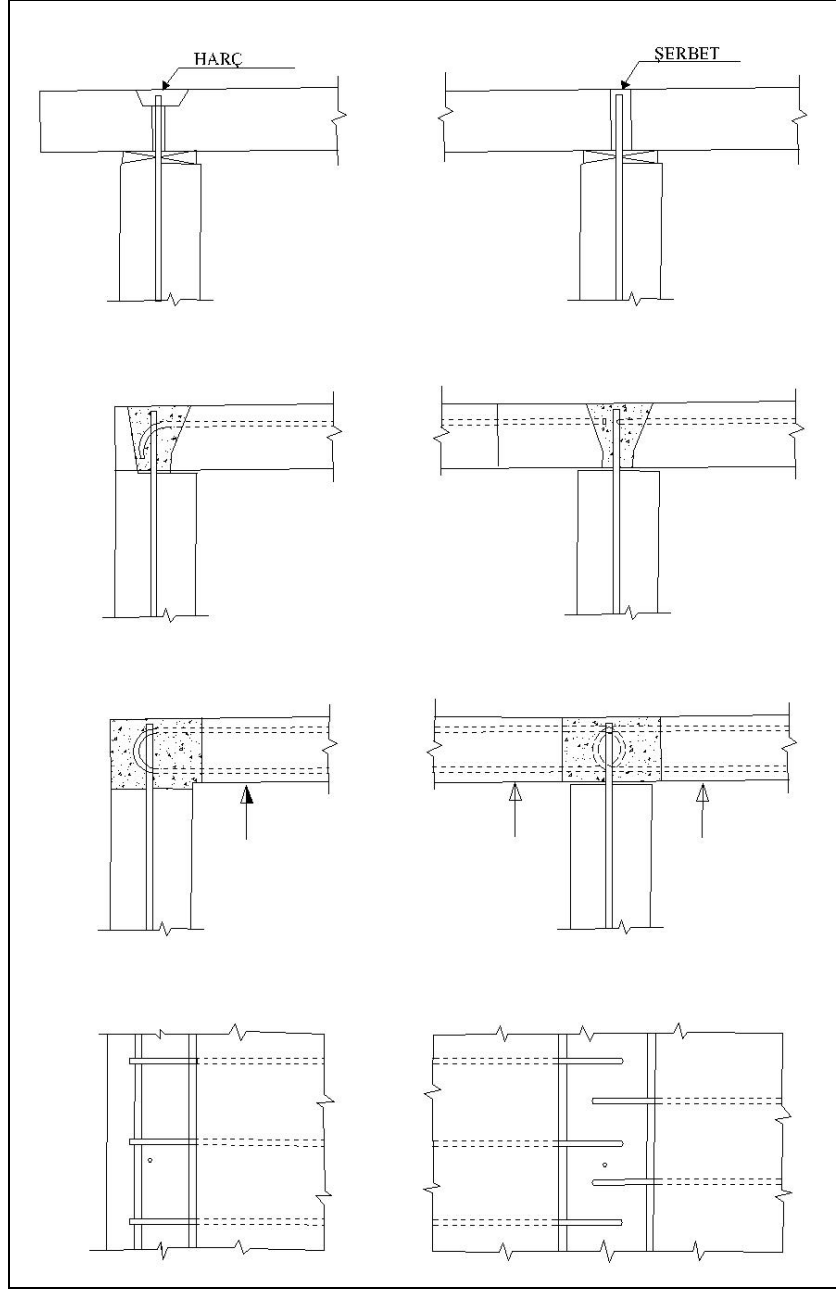


Şekil 81. Yerinde dökme fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı duvar-plak birleşimi [14]



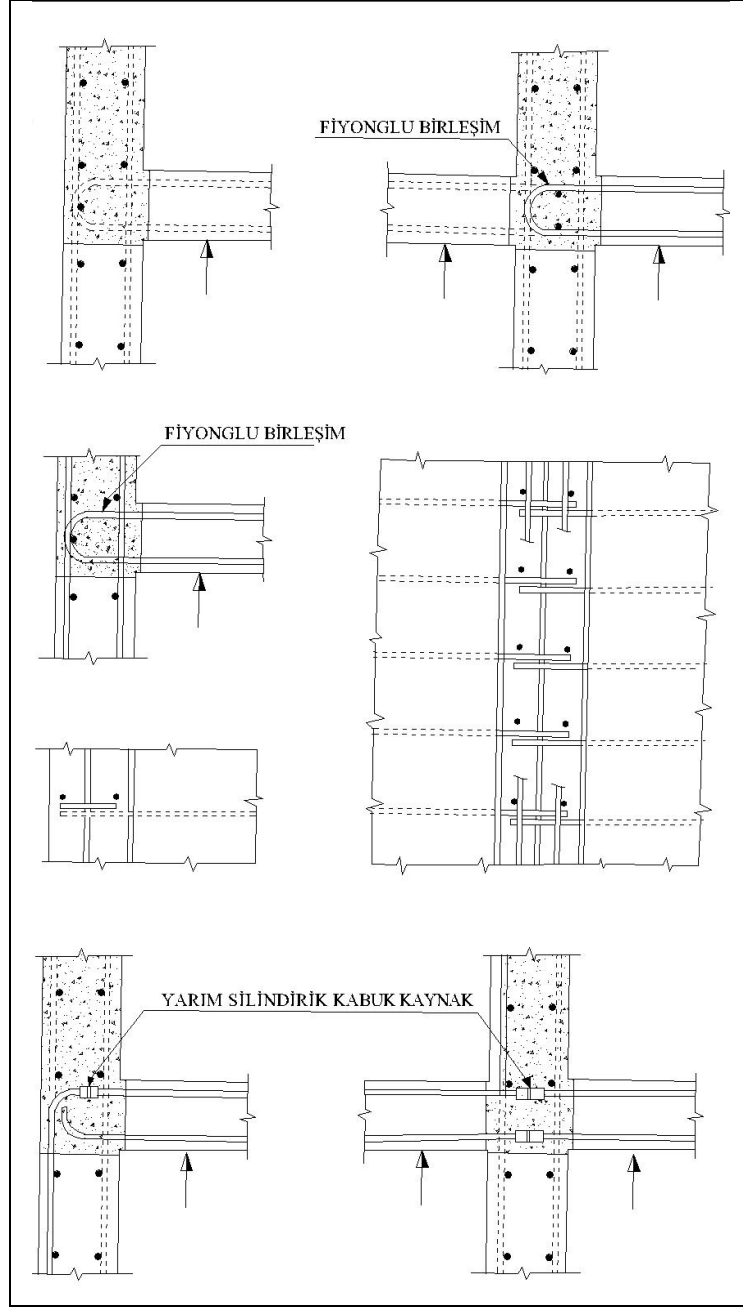
Şekil 82. Yerinde dökme fiyong donatılı veya kaynaklı donatılı duvar-plak birleşimi [14]





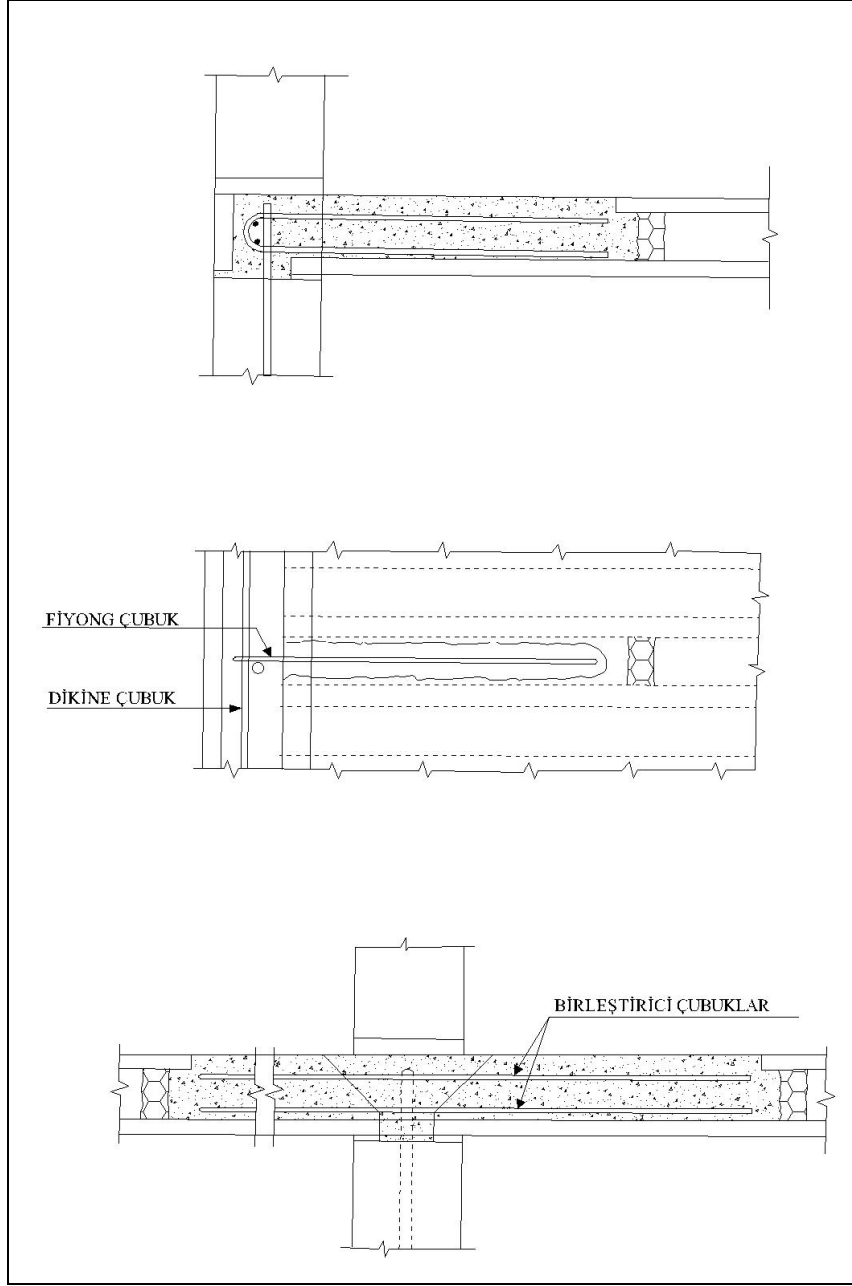
Şekil 83. Basit mesnetli duvar-plak birleşimi [14]

Yerinde dökme duvar elemanı ile prefabrike döşeme elemanı birleşim örneği Şekil 84'de gösterilmektedir. Bu tür birleşimler, moment, kesme ve normal kuvvet aktarabilmektedir.



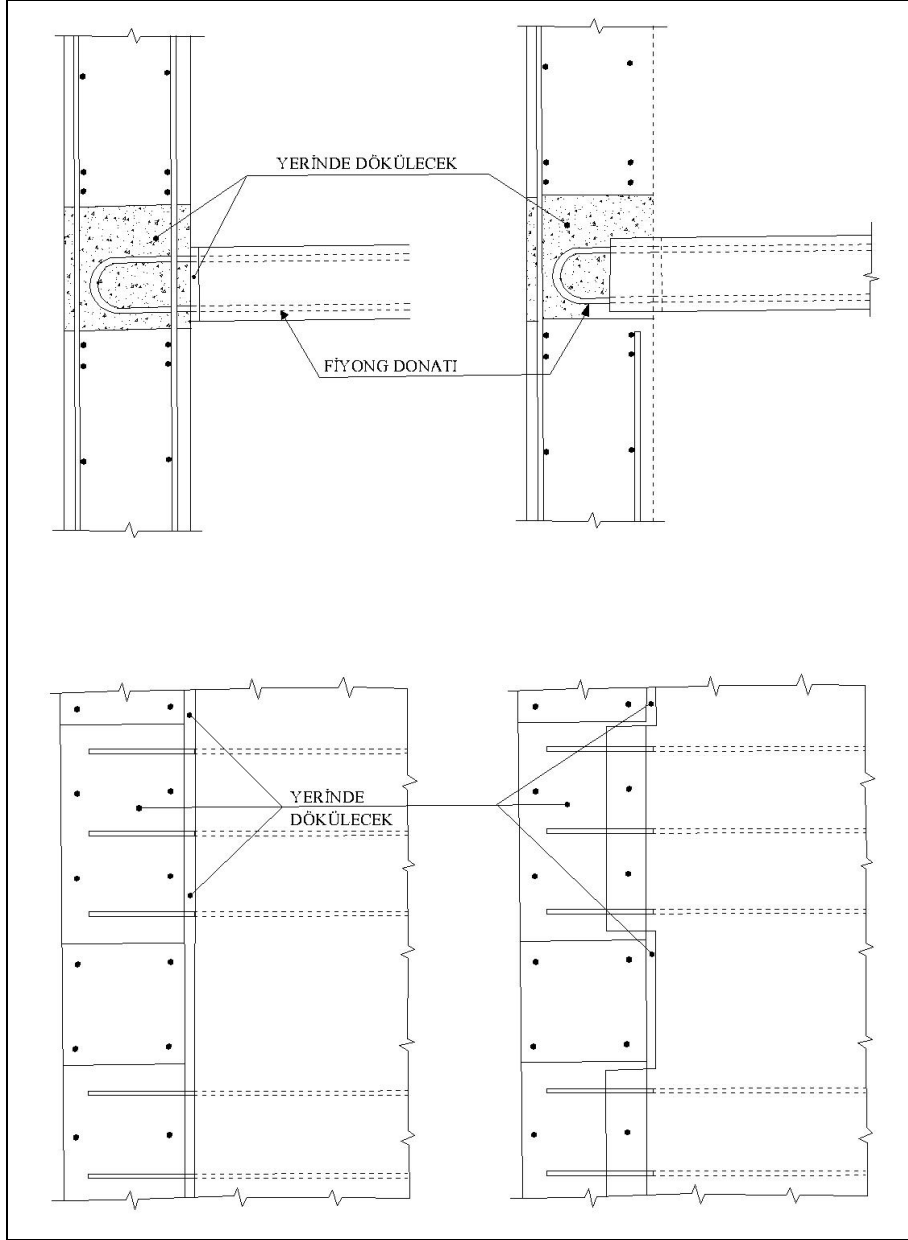
Şekil 84. Yerde dökme duvar elemanı ile prefabrike döşeme elemanı birleşimi [14]

Boşluklu döşeme-duvar birleşimine ait bir örnek Şekil 85’de verilmektedir. Bu tür birleşimler geçici mesnet gerektirmemektedir. Birleşim, yer yer boşluklu döşemenin boşlukları kırılarak içine donatı yerleştirilip, beton dökülerek oluşturulmaktadır. [14]



Şekil 85. Boşluklu döşeme-duvar birleşimi [14]

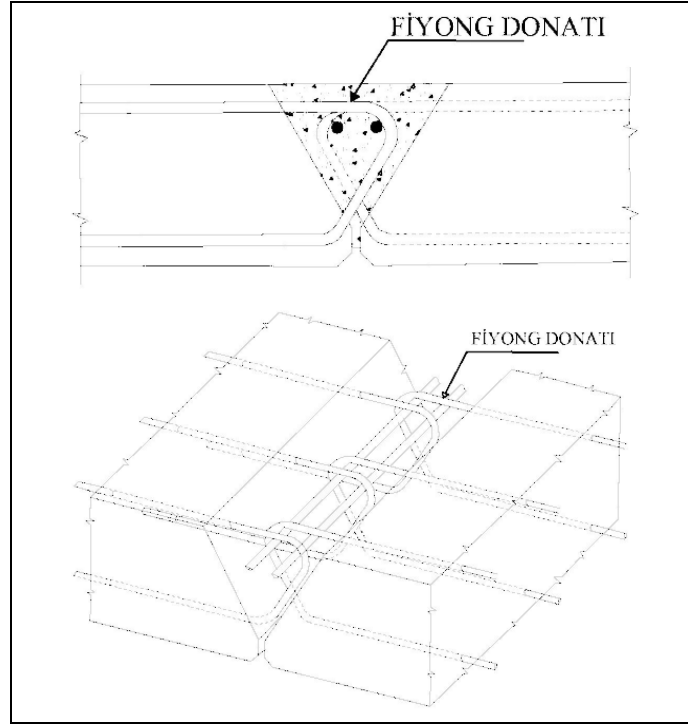
Önceden dökülen duvarlara prefabrike döşeme elemanının birleşimiyle oluşturulan birleşim örneği Şekil 86'da verilmektedir. Bu tür birleşimler, yerinde önceden dökülen duvarlara prefabrike döşeme elemanının fiyong donatıları sokulup, betonlanarak oluşturulmaktadır [14]



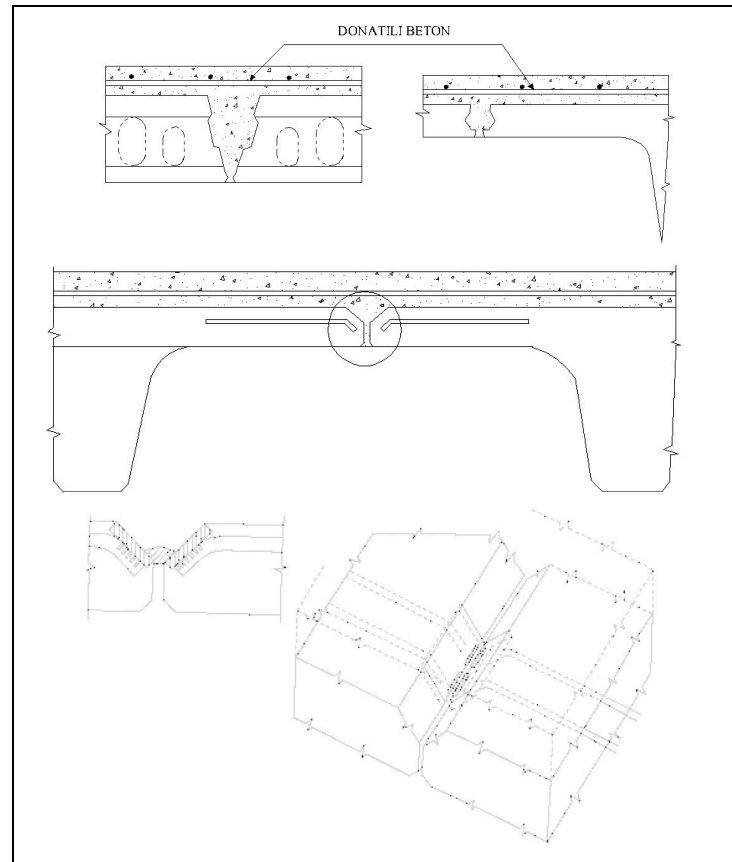
Şekil 86. Önceden dökülen duvarlara prefabrike döşeme elemanının birleşimi  
[14]

### 1.7.3.9. Plak-Plak Birleşim Detayları

Donatılı üst betonsuz fiyonglu ve üst betonu olan plak-plak birleşimi örnekleri Şekil 87, 88'de verilmektedir.

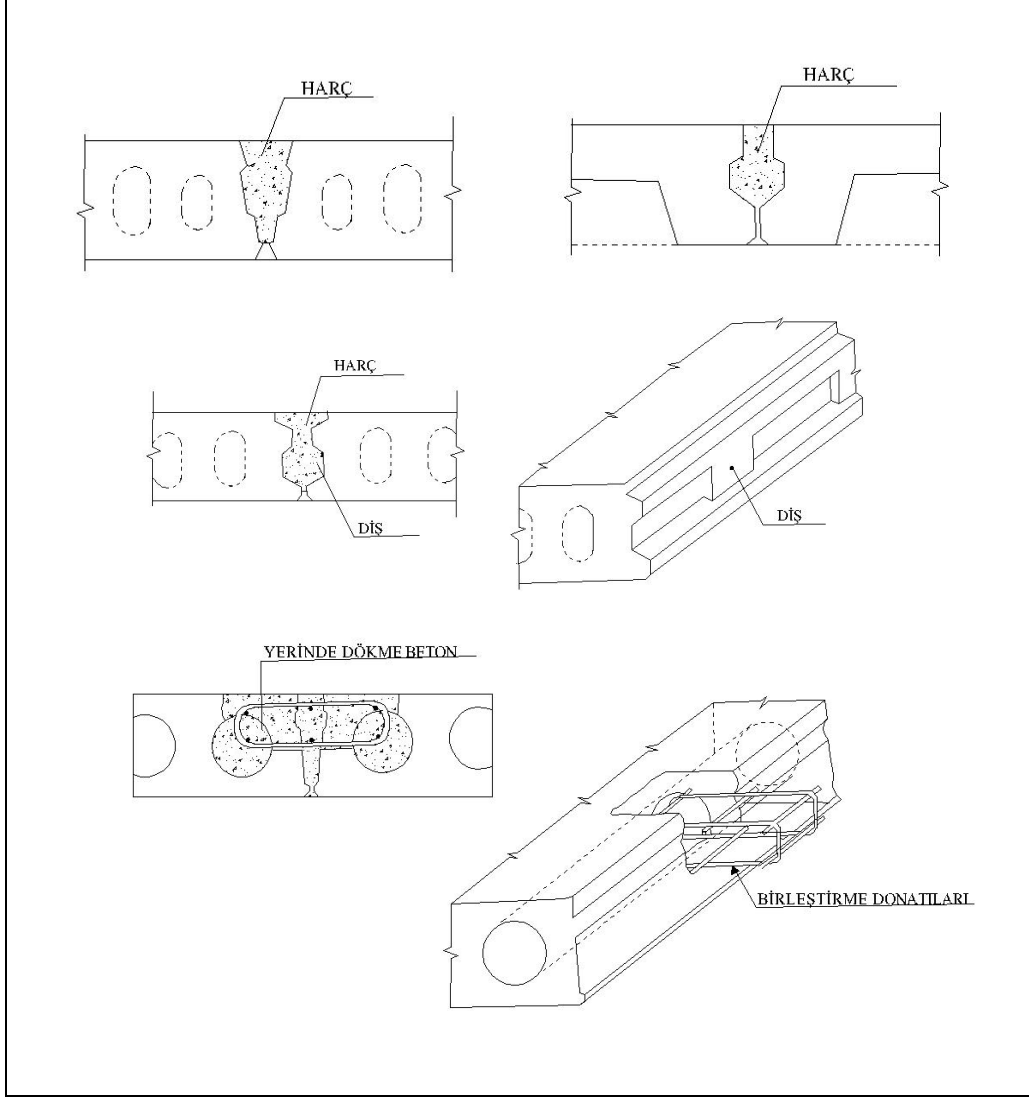


Şekil 87. Donatılı üst betonsuz fiyonglu plak-plak birleşimi [14]



Şekil 88. Donatılı üst betonu olan plak-plak birleşimi [14]

Şekil 89’da boşluklu döşemeli plak-plak birleşim örneği verilmektedir. Bu tür birleşimler kesme kuvveti aktarmak söz konusu olunca kullanılmaktadır.



Şekil 89. Boşluklu döşemeli plak-plak birleşimleri [14]

## 1.8. Depremlerde Prefabrike Yapılarda Oluşan Hasarların Nedenleri ve Çözüm Önerileri

### 1.8.1. 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapılarda oluşan Yapısal Hasarlar

#### 1.8.1.1. Depremle İlgili Genel Bilgiler

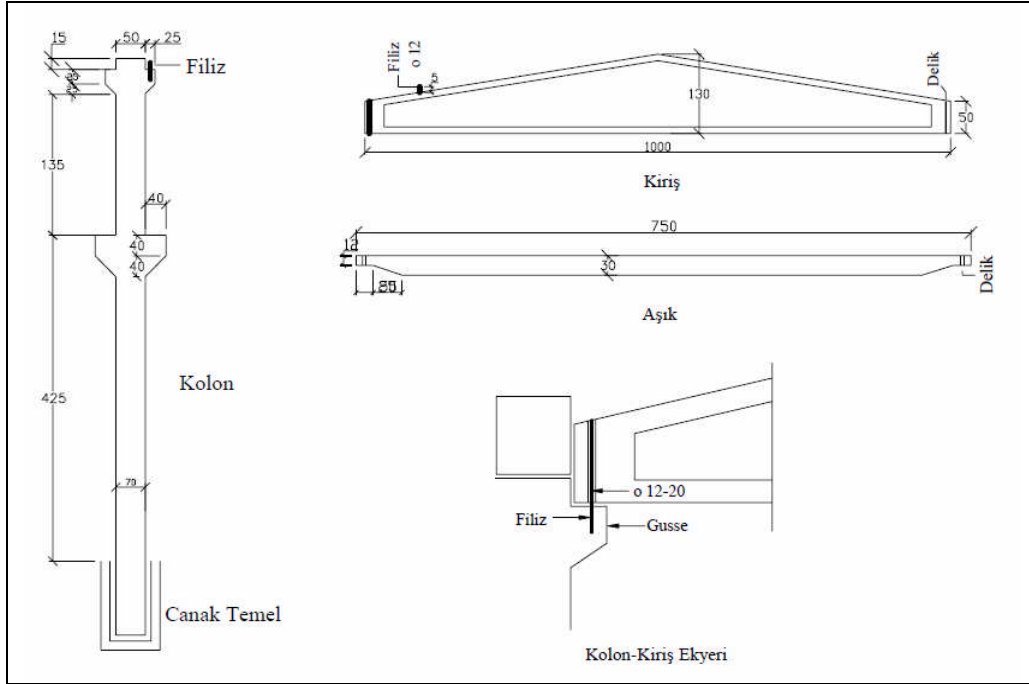
27 Haziran 1998 saat 17.00'de olan 5.9 Magnitüdü depremin yapısal hasarı yeni ve daha önceden gözlenmiş yapısal hasar bileşenlerinden oluşmaktadır. Deprem özellikle o bölgede bulunan birçok tek katlı prefabrike fabrika binaları etkiyerek, deprem performansının yeniden gözden geçirilmesi gerektiğini göstermiştir [21].

Özellikle Adana Organize Sanayi Bölgesinde çok sayıda prefabrike fabrika binasında ağır hasar ve yıkım görülmüştür. Ceyhan Bölgesinde bir prefabrike fabrika binası, inşa halinde bir prefabrike çerçevenin bütün kiriş ve aşıkları kolonlardan düşerek yıkılmıştır (Şekil 90) [21].



Şekil 90. Prefabrike çerçeveli yapı sistemde çatı kirişlerinin yıkılması [21]

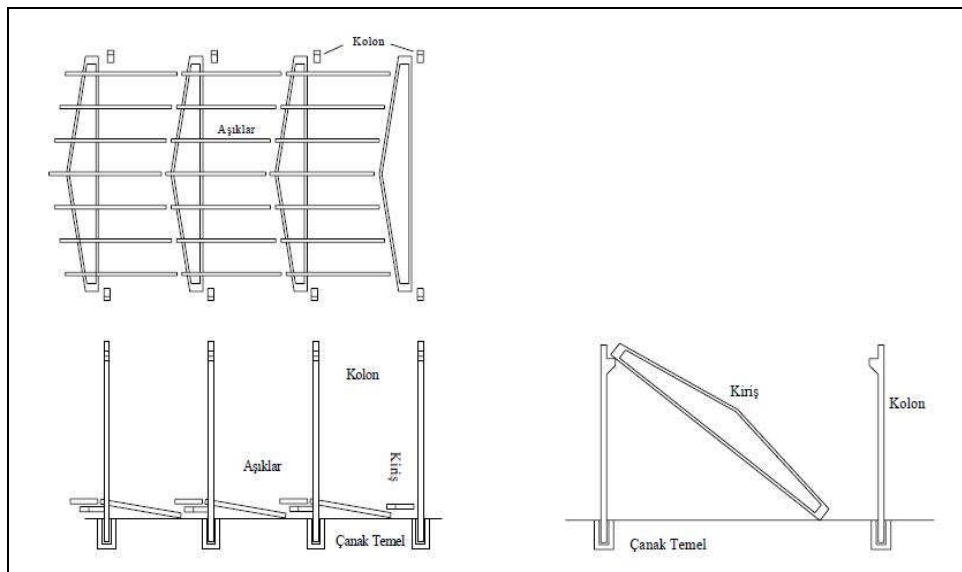
Şekil 91'de bu prefabrike sistemin ayrıntıları verilmektedir. Bu sistemde kolonlarla kirişler arasındaki bağlantı bu sistemde moment aktarmayan "mafsallı" bağlantıdır. Kolonlar, sandık temele oturmuş ve 35x70 cm kesite sahiptirler. Yaklaşık 10.00 metre açıklıktaki kirişler kolonların tepesindeki 25 cm derinlikte ve 35 cm genişlikte bir gusseye oturtulmuştur. Bu gussedenden çıkan boyları kirişteki deliğin dışına çıkacak kadar uzun olmayan  $\emptyset 12$  ya da  $\emptyset 20$  mm çapında iki kama demiri, çatı kirişinin uçlarındaki iki deliğe geçirilmiştir. Bu delikler daha sonradan betonlanmıştır [21].



Şekil 91. Yıkılan Prefabrike Çerçeve Sistemin Ayrıntıları [21]

### 1.8.1.2. Adana-Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapılarda Oluşan Hasarlar

27 Haziran 1998 Depreminde Adana Organize Sanayi Bölgesinde ve Ceyhan yakınlarında bu prefabrike yapı sistemi ile yapılmış çok sayıda yapıda, iki türlü hasar oluştuğu görülmüştür (Şekil 92).



Şekil 92. Prefabrike çerçevesel yapıların yıkılma biçimleri [22]



Birinci tür hasar çatı kirişinin yana devrilerek mesnetten düşmesidir. Bu sırada kiriş üzerindeki gusseden çıkan ve kirişin ucundaki betonlanmış delikten geçen donatılar bükülmüş, delikten çıkmış ve devrilen kiriş yere düşmüştür. Kiriş devrilirken üzerine oturan aşıklar, kirişlerden çıkan ve aşıkların uçlarındaki deliklerden geçen 5-6 cm uzunluğundaki demirlerden kurtularak yere düşmüştür. Bu arada kirişlerin düşmesiyle birlikte pek çok yapıda kirişlerin oturduğu konsolun kenarlarında betonda ezilmeler görülmektedir. Bu hasar tipi prefabrike sistemin üçgen kirişlerinin yeterli yanal bağlantısının olmadığını göstermektedir.

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

Üçgen kirişlerden çıkan ve aşıkların uçlarındaki deliklerden geçen filizlerin boyları 5-6 cm kadar kısa filizlerin, yeterli gerilmeleri betona aktarması güçtür. Ayrıca kiriş ve aşığın yüksek dayanımlı ve fabrikada kür edilmiş betonları ile deliklere şantiyede konulan betonun dayanımları birbirinden farklı ve birbirlerine kaynaşması da güç olması nedeniyle de aderans sorunları oluşmaktadır.

Gözlenen hasarlar, bu çerçeve sistemli prefabrike yapıların deprem açısından yetersiz olduğunu göstermiştir. Bu çerçeve sistemi ile yapılmış çok sayıda prefabrike fabrika yapısı çok sayıda organize sanayi bölgelerinde yayılmaktadır [22].

## **1.8.2. 17 Ağustos Marmara Depreminde Prefabrike Yapılarda Oluşan Yapısal Hasarlar**

### **1.8.2.1. Depremle İlgili Genel Bilgiler**

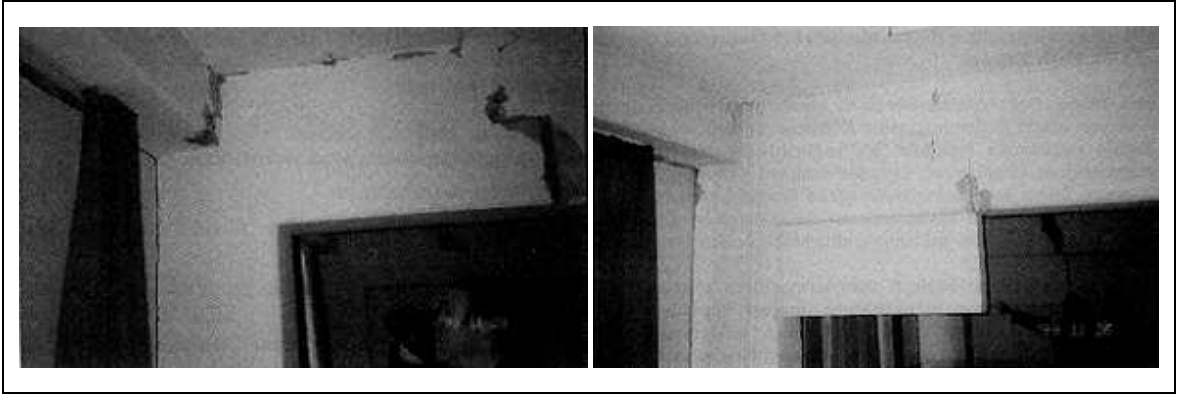
Türkiye’de prefabrike endüstriyel yapılarda ciddi bir çapta hasar oluşturan ikinci büyük deprem 17 Ağustos Marmara depremidir. Bu deprem ülkemizin en büyük sanayi şehirleri etkilediğinden dolayı, prefabrike yapılarda ağır hasarlar meydana gelmiştir. En çok etkilenen ilin Sakarya’nın olduğunu söylemek mümkündür. Buda bölgede bulunan sanayicilerin prefabrike sanayi yapılarına güvenini sarsmıştır.

### 1.8.2.2. Marmara Depreminde Prefabrike Yapılarda Oluşan Hasarlar

Marmara, Düzce, Bolu bölgelerinde prefabrike panellerden oluşan çok katlı yapılar, moment aktaran bağlantılara sahip prefabrike çerçevelerden oluşan çok katlı yapılar ve tek katlı, mafsallı prefabrike çerçevelerden oluşan endüstri yapıları olmak üzere üç çeşit prefabrike yapı sisteminden yararlanılmıştır.

Prefabrike panellerden oluşan çok katlı yapılar, işyeri ve konut olarak inşa edilmiştir. Çevrede göçmüş veya ağır hasarlı yapılara rastlanılmasına rağmen, bu prefabrike konutlarda herhangi bir yapısal hasar görülmemiştir. Bu yapının sağlıklı davranmasında panellerin yeterli perde alanını sağlaması etkili olmuştur.

Moment aktarabilen bağlantılara sahip prefabrike çerçevelerden oluşan çok katlı yapılar genelde işyeri ve yurt olarak kullanılmaktadır. Bu tür yapılarda herhangi bir göçme ve ağır hasarlara rastlanmamıştır. Ancak kolon-kiriş birleşiminde alt donatısının sürekliliğinin sağlanmaması veya yetersiz kalması, ankrajlarının yetersiz kalması, üstte kiriş donatısının kolondan çıkan filizlere bindirmeli olarak eklenmesinin yetersiz kalmış olması nedeniyle kolon-kiriş bağlantılarında hafif hasar oluşmuştur (Şekil 93) [23].



Şekil 93. Moment Aktarabilen Bağlantılara Sahip Prefabrike Çerçevelerden Oluşan Çok Katlı Yurt Binasında Oluşan Hafif Hasarlar [23]

Tek katlı, mafsallı prefabrike çerçevelerden oluşan endüstri yapıları bölgede yaygın olarak kullanılan yapı türüdür. Bu tür yapılarda mafsal bağlantısı, tek veya çift pimlerle sağlanmıştır (Şekil 94).



Şekil 94. Pimli bağlantı

Tek katlı, mafsal bağlantılı prefabrike çerçevelerde rastlanan yaygın hasar türleri:

1- Birçok binada kolonlar ayakta kalmış kirişlerin tümü yere düşmüştür (Şekil 95).



Şekil 95. Kolonların ayakta kaldığı, kirişlerin tümünün yere düştüğü yapı

2- Bazı binalarda yerel göçme oluşmuş ve kirişlerden bazıları düşmüştür (Şekil 96).



Şekil 96. Kirişlerin ayakta kalması bazılarının yere düştüğü yapı

3- Bazı binalarda kirişler yerinde kalmış, ancak kolon tabanında plastik mafsallaşma olmuştur (Şekil 97).



Şekil 97. Kolon tabanındaki mafsallaşma

4- Bazı kolonların orta noktalarında hasarlar oluşmuştur (Şekil 98).



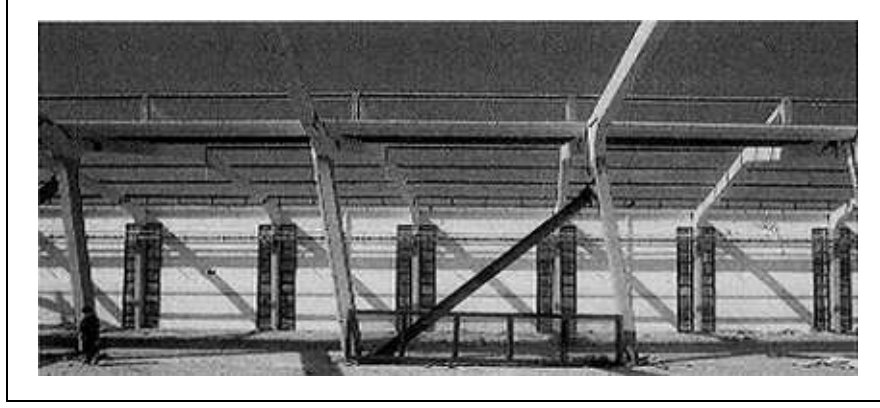
Şekil 98. Prefabrike kolon ortasında hasar

5- Bazı binalarda, özellikle trapez kirişlerin kullanıldığı binalarda kirişlerde dönme oluşmuştur (Şekil 99).



Şekil 99. Kolon alt kesiminde dönme

6- Bazı binaların kolonlarında büyük yanıl ötelenmeler oluşmuştur (Şekil 100).



Şekil 100. Kolonlarda büyük yanal ötelenme [23]

7- Bazı orta kolonları başlıklarının yanal ötelemeler sonucu yere düşmüştür (Şekil 101) [24, 25, 26].



Şekil 101. Kolon başlıklarının yere düşmesi

### 1.8.3. Depremlerde Prefabrike Yapılarda Oluşan Hasarların Nedenleri

Hasar gören mafsallı bağlantılı yapılar incelendiğinde,

1- Yapıların yanal rijitliği yetersizdir. Aşırı yanal ötelenme bağlantılarda aşırı zorlamalara yol açmış ve zaten yetersiz olan bağlantılar kırılarak kirişlerin düşmesine neden olmuştur.

2- Yapıların çatı düzeyinde bir diyafram bulunmamaktadır. Çatıda kirişleri birbirine bağlayan diyafram etkisinden yoksun olan aşıklardır. Diyaframın bulunmaması, her çerçevenin bağımsız davranmasına neden olmuştur.

3- Yapılarda çatı düzeyinde kirişleri birbirine bağlayan bir döşeme veya çaprazların olmaması nedeniyle, kirişlerin yanal stabilitesi sağlanamamıştır. Deprem etkisiyle kirişte oluşmaya başlayan dönmeyi önleyecek elemanlar olmadığından, kirişler serbestçe dönmüş ve mesnetteki pimleri zorlayarak onları kırmıştır.

4- Bazı binalarda kirişler konsolun tam ucuna oturtulmuş ve oluşan yanal ötelenmede bu kirişlerin düşmesi kaçınılmaz olmuştur. Özellikle kayar mesnet oluştururken yerlerde konsol boyu, oluşan yanal ötelenme için yetersiz kalmıştır.

5- Binaya sonradan eklenen ve önüretimli sisteme bağlanan yapılar davranışı olumsuz yönde etkilemiştir.

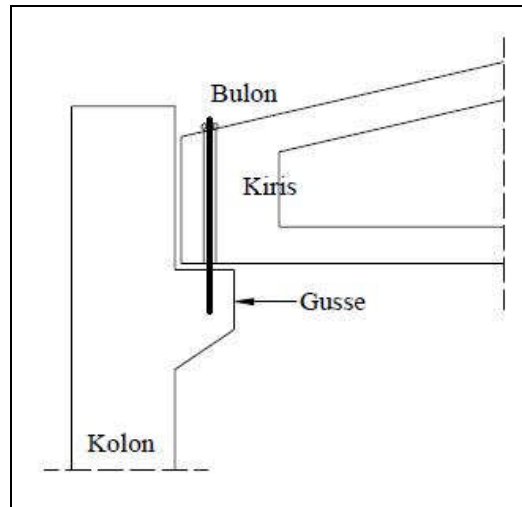
6- Mafsal bağlantıda kullanılan tek pimin, yanal ötelenme veya kiriş dönmesi sonucunda oluşan zorlamaları karşılaması mümkün olmamıştır. Çift pimli bağlantılar bunlara oranla daha iyi davran sergilemişlerdir.

7- Pimlerin kenetlenmesi yeterli olmamıştır.

8- Kolon konsolları, iyi detaylandırılmadığından yerel ezilme ve kırılmalar oluşmuştur [27].

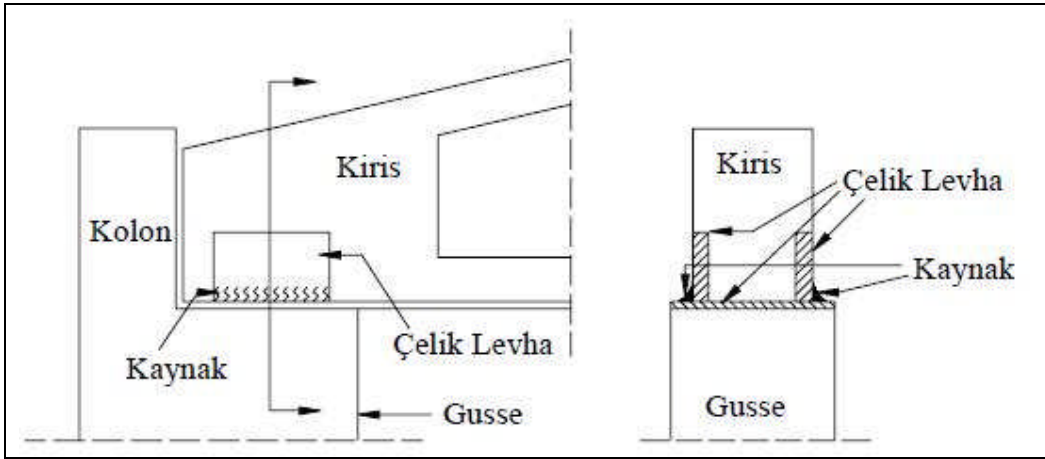
#### 1.8.4. Çözüm Önerileri

1-Kiriş ucundaki delikten geçen filiz demirlerinin uçlarında diş açılması ve buraya bulon takılarak sıkıştırılması (Şekil 102).



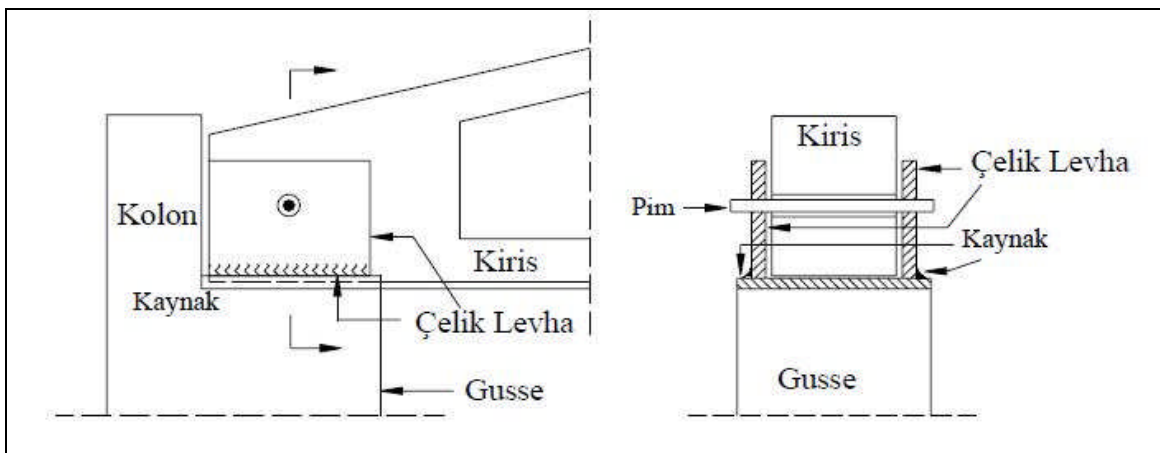
Şekil 102. Filizlerin uçlarının bulonlu yapılması

2- Kirişin yanına yerleştirilmiş çelik levhaların kolondaki konsola konulmuş çelik levhaya kaynaklanması (Şekil 103). Burada hem kirişteki hem de kolon konsolundaki levhalara kaynaklanmış ankraj donatıları kolon ve kiriş betonları içinde yeterli aderans boyutunda gömülmesi gerekmektedir.



Şekil 103. Kiriş yan levhalarının mesnet levhalarına kaynaklanması

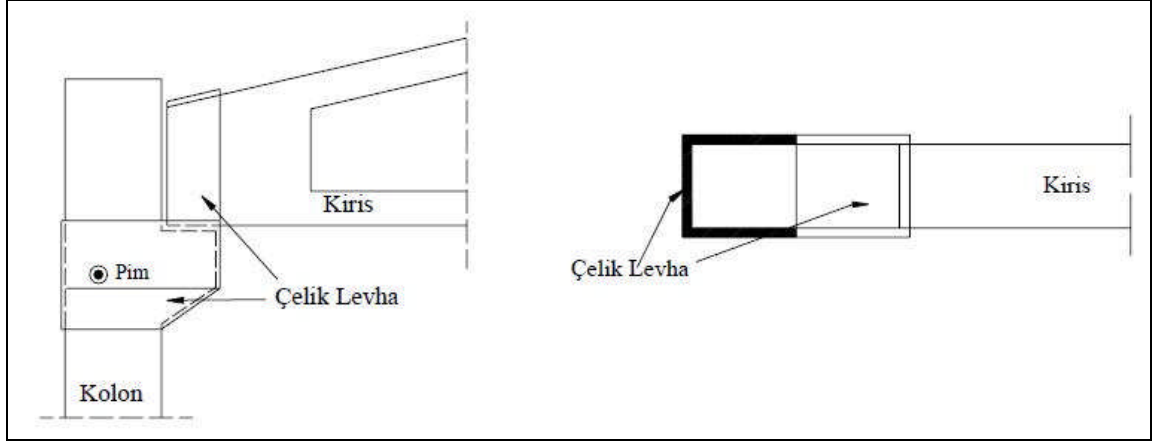
3-Bir diğer çözüm Şekil 104’de gösterildiği gibi kirişi çelik bir yuva içine alma ve bu kirişin ortasından bir pim geçirerek özellikle çelik köprü ayaklarındakine benzeyen klasik bir “mafsal” oluşturmaktır.



Şekil 104. Kirişin çelik bir levhaya oturması ve ortasından geçen bir pimle bağlanması

4- Şekil 105’de kirişin ucunu ve konsolu birbirine kaynaklı çelik levhalarla “sarma” yöntemidir [22].





Şekil 105. Kirişin mesnete oturduktan sonra kaynaklı levhalarla sarılması

### 1.8.5. Depremlerden Çıkarılan Sonuçlar ve Öneriler

1998 Ceyhan ve özellikle 1999 Marmara depreminde ön üretimli yapılarda gözlenen yaygın hasar ve göçmelerden şu sonuçlar çıkarılmaktadır:

1- Ön üretimli panellerden oluşan çok katlı yapılar depremde çok sağlıklı bir davranış sergilemiş ve hasar görmemiştir.

2- Moment aktarabilen bağlantılara sahip ön üretimli çerçevelerden oluşan çok katlı yapıların bazıları depremi hasarsız atlattı, bazılarında bağlantı bölgesinde hasar oluşmuştur. Hasar gören yapıların tümünde, geliştirilmemiş bağlantılar kullanılmıştır. Eğer geliştirilmiş bağlantılar kullanılsaydı, bu tür bir depremde büyük bir olasılıkla hasar oluşmayacaktı.

3- 1998 Ceyhan ve 1999 Marmara depreminde oran olarak en büyük hasar ve göçme, mafsal bağlantılı ön üretimli, tek katlı endüstri yapılarında oluşmuştur. Yukarıda açıklandığı gibi söz konusu hasar ve göçmeler seçilen sistemin deprem dayanımı açısından yetersiz olmasından ve detayların kusurlu olmasından kaynaklanmaktadır [23].

Sonuç olarak, prefabrike yapı sisteminin mevcut durumu ile şiddetli bir depremin getireceği yükler altında davranışının deneysel olarak belirlenmesi ve gerekli iyileştirme ayrıntılarının geliştirilmesi ve bu gelişmiş ve daha dayanıklı bir yapı olmasını sağlayacak ayrıntılarla da denenmesi gerekmektedir [22].

## **1.9. Prefabrike Yapı Sistemlerinin Hesap İlkeleri**

Prefabrike yapılarda deprem dayanımı, son yıllarda yapıların yapı güvenliği bakımından en zayıf yönü olmuştur. Bu sebeple deprem kuşağında bulunan ülkelerde prefabrike yapıların yaygın olarak kullanılmasından kaçınılmıştır. Ancak, son yıllarda özellikle A.B.D. ve Japonya'da yapılan deneysel çalışmalar sonunda belli kural ve ilkelere sadık kalmak koşuluyla prefabrike yapılarda öngörülen deprem dayanımını sağlayacağı kanıtlanmıştır [10].

### **1.9.1. Betonarme Yapı Tasarımı ile İlgili İlkeler**

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için temel ilkeler, yeterli dayanım, yeterli süneklik ve yeterli rijitlik (sınırlı yanal öteleme) olduğu bilinmektedir. Bu temel ilkelerin yanında yapı tasarımında yeterli kararlılık (duraylık, stabilite), yeterli sönüm ve yeterli uyum (adaptasyon) ilkeleri de etkili olmaktadır.

Yürürlükte bulunan deprem yönetmeliğine göre, ülkemiz sınırları içerisinde oluşacak şiddetli bir depremde betonarme yapıların, deprem sonucu ortaya çıkan enerjiyi elastik sınırlar içerisinde kalarak tüketmesi yerine, yapının çeşitli yerlerinde oluşacak plastik mafsallarla enerjiyi tüketmesinin daha ekonomik olacağı öngörülmektedir. Bu durumda yapı güvenliği için sadece dayanım koşulunun sağlanması yeterli değildir. Betonarme yapıların büyük deformasyonlar yaparak oluşan deprem enerjiyi tüketebilmesi için yapı elemanlarının gerekli sünekliğe sahip olması gerekmektedir. Ancak, plastik mafsallarda oluşan deformasyonlar nedeni ile yapının ötelenmesi belirli sınırları geçmemelidir [10].

#### **1.9.1.1. Yeterli Dayanım**

Yapı güvenliğinin belirli bir düzeyde olabilmesi için yapıyı oluşturan eleman ve birleşim noktalarının yeterli dayanıma sahip olmaları gerekir. Şiddetli depremler altında yapının elastik sınırlar içinde kalması olanaksız olduğundan, kesit hesabının emniyet gerilmeleri yöntemi yerine taşıma gücü yöntemiyle yapılması daha gerçekçi olmaktadır.

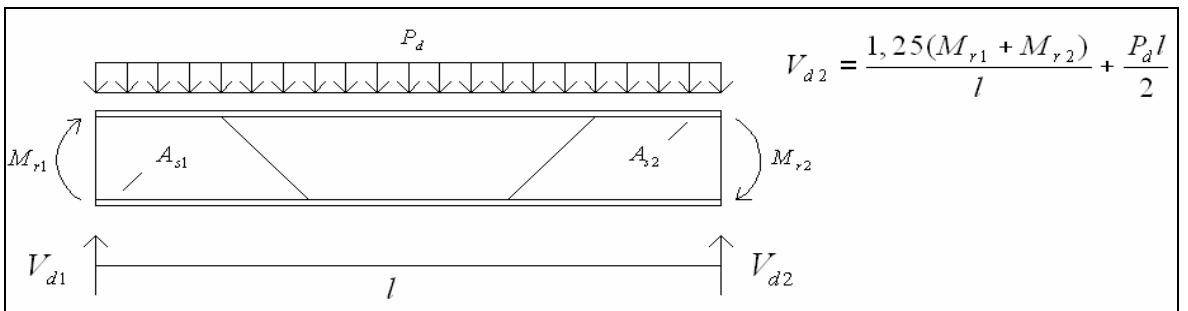
Depremi özellikleri hiçbir zaman önceden hesaplanamayacağına göre, hesaplanan zorlamalar yerine, kesitlerin gerçek taşıma güçlerini esas alan “Kapasite Tasarımı” mutlaka yapılmalıdır.

Kapasite tasarımının temel ilkelerinden biri, kolonların kirişlerden daha güçlü olması koşuludur. Kolonların daha güçlü olmasını sağlamak için kolon taşıma gücü momentlerinin, kiriş taşıma momentlerinden büyük olmasına çalışılır [27].

Örnek olarak bir kiriş ele alınırsa (Şekil 106), kirişin eğilme donatısı, hesaplanan eğilme momenti dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bilindiği gibi kesme gevrek, eğilme ise sünek bir davranış göstermektedir. Bu kirişin aşırı zorlanmalar altında kesme dayanımına ulaşmadan donatının akması ile eğilme kapasitesine ulaşması sağlanmalıdır. Bu tür davranış, hesaplanan kesme kuvveti temel alınarak hesap edilemez. Çünkü hesaplanan kesme kuvvetinin kiriş uçlarında hesaplanan gerçek eğilme kapasitelerine göre belirlenmesi daha gerçekçi olacaktır. Kesme kuvveti uçlardaki taşıma gücü dikkate alınarak hesaplanır. Bu kesme kuvveti temel alınarak kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden büyük olması sağlanırsa, zorlamalar ne kadar olursa olsun o elemanın kesme kapasitesine ulaşmadan önce eğilme kapasitesine ulaşması sağlanmış olur [27].

$$V_d = \frac{1,25(M_{r1} + M_{r2})}{l} + \frac{P_d l}{2} \quad (1)$$

Denklemden donatının sertleşmesi ile yüksek moment kapasitesini dikkate almak için, uçlarda hesaplanan moment taşıma güçleri ( $M_{r1}, M_{r2}$ ) 1,25 katsayısı ile çarpılmıştır.



Şekil 106. Kesme Kuvvetinin Kiriş Uçlarında Hesaplanan Gerçek Eğilme Kapasitelerine Göre Hesaplanması [27]

### 1.9.1.2.Yeterli Süneklik

Süneklik, bir malzeme, kesit, eleman veya yapının taşıma gücünde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme ve tekrarlı yükler altında enerji tüketebilme özelliğine denir [28].

Bir yapının sünek davranabilmesi için plastik mafsallarda yeterli enerji tüketmesi gerektiği kanıtlanmıştır. Sünekliğin ölçüsü olan “süneklik katsayısı” maksimum deformasyonun, akma anındaki deformasyonuna oranı olarak tanımlanır. Süneklik katsayısı kesitler cinsinden:

$$d^2 y / d^2 x = K \quad (2)$$

eleman veya yapının tümü için de yerdeğiştirme cinsinden:

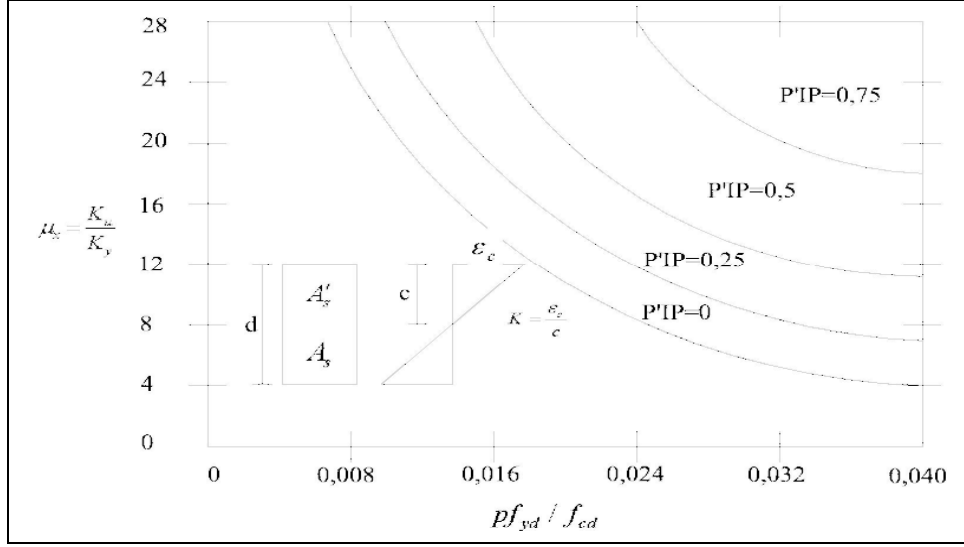
$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (3)$$

olarak ifade edilir.

Beton gevrek, donatı çeliği sünek bir malzeme olduğundan, donatı çeliği akmadan betonun ezilmesi veya kırılması ile taşıma gücüne ulaşıldığında, gevrek bir kırılma kaçınılmaz olacaktır derem bölgelerinde bu tür oluşabilecek bu tür kırılmalara dikkat edilmelidir.

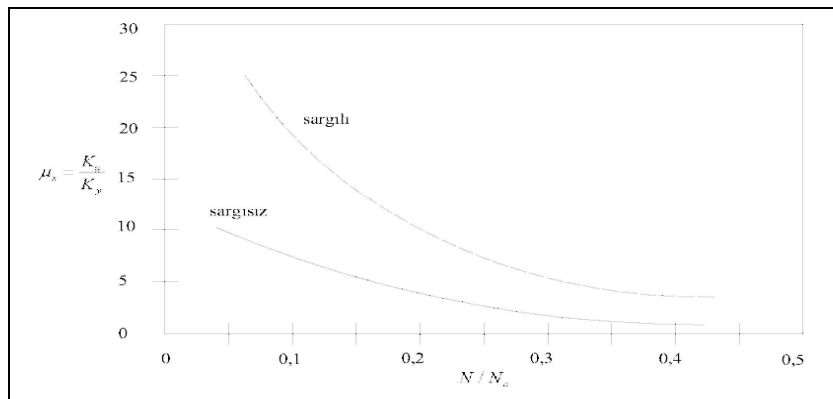
Gevrek kırılmaya yol açan diğer nedenler aderans çözülmesi (kenetlenme yetersizliği) ve kesme kırılmasıdır. Kapasite tasarımı yapılarak kesme kapasitesinin eğilme kapasitesinden büyük olması sağlanarak gevrek kırılmanın önüne geçilebilir. Kenetlenme çözülmesini önlemek için yönetmeliklerdeki kenetlenme boyuna uyulmalı ve bindirmeli eklerin etrafı sık etriyeyle sarılmalıdır [10].

Kirişler genelde eğilme etkisi altında sünek davranış gösterirler. Ancak çekme donatısı oranı arttıkça süneklik azalır, basınç donatısı oranı arttıkça süneklik artar. Şekil 107’de çekme donatısı oranının ve basınç donatısının süneklik üzerindeki etkileri gösterilmiştir.



Şekil 107. Çekme donatısı oranının ve basınç donatısının süneklik etkileri [28]

Eğilme ve aksel basıncı altındaki elemanların sünekliği aksel yük düzeyine bağlıdır. Donatı oranını sınırlayarak kirişlerdeki gevrek kırılmanın önüne geçilebilmektedir. Kolonlarda sünek davranış aksel yüklere bağlı olacağından, aksel yük düzeyi yüksek kolonlarda, betondaki ezilme donatının akmasından önce oluşmakta ve gevrek kırılma kaçınılmaz olmaktadır. Aksel yük düzeyi  $N/N_o$  oranı ile gösterilir.  $N$  uygulanan aksel yük,  $N_o$  ise salt aksel yük altında taşıma gücüdür.  $N/N_o$  oranını gevrek kırılma oluşmayacak düzeyde tutmak ekonomik olmayacağı için kırılmayı sünek yapmak için iki önlem alınabilir. Birincisi sargı donatısı kullanmak, ikincisi aksel yük düzeyine sınır getirmek. Şekil 108'de süneklik katsayısının aksel yük düzeyine göre değişimi gösterilmiştir [27].



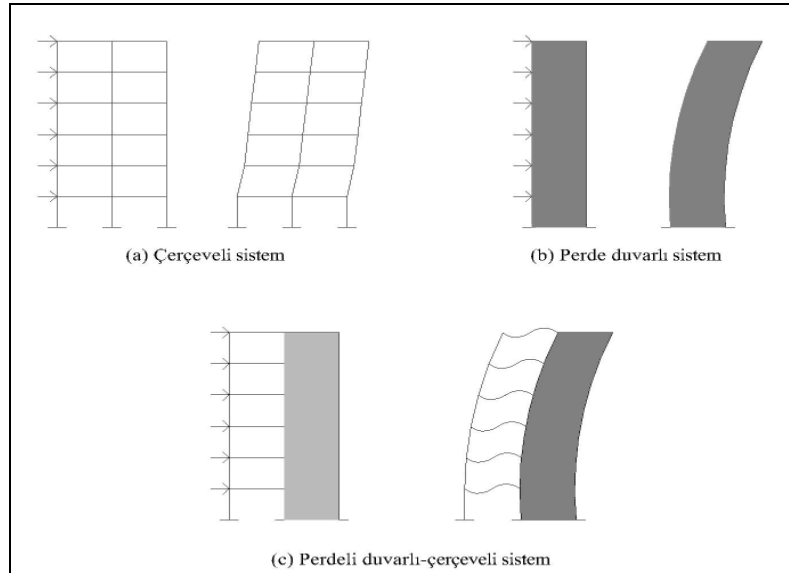
Şekil 108. Süneklik katsayısının aksel yük düzeyiyle değişimi [28]

### 1.9.1.3. Yeterli Rijitlik (Sınırlı yanal yer değiştirme)

Yapının yeterli rijitliğe sahip olmasının istenmesindeki temel amaç mümkün olduğunca ikinci mertebe momentlerini küçültmek, sık oluşan depremlerde yapısal olmayan hasarları azaltmak, insanları rahatsız edecek deformasyonları önlemektir [28].

Deprem ynnetmeliğinin yapı rijitliği ile ilgili olarak iki farklı koşul getirilmektedir. Bunlardan birincisi, iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden grelı kat telemesi ( $\Delta_i$ ) için getirilmektedir. Diğer koşul ise sadece bir kat için değil komşu iki katın ortalama grelı kat ötelemelerinin oranı  $[(\Delta_i)_{ort}/(\Delta_{i+1})_{ort}]$  için getirilmektedir.

Yatay yükler altında yapının ötelenmesinin yükseklik boyunca değişimi, taşıyıcı sisteme bağlı olmaktadır. Çerçeveli sistem bir yapıda yükseklik ile birlikte katlar arasındaki grelı kat ötelemeleri giderek azalmakta oysa betonarme perde duvarlı bir yapıda ötelemeler yükseklik arttıķa artmaktadır. Taşıyıcı sistemin perde duvar ve çerçevelerden oluşan kompozit sistemlerde ise alt katlarda perde duvarlar daha etkili olup çerçevenin ötelenmesini kısıtlarken, st katlarda ise ereve perdenin ötelenmesini kısıtlamaktadır (şekil 109).



şekil 109. Yatay yükler etkisi altında çerçeveli, perde duvarlı-çerçeveli yapıların yatay yer değiştirmesi

Rijitliğin yapı davranışını etkileyen bir yönü de yapı periyodunu değiştirilmesidir. Yapı kütlesi sabit kalmak koşuluyla, rijitlik arttıķa periyot azalmaktadır. Yapının

tasarımında zemin hakim periyodunu da dikkate alarak rijitlik değeri seçilmelidir. Bu durumda zemin hakim periyodu büyük olan zeminler üzerinde rijit yapıların, zemin hakim periyodu küçük olan zeminler üzerinde ise esnek yapıların inşa edilmesi rezonans oluşmaması açısından uygun olmaktadır [28].

Yapının doğal titreşim periyodu: m yapı kütlelerini, k yapı rijitliğini göstermek üzere

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (4)$$

bağıntısıyla belirlenir.

Yapı periyodu denklemden de anlaşılacağı üzere yapının rijitliğiyle ve yapının kütlelerine bağlıdır. Kütleleri aynı olan yapıların periyodu rijitlikle ayarlanabilmektedir. Rijitlik ise yapı taşıyıcı sistemine bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak kütleleri aynı olan çerçevesiz yapıların periyodu, perde duvarlı yapıların periyodundan daha büyük olmaktadır [28].

#### 1.9.1.4. Yeterli kararlılık (Duraylık, Stabilite)

Yapı emniyeti için dayanımın yanında yapının denge konumunda yeterince kararlı olması gerekir. Sistem kararlı durumdan çok az miktar dahi sapsa da yapı ani göçer ki bu duruma kısaca stabilite kırılması da denir.

Kararlılık kriteri ( $\theta$ ), taşıyıcı sistemin yerdeğiştirmesi sonucu meydana gelen ikinci mertebe momentlerinin ( $M_{II}$ ), birinci mertebe momentlerine ( $M_I$ ) oranı olarak tanımlanır.

$$\theta = \frac{M_{II}}{M_I} \quad (5)$$

$\theta \leq 0,1$  durumunda, sistemin kararlılığı iyi olup ikinci mertebe momentlerini hesaplamaya gerek yoktur.

$0,1 < \theta < 0,2$  durumunda, ikinci mertebe momentleri hesaplanmalıdır.

$\theta \geq 0,2$  durumunda, kararlılığın sağlanması güç olmaktadır [28].

### 1.9.1.5. Yeterli Sönüm

Titreşim hareketi yapmak zorunda kalan yapılarda enerjinin yutulması genellikle eşdeğer viskoz sönüm ile ifade edilir.

Bir yapı için sönüm değerini ifade etmek malzeme özelliklerine, yapı ve eleman boyutlarına bağlı olarak ifade etmek mümkün değildir. Malzemenin sönüm özellikleri bilinse bile, çelik yapıların birleşim bölgelerinde ve betonarme yapıların elemanlarında oluşan mikro çatlakların oluşmasıyla ortaya çıkan enerji, bölme duvarı gibi yapısal olmayan elemanlar arasında sürtünme gibi sönümü etkileyen mekanizmaların meydana gelmesi nedeniyle sönümün hesaplanması mümkün değildir. Bu durumda yaklaşık bir değer olan modal sönüm oranı tanımlanmaktadır.

Modal sönüm oranı ( $\xi$ ) taşıyıcı sisteme bağlı olarak değişmekte olup, çelik çerçeve yapılarda 0,02 (%2), çelik-betonarme türü kompozit yapılarda 0,03 (%3), betonarme yapılar ise 0,02-0,10 (%2-%10) arasında değişmektedir. deprem yönetmeliğinde ise betonarme yapılar için bu oran genel olarak 0,05 (%5) alınmaktadır [28].

### 1.9.1.6. Yeterli Uyum (Adaptasyon)

Uyum, fazla zorlanan bir lifin, kesitin ya da elemanın, zorlanmaları komşu lif kesit ya da elemana aktarması özelliğidir.

Betonarme bir eleman için uyum, kesitlerden birinde taşıma gücüne ulaştığında oluşan plastik mafsallık ve taşıma gücüne henüz ulaşamayan diğer kesitlere moment aktarmasıdır. Kesitlerin moment aktarabilme özelliklerine moment uyumu denilmektedir.

Kuvvetlerin uyumu ise, betonarme bir kesitte basınç etkisini karşılayan beton ve donatı arasındaki kuvvet alış verişidir [28].

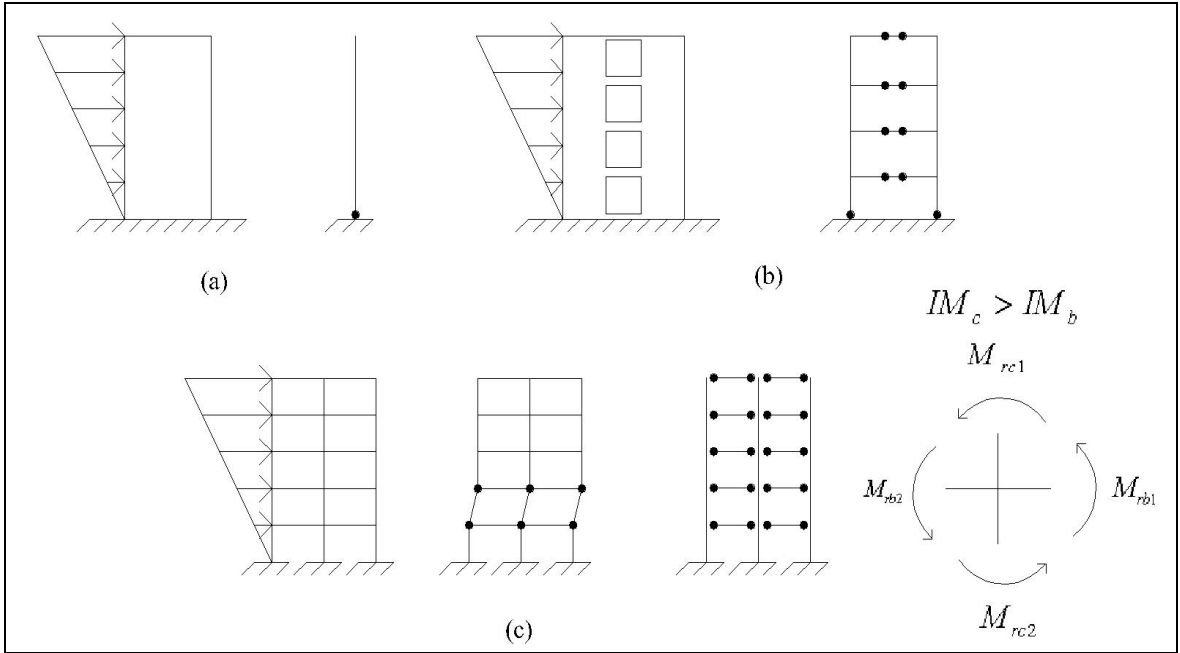
## 1.9.2. Tasarımla İlgili Öneriler

Ülkemizde bulunan betonarme yapılarda bugüne kadar gözlenen hasar ve göçmeler incelendiğinde tasarım hataları genel olarak üç ana grupta toplanmış olduğu görülmektedir. Birincisi yapı davranışının yanlış kestirilmesi, ikincisi yanlış sistem seçimi, üçüncüsü yetersiz boyutlandırma ve detaylandırmadır.



### 1.9.2.1. Yapı Davranışı

Tasarımcı, yapı sınır duruma ulaştığında plastik mafsalların nerede oluşabileceğini kestirmeli ve gerekirse boyutlandırma ve detaylandırma ile mafsalların oluşma düzenini yönlendirebilmelidir. Şekil 110'de çeşitli yapı türleri görülmektedir. Şekil 110a'da perde duvarın sınır duruma ulaşması tek mafsalla olmaktadır. Şekil 110b'de delikli perdeden oluşan yapı sisteminde ise, enerji tüketiminin büyük bir bölümü bağ kirişlerde oluşur. Şekil 110c'de çok katlı çerçeve, prefabrike bir yapıdan oluşan bu tür çerçeve sistemlerde sınır durumuna kiriş mekanizması ve kolon mekanizması ile erişilebilir. Kiriş mekanizması kuvvetli kolon zayıf kiriş prensibinin tasarlanmasıyla oluşturulabilir [10].

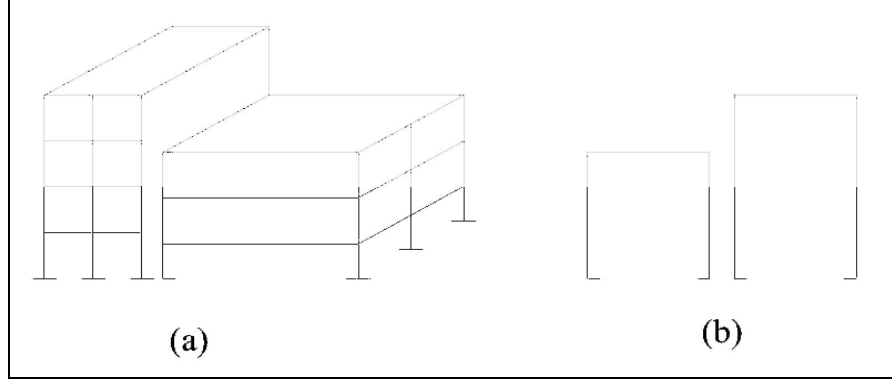


Şekil 110. Çok katlı çerçeve yapılarda mekanizma şekilleri

### 1.9.2.2. Sistem Seçimi

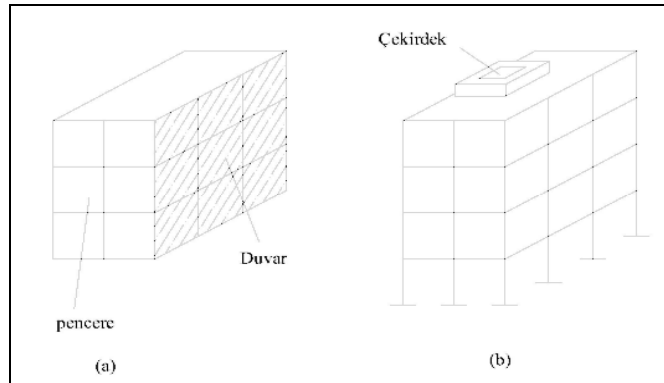
Ülkemizde, depremlerde hasarların oluşmasında bina geometrisi, taşıyıcı sistemi ve taşıyıcı olmayan duvar gibi elemanların taşıyıcı sistemle uyumu büyük bir önem taşımaktadır. Örneğin, yapının bitişik düzendeki çerçeveler birbirinden yeterli derzlerle ayrılmaması, yeterince simetrik olmaması, kısa kolon oluşmasıdır.

Şekil 111’de görüldüğü gibi bitişik düzende yapılmış çerçeveler birbirinden yeteri genişlikte derzlerle ayrılmadığı takdirde, depremde birbirine vurarak (çekişleme etkisi) ağır hasara neden olabilir [10].



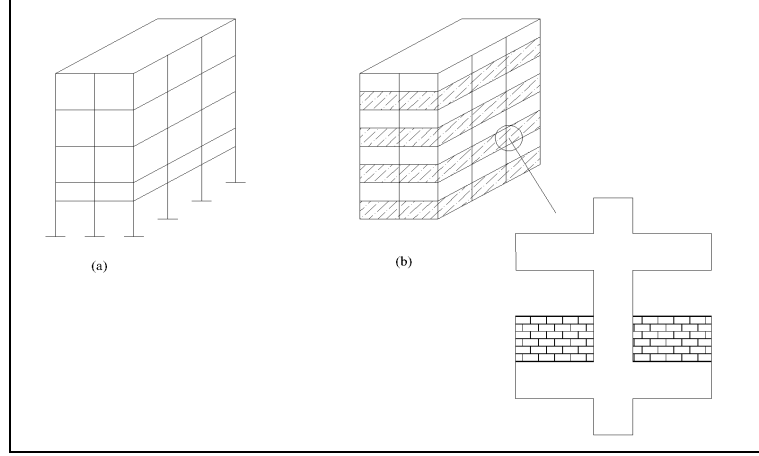
Şekil 111. Bitişik düzende yapılmış çerçevelerde derzler

Şekil 112’de yapıların simetrik olmamasından kaynaklanan, ağırlık merkeziyle kütle merkezinin çakışmaması durumu görülmekte ve bun durum sonucu burulma oluşmamaktadır. Şekil 112a’da binada, simetriyi taşıyıcı olmayan elemanlar (bir cephenin cam, diğer cephenin duvar olması) bozmaktadır. Şekil 112b’de yapı betonarme duvarlardan oluşan çekirdeğin simetrik olarak yerleştirilmemiş olması sonucu burulmaya maruzdur [27].



Şekil 112. Planda burulma oluşturacak simetrik olmayan sistemler

Şekil 113’de her iki yapıda da kısa kolon oluşumu gösterilmektedir. Kısa kolon Şekil 113’deki yapıda taşıyıcı olan kirişler nedeniyle, Şekil 113’deki yapıda ise taşıyıcı olmayan duvarlar nedeniyle oluşmuştur [27].



Şekil 113. Yapılarda kısa kolon oluşturulması

Perde duvarlarla rijetlenmemiş yapılarda, binanın yanal değiştirilmesinde kolonların rijitliğinin yanı sıra, döşeme veya kirişlerin rijitliği de çok önemli rol oynar. Ülkemizde sık uygulanan asmolen döşeme sisteminde kat düzeyindeki eğilme elemanlarının rijitlikleri çok küçük olduğundan, büyük yanal yer değiştirmeler oluşur [27].

### 1.9.2.3. Boyutlandırma ve Detaylandırma

Ülkemizde yapıların depremde hasar görmesinin nedenlerinden biride boyutlandırma ve detaylandırmaya yeteri kadar özen gösterilmemesidir.

Ülkemizde uygulanan mimaride, narin elemanlardan yararlanır. Narin elemanların yapı için önem arzeden süneklik, rijitlik, dayanım ilkelerinin tümüne sahip olmaması yapının depremlerde hasar görmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle TS-500’de kolon aksenal yükü için sınırlama getirilmiştir [10].

$$N_d \leq 0,90.f_{cd}A_c \quad (6)$$

Donatı detaylandırılmasında temel ilke, yeterli dayanım ve yeterli sünekliğin sağlanması olmalıdır. Yapı ve eleman davranışları önceden kestirilmeli ve buna göre detaylandırma yaparak önlem alınmalıdır.

Sünekliğin sağlanabilmesi için kesme ve aderans kırılmalarının önlenmesi gerekmektedir. Kesme kırılması kapasite tasarımında bulunan kesme kuvvetine göre etriye bulundurması ile önlenebilir. Aderans kırılması ise gerekli kenetlenme ve bindirme boylarının sağlanmasıyla önlenebilir. Ayrıca bindirme boyunca sık etriye bulundurarak sargı etkisi oluşturmakta bir diğer çözüm yoludur.

Mafsallaşmanın olduğu kritik bölgeler sık etriyelerle sarılarak süneklik artırılmalıdır. Bu nedenle bu kritik bölgelerde kirişlerin iki ucu da  $2d$  uzaklığında kadarki bölge sık etriye sarılarak önlem alınmalıdır. Ayrıca, sonraki aşamalarda mafsallaşmanın kolonlarda oluşacağı düşünülürse, kirişler gibi kolon uçları da sık etriyeyle sarılmalıdır [27].

### **1.10. Konu ile İlgili Yapılan Bazı Çalışmalar**

Pillai ve arkadaşları (1981), yapmış oldukları deneylerdeki temel amaç kesme açıklığının incelenmesidir. Deneyde ikisi monolitik referans elemanı olmak üzere onbir kiriş-kolon birleşimi, tersinir-tekrarlanan yükler altında denenmiştir. Deneylerde Kuzey Amerika'da kullanılan bir bağlantı detayı kullanmıştır.

Prestressed Concrete Institute (PCI-1981), yapılan çalışmada, prefabrike ve öngerilmeli yapıların projelendirilmesi ve detaylandırılması konuları incelenmiştir.

Martin ve Korkosz (1982), yapmış oldukları çalışmada, prefabrike birleşim teknolojisi konusunda 1982 yılına kadar yapılmış olan bütün çalışmaları bir araya getirtmekte ve bu çalışmalarını değerlendirmemişlerdir.

Clough (1985), yapmış olduğu çalışmada, depremlerde iyi performans sergileyen birleşimlerin projelendirilmesinde kullanılmak üzere rasyonel bir yöntem önermektedir.

Bhatt ve arkadaşları (1985), yapmış oldukları deneyde Pillai deneylerinde zayıflığı görülen kolon-kiriş birleşim detayının hatalarını düzelterek daha da geliştirmişlerdir.

Ersoy ve Tankut (1986), yapmış oldukları deneysel çalışmada, prefabrike kirişlerin kolonlardan çıkan konsollara, çelik plakalar kaynatılarak bağlanan birleşimler tersinir-tekrarlanan yükler altında test edilmiştir.

Dolan ve arkadaşları (1987), yapmış oldukları deneysel çalışmada, 8 adet kiriş-kolon birleşimi denenmiştir. Deneysel çalışmalarında kirişlerin bağlandığı kolon konsollarında zayıflıklar gözlenmesi nedeniyle istenilen davranış elde edilememiştir.

Englekirk ve Dow (1988), yapmış oldukları çalışmada, prefabrike yapılara ait birleşimler hakkında daha geniş bilgiler edinmek ve deney yapmadan yeni tip birleşim detaylarını projelerde kullanmak için iki seri araştırma yapmışlardır.

Dolan ve arkadaşları (1989), yapmış oldukları deneysel çalışmada, temel amaç prefabrike kolon-kiriş birleşimi deneylerinde tam ölçekli elemanlar yerine küçültülmüş elemanlar kullanılıp kullanılmayacağına araştırılmasıdır.

French ve arkadaşları (1989), yapmış oldukları deneysel çalışmada, prefabrike kenar ve orta kolon-kiriş birleşimleri tersinen tekrarlanan yükleme altında test edilmiştir.

Seçkin ve arkadaşları (1990), yapmış oldukları deneysel çalışmada, 4 adet orta prefabrike kolon-kiriş birleşimi tersinen tekrarlanan yükler altında denenmiştir. Deney sonucunda geliştirilen bağlantı depremlerde sağlıklı bir performans göstereceği kanısına varılmıştır.

Cheok ve arkadaşları (1991), yapmış oldukları deneysel çalışmada, 4 monolitik ve çeşitli bağlantı detayına sahip 8 prefabrike kolon-kiriş birleşimi test edilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen bağlantı detayları olumlu sonuç vermesine rağmen, prefabrike birleşimlerde bağlantı nedeniyle rijitlik azalmasının monolitik olanlara kıyasla daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

1991 yılında ABD ve Japonya'nın ortaklaşa yürütecekleri, Precast Seismic Structural Systems (PRESSSS) isimli ve tamamen deprem bölgelerinde yapılacak yapılardaki birleşimlerin davranışını araştırmak üzere kapsamlı 7 yıllık ve üç aşamalı bir proje başlatılmıştır.

Baysal (1991), ODTÜ laboratuvarlarında yapmış olduğu Yüksek lisans çalışmasında, iki adet büyük ölçekli kolokiriş bağlantı numunesinin deprem etkisi altında davranışı deney yapılarak incelenerek, bu prefabrike deney numunelerinin monolitik sisteme yakın performans sergiledikleri görülmüştür.

Restrepo, Park ve Bumcanan (1992), Yeni Zelanda'da yapmış oldukları deneysel çalışmada, Prefabrike Elemanların kiriş ortasında birleştiği ve prefabrike elemanın kiriş ve kolonunun kesiştiği noktada birleştiği deneyler yapmışlardır.

Tankut ve Ersoy 1993 yapmış oldukları bu çalışmada, moment aktarabilen dört değişik bağlantı detayı üzerinden elde edilen bağlantılarla elde edilen verilerle 1992

Erzincan Depreminden sonra yapılan incelemeden elde edilen izlenimler temel alınarak, kolon-kiriş birleşimler ile önüretimli bağlantılarının deprem etkisinde sergiledikleri çeşitli sorunlar hakkında inceleme yapmışlardır.

Yağcı (1993), ODTÜ’de yapılan Yüksek lisans çalışmasında, ODTÜ laboratuvarlarında geliştirilmiş üç adet büyük ölçekli kolon-kiriş birleşim deney elemanı tersinir yükleme altında denenmiştir.

Dolan ve arkadaşları (1994), yapmış oldukları deneysel çalışmada, moment aktarabilen ve moment aktaramayan prefabrike bağlantı elemanlarıyla ilgili deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Ersoy, Tankut ve Özcebe (1995), ODTÜ İnşaat Mühendisliği Yapı Mekaniği Laboratuvarlarında yapmış oldukları deneysel çalışmada, moment aktarabilen prefabrike kiriş-kolon birleşimlerinin tersinen tekrarlanan yükler altında deprem dayanımı test edilmiştir. Deney sonucunda gözlemlenen zayıflıkların giderilmesine çalışılarak, bağlantılar geliştirilmiştir.

Karadoğan ve arkadaşları (1997), yapmış oldukları deneysel çalışmada, çanak temele yerleştirilen önyapım kolonlar ile aynı sistemin benzeri birdöküm olarak tasarlanıp deneye tabi tutulmuşlardır. Sonuç olarak iki sisteminden birbirinden çok farklı olmadığı görülmüştür.

Çatal, Düzgün ve Alku (2000), yapmış olduğu bu çalışmada, düğüm noktaları rijit ve yarı-rijit bağlantılı prefabrike çerçevelerin deprem yükleri altındaki davranışı ve iç kuvvet dağılımlarındaki değişimi incelenmiştir.

Başıyigit, Kılıçarslan ve Alkan’ın 2000 yılında yapmış oldukları bu çalışmada, mevcut yapı sistemi prefabrike ve betonarme olarak modellenen okulun Marmara Depremi ve zati yükler etkilerek, SAP-2000 sonlu elemanlar programı kullanılarak çözülmüş ve iki sistemin açıklık kolonlarındaki aks kuvvetleri karşılaştırılmıştır.

Zorbozan ve Özden (2000) yapmış oldukları bu çalışmada, birleşimleri mafsallı iki katlı sanayi yapılarında yatay yüklerin perdeler ve kolonlar arasındaki paylaşımı incelemişlerdir.

Küçükkayalar ve Aydınay (2000), yapmış oldukları bu çalışmada, prefabrike yapıların deprem esnasında davranışları incelenerek, temel kolon, eğimli çatı kirişi ve aşıkların bağlantıları, bu elemanların deprem davranışları ve alınması gereken önlemleri incelemişlerdir.

Pınarbaşı (2000), ODTÜ'de yapmış olduğu Yüksek lisans çalışmasında, prefabrike bağlantıların deprem etkisi altındaki davranışlarını incelemek üzere, biri monolitik diğer üçü prefabrike eleman olmak üzere dört adet 1/2 ölçekli deney elemanı tersinir yükler altında test yapmıştır.

Celep (2000), Dokuz Eylül Üniversitesi'nde yapmış olduğu Yüksek lisans çalışmasında, beton prefabrike yapıların tasarımında tekrarlanan tersinir yükler altında moment aktaran birleşimlerin teşkili ve hesap yöntemlerini incelemiştir.

Tezcan ve Çolakoğlu (2003), yapmış olduğu bu çalışmada, TDY-98, Amerikan deprem yönetmeliği UBC-97 ve Avrupa Birliği deprem yönetmeliği, Eurocode 8 –98, tarafından betonarme prefabrike binalar için önerilen depreme dayanıklı yapı kriterleri gözden geçirilmiş ve özellikle, tasarım deprem yükleri, görelî kat ötelenmesinin limitleri ve bağlantılara gelen deprem yükleri açısından karşılaştırmalı bir incelememişlerdir.

Englekirk (2003), yayınladığı kitabında, depreme karşı iyi bir performans sergileyen yapısal sistemleri rasyonel analizler ve deneylerle incelemeye çalışmıştır.

Tekin (2004), Celal Bayar Üniversitesi'nde yapmış olduğu Yüksek lisans çalışmasında, dört katlı bir bina hem yerinde dökme hemde prefabrike olarak tasarlayarak incelemiştir.

Yılmaz (2004), Pamukkale Üniversitesi'nde yapmış olduğu Yüksek lisans çalışmasında, 1998 deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış tek katlı prefabrike sanayi yapılarının deprem davranışı statik itme analizi (pushover) ve doğrusal ötesi zaman tanım alanında analiz (time-history) yöntemleri kullanılarak SAP2000 programıyla incelenmiş ve deprem yönetmeliğinin yeterliliği araştırmıştır.

Türkemen, Demir, Çırak ve Tekeli'nin 2005 yılında yapmış oldukları bu çalışmada, meydana gelen depremlerde, prefabrike yapılarda ortaya çıkan hasarların incelenmesi ve Antalya yöresinde olası bir depremde bu tür yapılardaki hasarların önlenmesi için alınması gereken önlemleri incelemişlerdir.

Gülal (2005), İTÜ'de yapmış olduğu Yüksek lisans çalışmasında, tek katlı, kolonları temele ankastre, üstten mafsallı prefabrike sistemlerin doğrusal olmayan davranışları incelemiş ve boyutlandırmada esas alınan R taşıyıcı sistem davranış katsayısının yapı sisteminin deprem performansına etkisi irdelemiştir.

Şeren (2006), İTÜ'de yapmış olduğu Yüksek lisans çalışmasında, olası bir depremde mevcut prefabrike betonarme davranışının ne olacağı incelemiş ve güçlendirilmiş prefabrike betonarme yapıların davranışlarının yeterli olup olmadığını araştırmıştır.

Camerena (2006), yapmış olduğu doktora tezinde, öngerilmeli prefabrike mafsallı kolon-kiriş bir bağlantının geçerliliğini, sonlu elemanlar yöntemi ve analitik modellemeyle incelemiş ve alternatif çözümler sunmuştur.

Öztürk ve Demiralın (2007) yılındaki yapmış oldukları çalışmada, yüksek riskli deprem bölgesinde mevcut şartnamelere göre tasarlanmış olan bir prefabrike yapının yer hareketleri etkisindeki analizleri yapılmak suretiyle deprem esnasındaki doğrusal elastik olmayan davranışları incelemişlerdir.

### **1.11. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

Bu çalışmanın temel amaç, prefabrike yapıların tarihsel gelişimi, uygulama alanları ve bu yapılarda kullanılan sistemleri tanıtmak ve uygulanan sistemlere ait birleşimleri irdeleyerek bir sentez çalışması yapmaktır. Bu sentez çalışması ışığında bir prefabrike kapalı spor salonu yapısı, yatay yüklere göre stabilitesini sağlamak için, perde duvar ve çelik diyagonal ile güçlendirilmiş ve kat ötelemeleri yönünden bu sistemlerin davranışları incelenmiştir.

Bunun için, öncelikle mafsallı bağlantılı prefabrike yapının taşıyıcı sistemine değişik sayıda perde ekleyerek yeni iki sistem üretilmiş, aynı şekilde perde koyulan akslara, değişik sayıda çelik profillerle diyagonal ekleyerek iki yeni sistem daha üretilerek, taşıyıcı sistemleri farklı beş adet sistem elde edilmiş ve davranışlarının incelenmiştir. Bu amaçla prefabrike yapıların kat seviyelerine gelen eşdeğer deprem yükleri hesaplanmış, sonra bu yükler etkisi altında tüm prefabrike yapıların SAP-2000 programı yardımıyla kat ötelemelerini bularak, davranışları incelenmiştir.



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

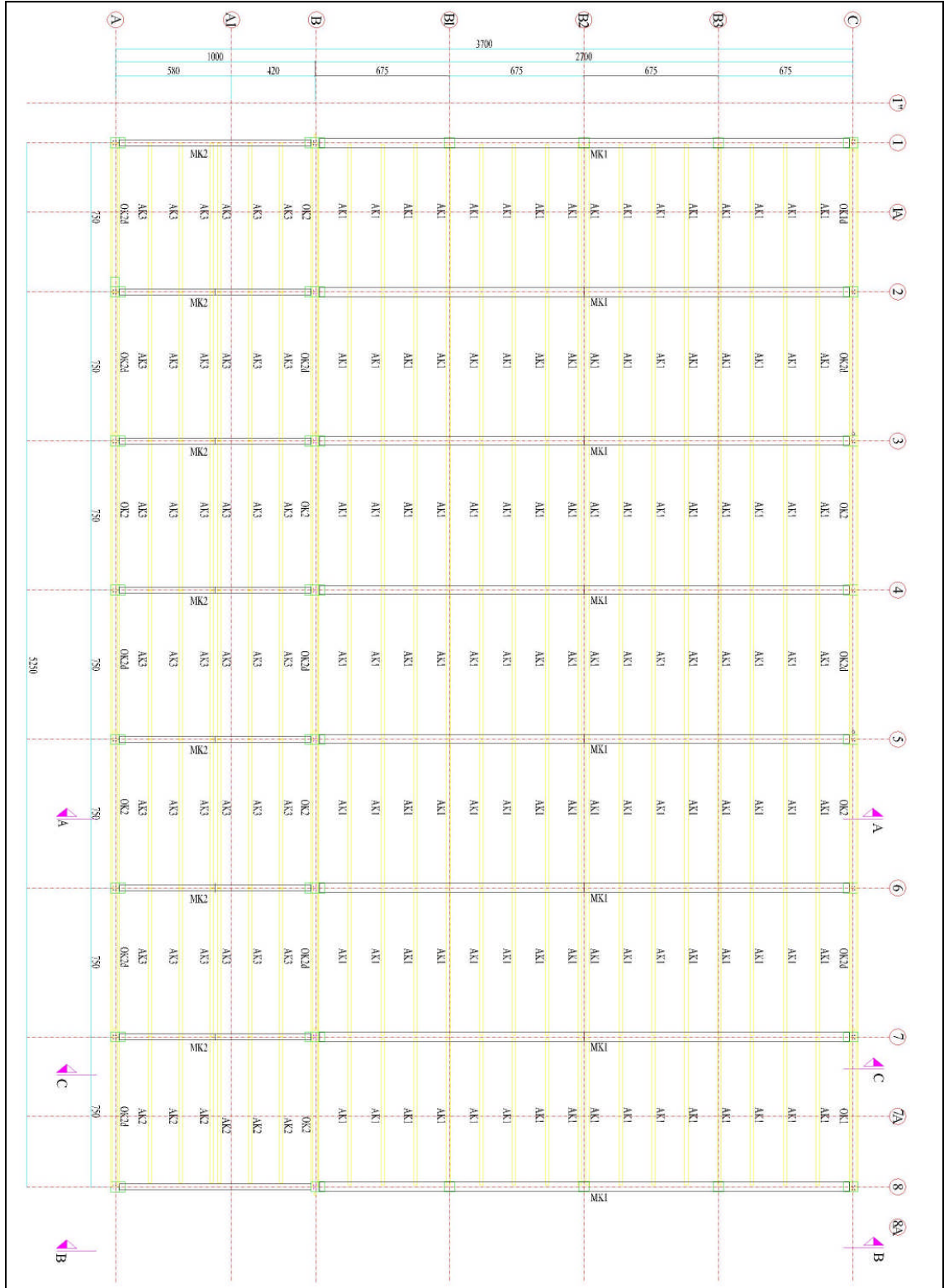
### 2.1. İnceleme Konusu Prefabrike Yapının Özellikleri

Bu çalışmaya konu olan yapı, kapalı spor salonu olarak kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Taşıyıcı sistemi prefabrike çerçeveli sistem olup tek katlı, temele bağlantısı ankastre, diğer tüm bağlantıları mafsallıdır.

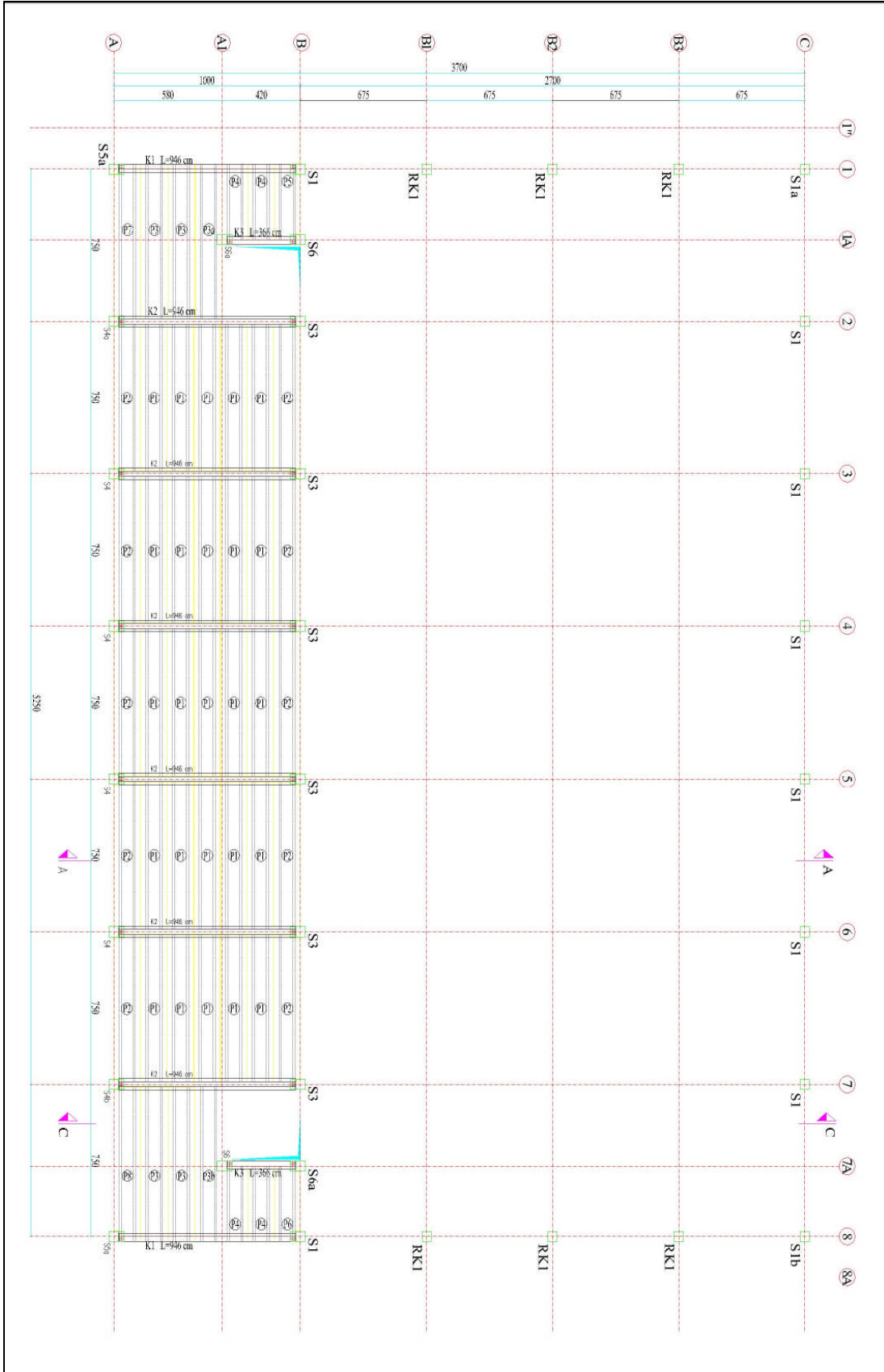
Seçilen prefabrike yapının taban alanı  $37,00 \times 52,50 = 1942,50 \text{ m}^2$  'dir. Yapının çatı planı Şekil 114'de, arakat kat planı Şekil 115'de ve kesiti Şekil 116'da verilmiştir. Yapı tek katlı tasarlanmış olup, tribünler için ise arakat oluşturulmuştur. Adlandırmada kolaylık açısından bu yapının sahip olduğu taşıyıcı sistem, Taşıyıcı Sistem-1 olarak adlandırılmıştır.

Diğer dört yapının taşıyıcı sistemleri olan Taşıyıcı Sistem-2, Taşıyıcı Sistem-3'de Taşıyıcı Sistem-1'e perdeler, Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5'de de çelik profillerden oluşan diyagonaller eklenerek türetilmiştir.

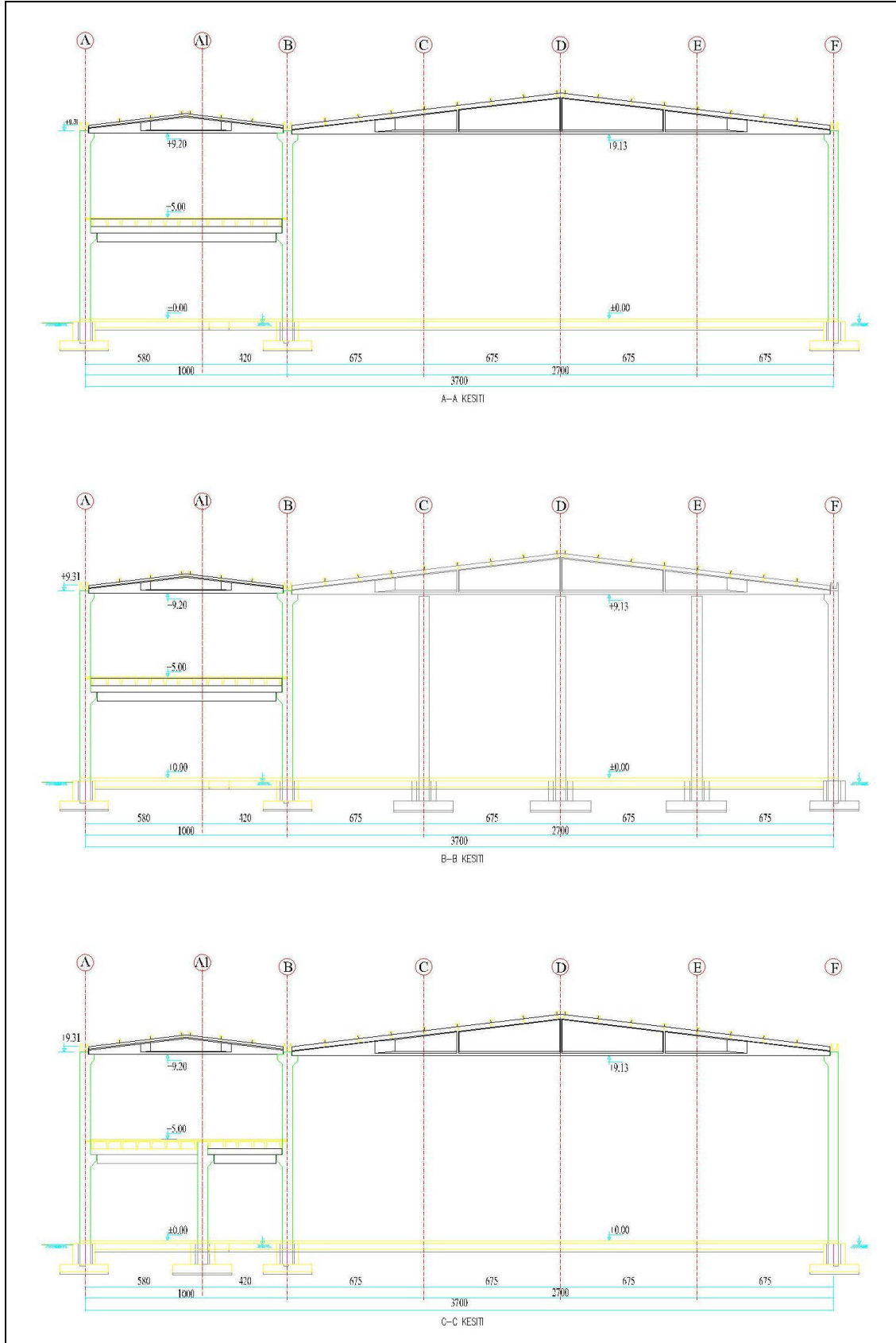
Bu çalışmaya konu olan prefabrike kapalı spor salonu, 16 adet Makas Kirişi, 21 adet Oluk Kirişi, 154 adet Aşık Kirişi, 30 adet Kolon, 8 adet Arakat Kirişi, 49 adet Döşeme Panelinden oluşan prefabrike elemanlardan oluşmaktadır. Yapıyla ilgili diğer özellikler Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 114. Prefabrike kapalı spor salonunun çatı planı



Şekil 115. Prefabrike kapalı spor arakat planı



Şekil 116. Prefabrike kapalı spor salonunun kesitler  
Tablo 1. Yapının bazı proje bilgileri

Taşıyıcı Sistem	Prefabrike Çerçeve Sistem
Kat Adedi	1
Kat Yüksekliği	9,20 mt
Makas Açıklığı	27,00 mt ve 10,00 mt
Zemin Sınıfı	Z3
Prefabrike Elemanların Beton Sınıfı	C35
Öngörilmeli Makas Kirişleri Beton Sınıfı	C40
Betonarme Çeliği Sınıfı	S420

## 2.2. Prefabrike Yapıların Deprem Yüğü Altında Yapısal Çözümlemesi

Bu çalışmanın konusu olan prefabrike yapı için Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri'nden biri olan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi kullanılmıştır.

Alınan değerler:

- Betonarme birim ağırlığı: 25 kN / m<sup>3</sup>

- Çatı ağırlığı hesabı:

Projeye göre kar yüğü, TS 498'de gösterilen kar yüğü bölgesinden, III. bölgeye girmektedir.  $P_{ko} = 0,75$  kN / m<sup>3</sup> 'dür. DY-2007 Madde 2.7.1.2'ye göre deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak çatı katının ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u sabit yük olarak alınmaktadır.

Kar yüğü:  $0,75 \times 0,30 = 0,225$  kN / m<sup>3</sup>

Çatı Kaplaması+Ekipman Ağırlığı: 0,25 kN / m<sup>3</sup>

- Makas Kirişleri:

MK-1 Kesit:  $1 / 2 \times (2,05 + 0,45) \times 26,61 / 2 \times 2 \times 0,45 = 14,97$  m<sup>3</sup>

Mk-2 Kesit:  $1 / 2 \times (0,95 + 0,38) \times 9,61 / 2 \times 2 \times 0,30 = 1,92$  m<sup>3</sup>

- Oluk Kirişi:

$$\text{Kesit: } [ (0,4 \times 0,4) - [ (0,26+0,21) / 2 \times 0,38 ]. ] \times 7,50 = 0,707 \text{ m}^3$$

- Aşık Kirişi:

$$\text{Kesit: } [ (0,15 \times 0,046) + [ (0,126+0,067) / 2 \times 0,204 ]. ] \times 7,50 = 0,199 \text{ m}^3$$

- Kolonlar:

$$\text{Kesit: } 0,50 \times 0,50 \times 9,20 = 2,30 \text{ m}^3$$

- Arakat Kirişi:

$$\text{Kesit: } ( 9,50 \times 0,70 + 8,90 \times 0,45 ) \times 0,40 = 4,26 \text{ m}^3$$

- Döşeme Panelleri:

$$\text{Kesit: } ( 2 \times 0,35 \times 0,12 + 0,05 \times 1,42 ) \times 7,50 = 1,62 \text{ m}^3$$

- Döşeme Panelleri Yüzeyine Tesviye Betonu:

$$\text{Kesit: } ( 10,00 \times 52,50 - 2 \times 3,88 \times 3,66 ) \times 0,05 = 24,83 \text{ m}^3$$

- Merdiven:

$$\text{Kesit: } 2 \times 3,88 \times 3,66 \times 0,30 = 8,52 \text{ m}^3$$

- Hareketli Yükler:

$$\text{Çatıda: } 1,5 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\text{Sabit Tribün: } 5,00 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\text{Merdiven: } 3,50 \text{ kN} / \text{m}^3$$

### 2.2.1. Taşıyıcı Sistem-1 Ağırlığının Hesaplanması

Bu sistem, prefabrike yapının taşıyıcı sistemine perde ve diyagonal eklenmemiş olan taşıyıcı sistemidir.

Sabit Yükleler: Çatı kaplaması+Ekipman, Kar Yüğü, Makas Kirişleri, Oluk Kirişleri, Aşık Kirişleri, Kolonlar, Arakat Kirişleri, Döşeme Panelleri, Troping Betonu, Merdiven Ağırlıkları

Çatı Ağırlığı:

$$\text{Çatı Kaplaması+Ekipmanların Ağırlıkları: } 0,25 \text{ kN / m}^3 \times 37,00 \times 52,50 = 485,63 \text{ kN}$$

$$\text{Kar Yüğünün Ağırlığı: } 0,225 \text{ kN / m}^3 \times 37,00 \times 52,50 = \underline{437,06 \text{ kN}}$$

$$922,00 \text{ kN}$$

Makas Kirişlerinin Ağırlıkları:

$$\text{MK-1 Ağırlığı: } 14,97 \times 8 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 2994,00 \text{ kN}$$

$$\text{MK-2 Ağırlığı: } 1,92 \times 8 \times 25 \text{ kN / m}^3 = \underline{384,00 \text{ kN}}$$

$$3378,00 \text{ kN}$$

Oluk Kirişlerinin Ağırlıkları:

$$0,707 \times 21 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 371,18 \text{ kN}$$

Aşık Kirişlerinin Ağırlıkları:

$$0,199 \times 154 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 766,15 \text{ kN}$$

Kolonların Ağırlıkları:

$$0,50 \times 0,50 \times 9,20 / 2 \times 30 \times \text{kN / m}^3 = 862,50 \text{ kN}$$

Arakat Kirişlerinin Ağırlıkları:

$$4,26 \times 8 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 852,00 \text{ kN}$$

Döşeme Panelleri Ağırlıkları:

$$1,62 \times 49 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 1984,50 \text{ kN}$$

Troping Betonu Ağırlığı:

$$24,83 \times 25 \text{ kN} / \text{m}^3 = 620,75 \text{ kN}$$

Merdiven Ağırlığı:

$$8,52 \times 25 \text{ kN} / \text{m}^3 = 213,00 \text{ kN}$$

Hareketli Yükler: Çatı, Sabit tribün, Merdiven

Çatıda Hareketli Yükler:

$$37,00 \times 52,50 \times 1,50 \text{ kN} / \text{m}^3 = 2913,75 \text{ kN}$$

Sabit Tribün:

$$10,00 \times 52,50 \times 5,00 \text{ kN} / \text{m}^3 = 2625,00 \text{ kN}$$

Merdiven:

$$2 \times 3,88 \times 3,66 \times 3,50 \text{ kN} / \text{m}^3 = 99,41 \text{ kN}$$

Taşıyıcı Sistem-1 Kat Ağırlıkları Hesabı

$$W_i = g_i + n \cdot q_i \quad (7)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu formülde g toplam sabit yükler, n hareketli yük azaltma katsayısı (0,6 sabit tribünler için), q ise toplam hareketli yükleri ifade etmektedir.

$$W_1 = 922,00 + 3378,00 + 371,18 + 766,15 + 862,50 + 852,00 + 1984,50 + 620,75 + 213,00 + 0,6 \times (2913,75 + 2625,00 + 99,41) = 13352,98 \text{ kN}$$

Kat ağırlığı belirlendikten sonra yapının periyodu belirlenir. DY-2007'ye göre, yapının periyodunu belirlemek için fiktif yüklemeler ( $F_{fi}$ ) etkisinde kat ötelemelerinin ( $d_{fi}$ ) belirlenmesi gerekir. Fiktif yükler;



$$F_{fi} = \frac{w_i \cdot h_i}{\sum_{j=1}^N w_j \cdot h_j} \quad (8)$$

bağıntısıyla belirlenebilmektedir. Buna göre;

$$\sum_{j=1}^N w_j \cdot h_j = 13352,98 \times 9,20 = 122847,42$$

$$F_{fi} = \frac{13352,98 \times 9,20}{122847,42} = 1$$

Sonuç olarak, fiktif yük formülünde, (yapının tek katlı olmasından dolayı) pay ve payda eşit olduğu için fiktif yük değeri 1 çıkmıştır. Bu değerler elde edilecek olan periyodu değiştirmeyeceği için 1000 ile çarpılarak büyük değerler elde edilmiştir.

Tüm sistemler tek katlı olduğundan dolayı fiktif yük değeri hepsinde aynıdır ve 1000 olarak alınacaktır.

### 2.2.2. Taşıyıcı Sistem-2 Ağırlığının Hesaplanması

Taşıyıcı Sistem-2'de, 1 aksı üzerinde A-B aksları ve B1-B3 aksları arasında, 8 aksı üzerinde A-B aksları ve B1-B3 aksları arasında, A aksı üzerinde 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 aksları arasında, C aksı üzerinde 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 aksları arasında perdeler eklenerek türetilmiştir (Şekil 120).

Perdelerin Ağırlıkları:

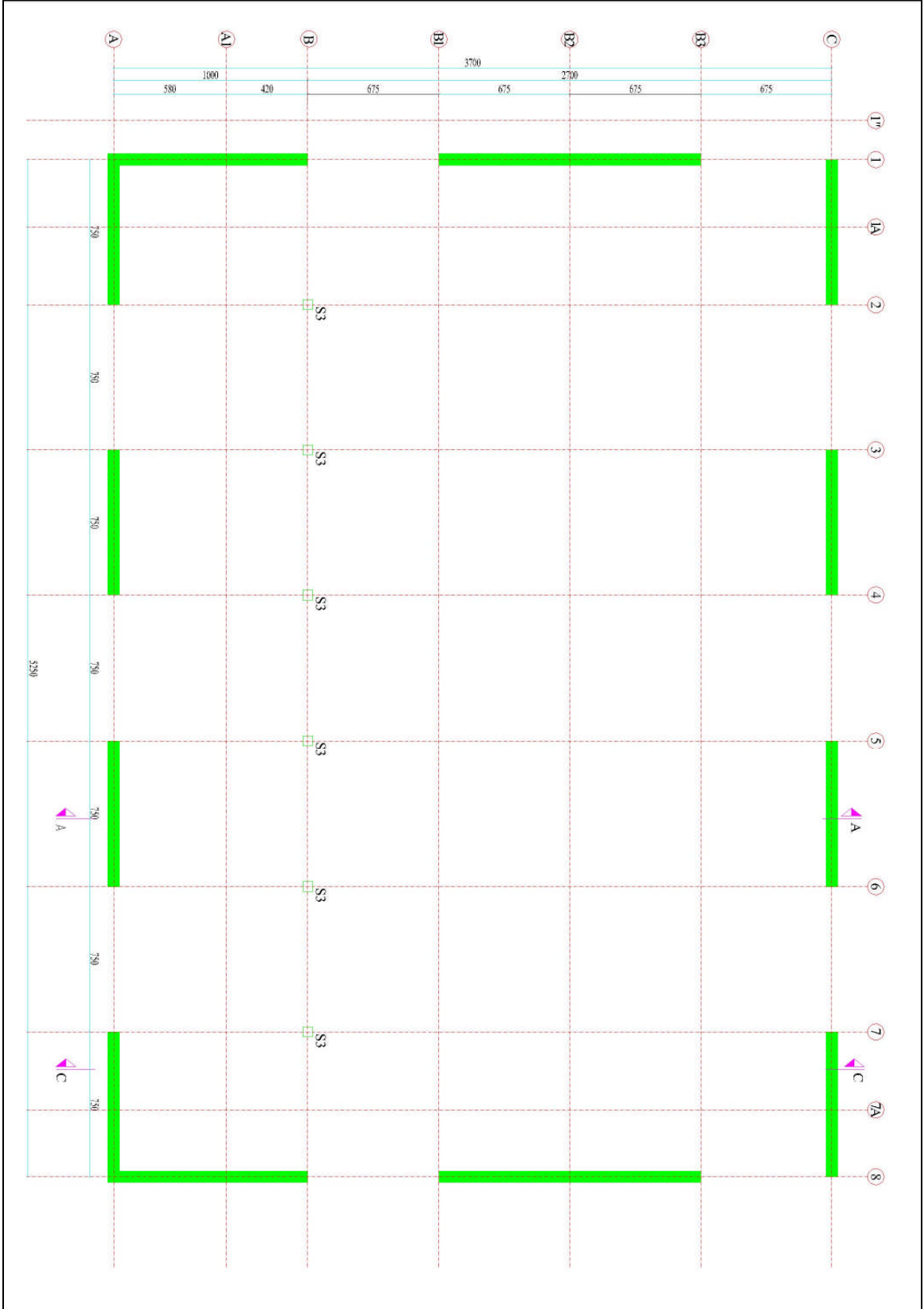
$$\text{Perde-1: } 2 \times 13,50 \times 9,20 \times 0,30 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 1862,00 \text{ kN}$$

$$\text{Perde-2: } 2 \times 10,00 \times 9,20 \times 0,30 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 1380,00 \text{ kN}$$

$$\text{Perde-3: } 4 \times 2 \times 7,50 \times 9,20 \times 0,30 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 4140,00 \text{ kN}$$

Taşıyıcı Sistem-2 Kat Ağırlıkları Hesabı:

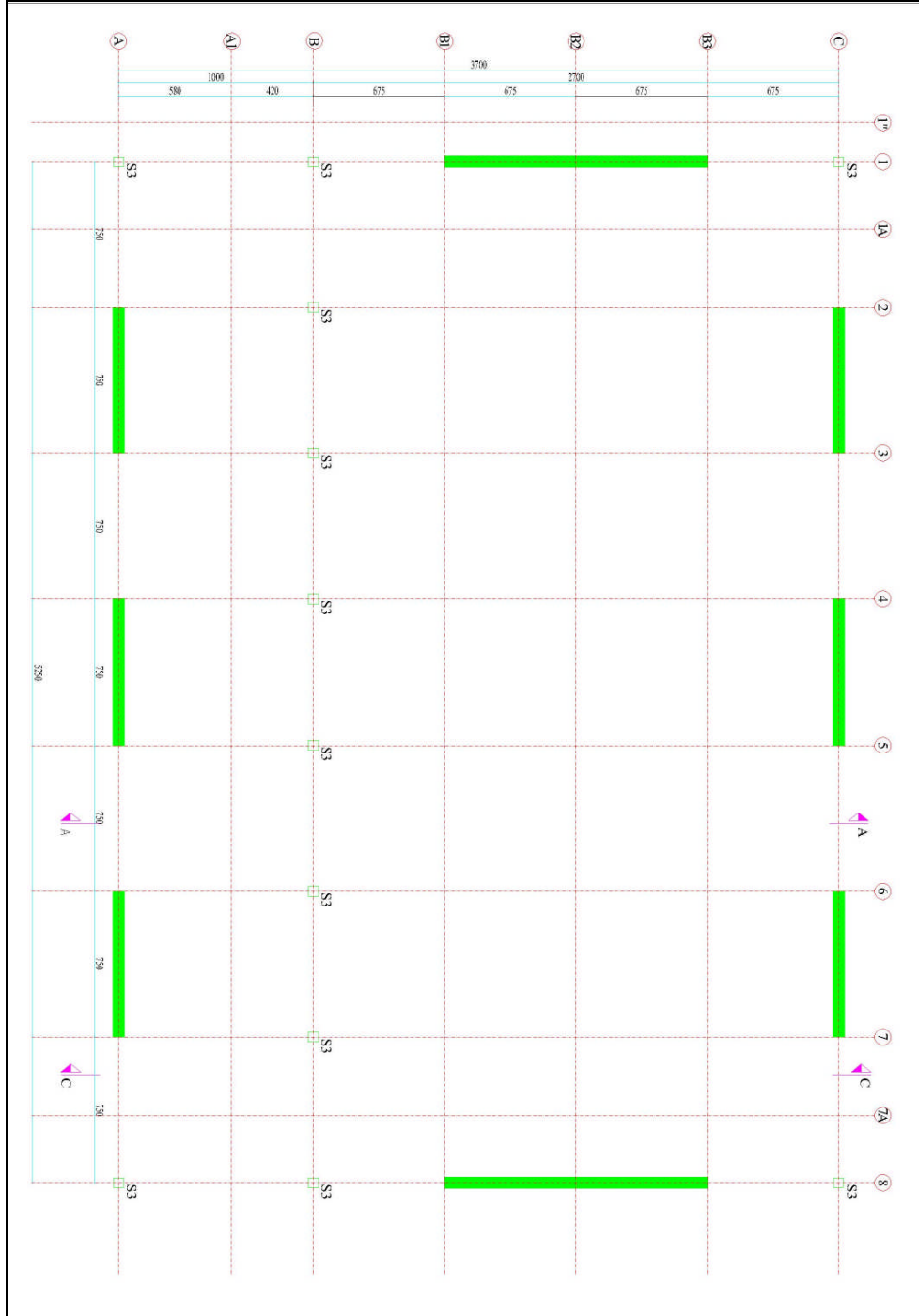
$$W_2 = 922,00 + 3378,00 + 371,18 + 766,15 + 862,50 + 852,00 + 1984,50 + 620,75 + 213,00 + 1862,00 + 1380,00 + 4140,00 + 0,6 \times (2913,75 + 2625,00 + 99,41) = 20734,98 \text{ kN}$$



Şekil 117. Taşıyıcı Sistem-2 kalıp planı

### 2.2.3. Taşıyıcı Sistem-3 Ağırlığının Hesaplanması

Taşıyıcı Sistem-3'de, 1 aksı üzerinde B1-B3 aksları arasında, 8 aksı üzerinde B1-B3 aksları arasında, A aksı üzerinde 2-3, 4-5, 6-7 aksları arasında, C aksı üzerinde 2-3, 4-5, 6-7 aksları arasında perdeler eklenerek türetilmiştir (Şekil 118).



Şekil 118. Taşıyıcı Sistem-3 kalıp planı

Perdelerin Ağırlıkları:

$$\text{Perde-1: } 2 \times 13,50 \times 9,20 \times 0,30 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 1862,00 \text{ kN}$$

$$\text{Perde-2: } 3 \times 2 \times 7,50 \times 9,20 \times 0,30 \times 25 \text{ kN / m}^3 = 3105,00 \text{ kN}$$

Taşıyıcı Sistem-3 Kat Ağırlıkları Hesabı:

$$W_3 = 922,00 + 3378,00 + 371,18 + 766,15 + 862,50 + 852,00 + 1984,50 + 620,75 + 213,00 + 1862,00 + 3105,00 + 0,6 \times (2913,75 + 2625,00 + 99,41) = 15319,98 \text{ kN}$$

#### 2.2.4. Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5 Ağırlıklarının Hesaplanması

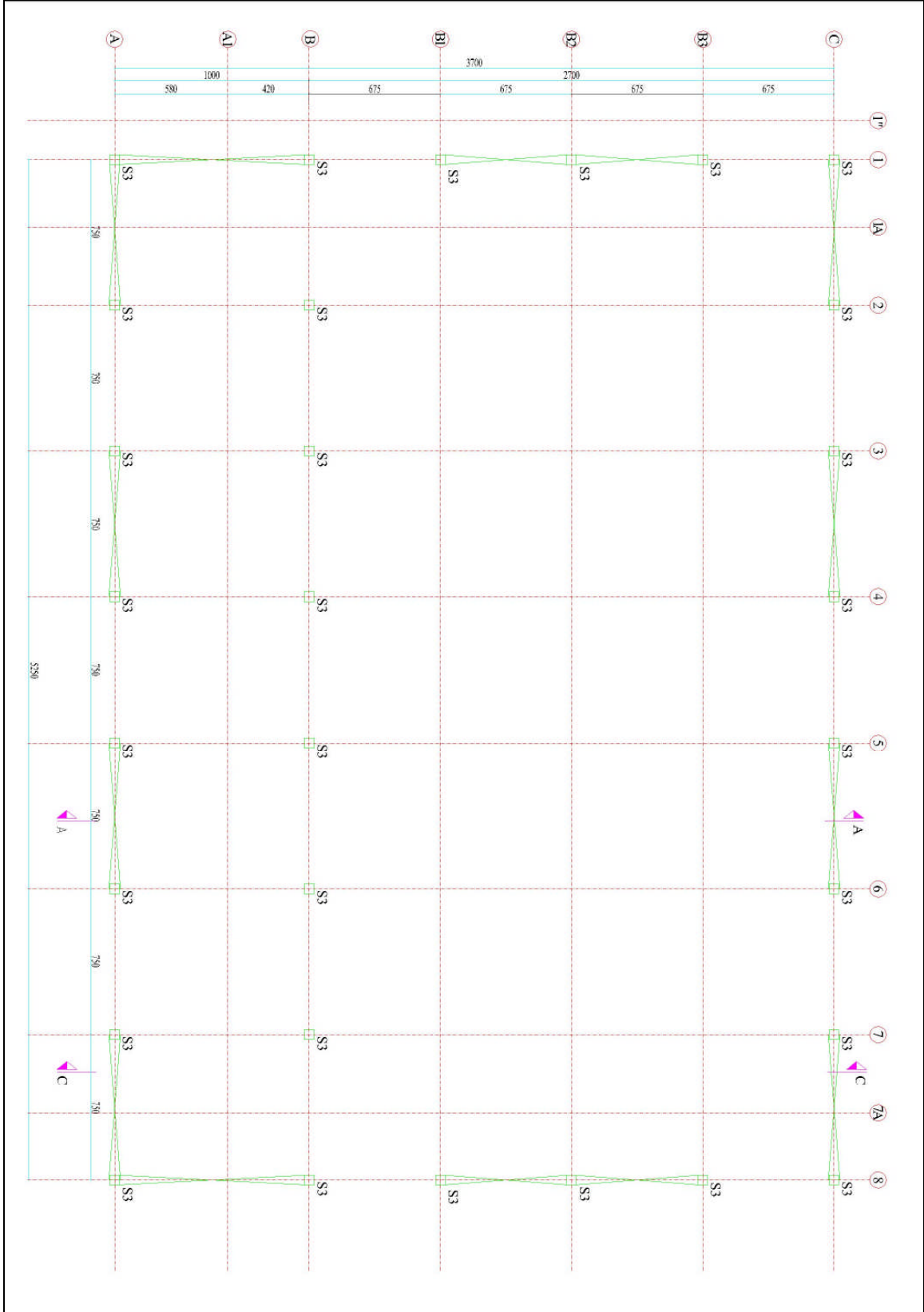
Taşıyıcı Sistem-4'de, 1 aksı üzerinde A-B aksları ve B1-B3 aksları arasında, 8 aksı üzerinde A-B aksları ve B1-B3 aksları arasında, A aksı üzerinde 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 aksları arasında, C aksı üzerinde 1-2, 3-4, 5-6, 7-8 aksları arasında çelik profillerden oluşan diyagonaller eklenerek türetilmiştir (Şekil 119).

Taşıyıcı Sistem-5'de, 1 aksı üzerinde B1-B3 aksları arasında, 8 aksı üzerinde B1-B3 aksları arasında, A aksı üzerinde 2-3, 4-5, 6-7 aksları arasında, C aksı üzerinde 2-3, 4-5, 6-7 aksları arasında perdeler eklenerek türetilmiştir (Şekil 120).

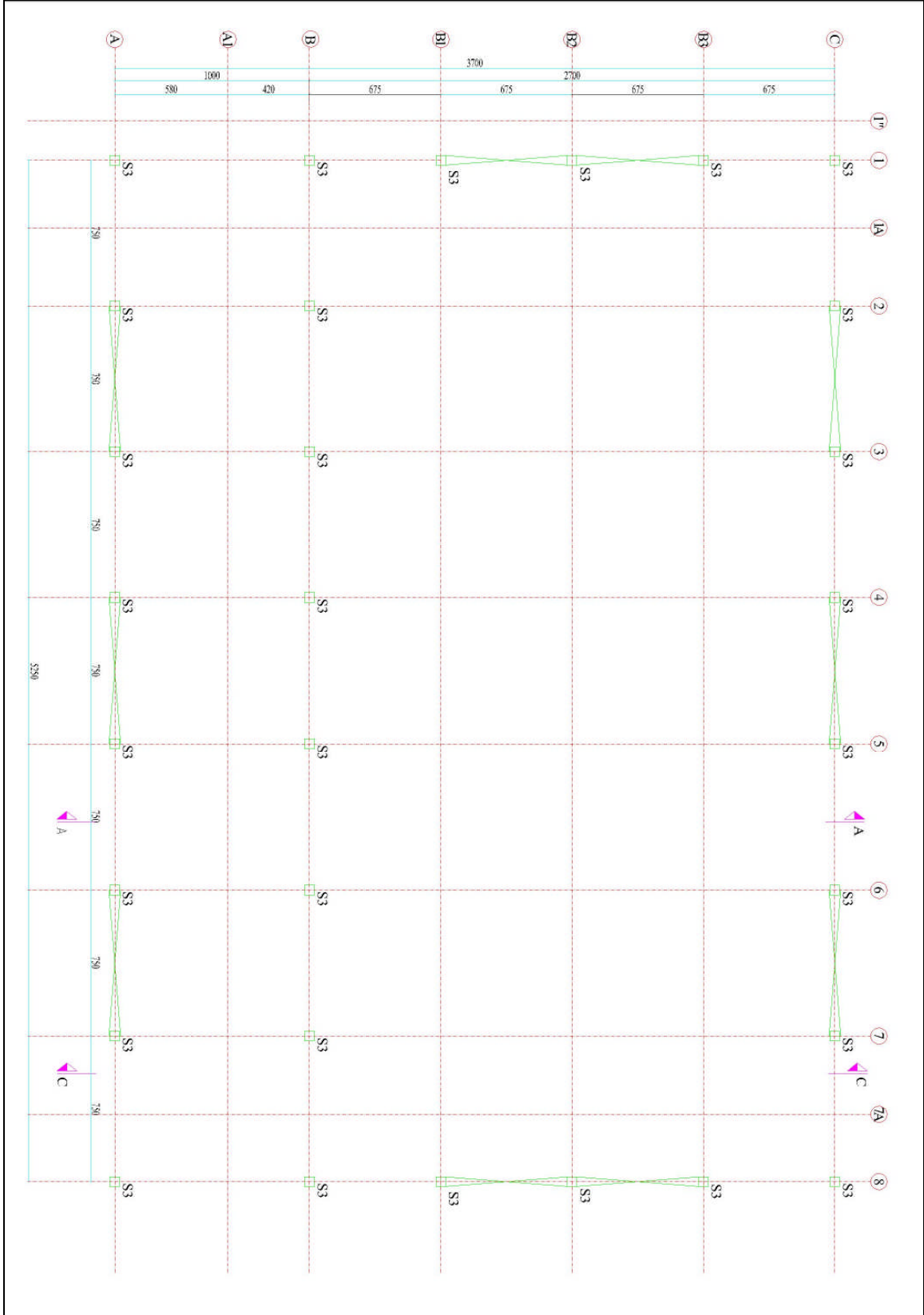
Seçilen diyagonal, 50 x 50 mm L kesitli olup et kalınlığı 5,0 mm' dir. Birim ağırlığı ise 3,770 kg / m (0,0377 kN / m)'dir. Diyagonal ağırlıkları diğer sistem ağırlıklarından göz ardı edilebilecek kadar küçük olduğundan, hesaplama dahil edilmemiştir.

Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5 Kat Ağırlıkları Hesabı:

$$W_4 = W_5 = 13352,98 \text{ kN}$$



Şekil 119. Taşıyıcı Sistem-4 kalıp planı



Şekil 120. Taşıyıcı Sistem-5 kalıp planı

Tablo 2. Taşıyıcı sistem ağırlıkları

Sistemler	Taşıyıcı Sistem Ağırlıkları (kN)
Taşıyıcı Sistem-1	13352,98
Taşıyıcı Sistem-2	20734,98
Taşıyıcı Sistem-3	15319,98
Taşıyıcı Sistem-4	13352,98
Taşıyıcı Sistem-5	13352,98

Tüm sistemlerin birinci periyodunu belirleyebilmek için fiktif yükler etkisinde kat seviyelerinde oluşan kat ötelemelerinin ( $d_f$ ) belirlenmesi gerekir. Ya da yüklenen kuvvet yapının periyodunu değiştirmeyeceği için fiktif yükler yerine herhangi bir yük girilebilir. DY-2007'ye göre, kat ötelemeleri bilgisayar programları yardımıyla hesaplanmalıdır. Çünkü farklı iki doğrultu için çok açıklıklı ve çok katlı bir binanın fiktif yükleme altındaki kat ötelemelerinin hesaplanması oldukça zordur. Bu çalışmada kat ötelemelerini belirlemek için SAP-2000 programı kullanılmıştır.

### 2.3. Prefabrike Kapalı Spor Salonunun Fiktif Yükleme Etkisi Altında Kat Ötelemelerinin Sonlu Elemanlar Kullanan SAP-2000 Programıyla Belirlenmesi

Prefabrike kapalı spor salonu binasının ve bu sistemden üretilen diğer dört sistemin fiktif yükleme altında her iki yöndeki kat ötelemeleri, SAP-2000 paket programı yardımıyla belirlenmiştir. Bu çalışma için seçilen Taşıyıcı Sistem-1'de (kolon-kiriş) kolonlar, oluk kirişleri, aşık kirişleri, arakat kirişleri çubuk eleman (frame) olarak tanımlanmış, döşeme panelleri ve makas kirişleri ise kabuk eleman (shell) olarak tanımlanmıştır. Taşıyıcı Sistem-2 ve Taşıyıcı Sistem-3'de, perde elemanlar kabuk (shell) eleman olarak tanımlanmıştır. Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5'de diyagonaller çubuk (frame) eleman olarak tanımlanmıştır. Yapılan çözümlerden iki yönde elde edilen kat ötelemeleri Tablo 3'de verilmektedir [29].

Tablo 3. Fiktif yükler altında kat ötelemeleri

Sistemler	Uzun kenar doğrultusunda (x yönünde) kat ötelemeleri $d_{fi}$ (cm)	Kısa kenar doğrultusunda (y yönünde) kat ötelemeleri $d_{fi}$ (cm)
Taşıyıcı Sistem-1	0,5226	0,1413
Taşıyıcı Sistem-2	0,0342	0,0001
Taşıyıcı Sistem-3	0,0360	0,0002
Taşıyıcı Sistem-4	0,0894	0,0502
Taşıyıcı Sistem-5	0,0920	0,0671

#### 2.4. Prefabrike Kapalı Spor Salonunun ve Tasarlanan Tüm Sistemlerin Kat Seviyelerine Gelen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı

Prefabrike kapalı spor salonunun ve tüm sistemlerinin fiktif yükler etkisinde yapılan yapısal çözümlemesi sonucunda elde edilen kat ötelemelerine bağlı olarak, yapının uzun ve kısa doğrultularındaki birinci periyodu (doğal periyodu) hesaplanır. Eşdeğer deprem yükünü belirlemek için gerekli olan Bina Önem Katsayısı (I), Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), Etkin Yer İvmesi  $A_0$ , Spektrum katsayısı  $S(T)$ , Deprem Yükü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$  ile ilgili tablolar aşağıda verilmektedir.

- Bina Önem Katsayısı (I):

Bu çalışmanın konusu olan Prefabrike Kapalı Spor Salonu, Bina Önem Katsayısı (I) tablosunda üçüncü maddede bahsedilen “insanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar” dan spor tesisleri sınıfına girmekte ve bu sınıfın “Bina Önem Katsayısı  $I=1,2$ ” dir.

- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R):

Tablo 4. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR	SDN Sistem	SDY Sistem
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar.	3	6
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temele ankastre, üstte mafsallı tek katlarla taşındığı binalar.	-	5
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.	-	4
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından taşındığı binalar.	3	5



Hesaplamalarda Taşıyıcı Sistem-1 olarak adlandırdığımız sistemde Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  $R = 5$  olarak alınmış, Taşıyıcı Sistem-2 ve Taşıyıcı Sistem-3’de yatay yükler perdelerle, Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5’de yatay yükler çelik diyagonallerle taşındığı için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı  $R = 4$  olarak alınmıştır.

- Etkin Yer İvmesi ( $A_0$ ):

Tablo 5. Etkin yer ivmesi katsayısı( $A_0$ )

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Hesaplamalarda, 4.deprem bölgesi seçilmiş olup Etkin Yer İvmesi Katsayısı  $A_0 = 0,10$  olarak alınmıştır.

- Spektrum katsayısı  $S(T)$ :

Tablo 6. Spektrum katsayısı  $S(T)$

Periyot Aralığı	$S(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1 + \frac{1.5T}{T_A}$
$T_A \leq T \leq T_B$	2,5
$T > T_B$	$2,5 \frac{T_B}{T^{0.8}}$

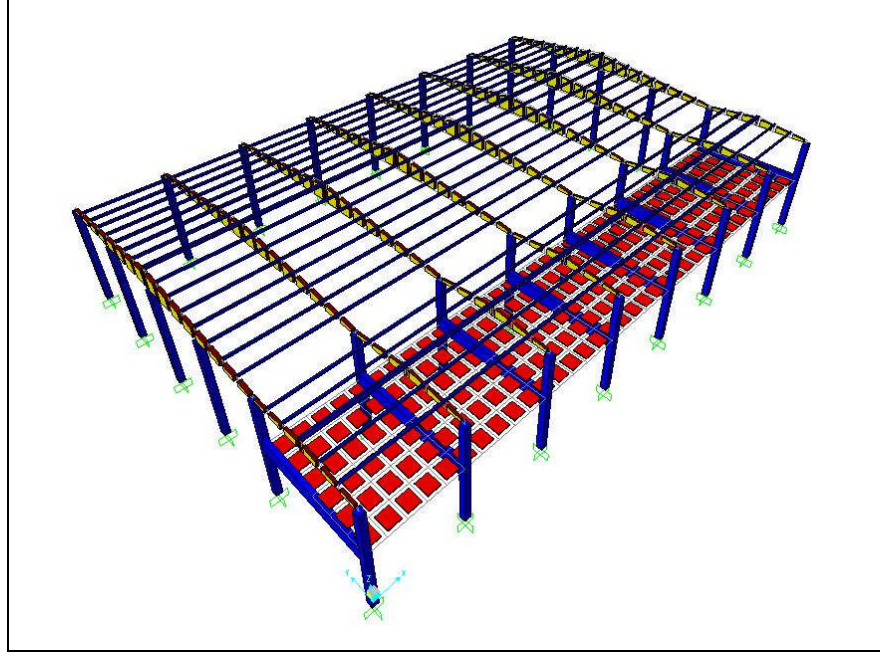
- Deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T)$ :

Tablo 7. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı  $R_a(T)$

Periyot Aralığı	$R_a(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1,5 + R - 1,5 \frac{T_1}{T_A}$
$T > T_A$	R

### 2.4.1. Taşıyıcı Sistem-1 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı

Prefabrike kapalı spor salonunun doğal taşıyıcı sisteminin (taşıyıcı sistem-1) SAP 2000’de oluşturulan modeli Şekil 121’de gösterilmektedir.



Şekil 121. Taşıyıcı Sistem-1 SAP-2000’de oluşturulan model

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N w_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}}} \quad (9)$$

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için birinci periyot;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(13352,98 \times 0,005226^2) / 9,81}{1000 \times 0,005226}}$$

$$T_1 = 0.53 \text{ s}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu için) birinci periyot;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(13352,98 \times 0,001413^2) / 9,81}{1000 \times 0,001413}}$$

$$T_1 = 0,28 \text{ s}$$

şeklinde belirlenmiştir. Buna göre binanın eşdeğer deprem yüküyle belirlenmesi işlemi her iki doğrulu için ayrı ayrı belirlenir.

Yapı Z3 zemin sınıfında olduğundan  $T_A = 0,15 \text{ s}$  ve  $T_B = 0,60 \text{ s}$ 'dir.

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum katsayısı S(T):

$T_A \leq T \leq T_B$  olduğundan;

$$S(T) = 2,5$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (10)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 2,5$$

$$A(T) = 0,300$$

- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ )

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 IW \quad (11)$$

$$V_t = \frac{13352,98 \times 0,300}{5} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 13352,98$$

$$V_t = 801,18 \geq 160,24$$

$$V_t = 801,18 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t \quad (12)$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 801,18$$

$$\Delta F_N = 6,01 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^N w_j h_j} \quad (13)$$

$$F_t = (801,18 - 6,01) \frac{13352,98 \times 9,20}{122847,42}$$

$$F_t = 795,17 \text{ kN}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum Katsayısı S(T):

$$T_A \leq T \leq T_B \text{ olduğundan;}$$

$$S(T) = 2,5$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 2,5$$

$$A(T) = 0,300$$

- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ ):

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 IW$$

$$V_t = \frac{13352,98 \times 0,300}{5} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 13352,98$$

$$V_t = 801,18 \geq 160,24$$

$$V_t = 801,18 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 801,18$$

$$\Delta F_N = 6,01 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

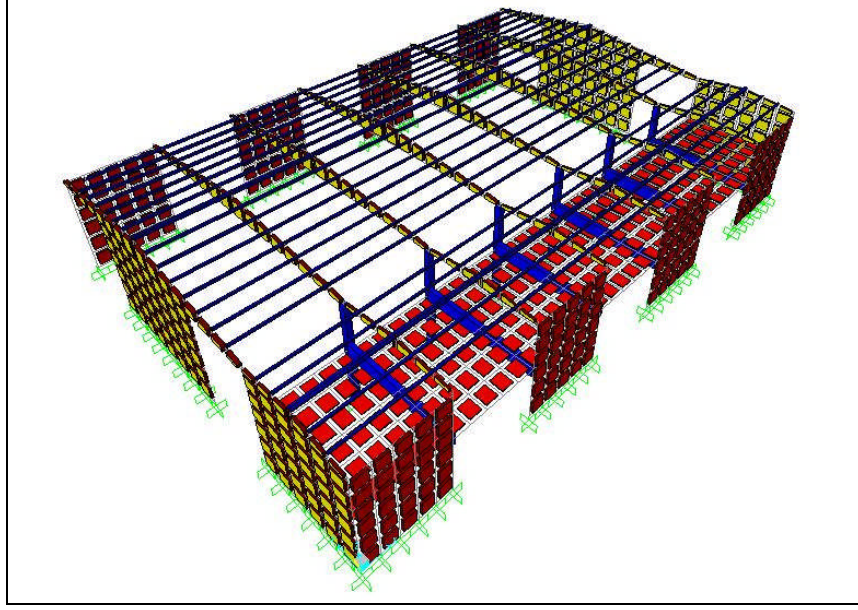
$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^N w_j h_j}$$

$$F_t = (801,18 - 6,01) \frac{13352,98 \times 9,20}{122847,42}$$

$$F_t = 795,17 \text{ kN}$$

#### 2.4.2. Taşıyıcı Sistem-2 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı

Prefabrike kapalı spor salonunun taşıyıcı sistemine sık perde eklenerek elde edilen sistemin (taşıyıcı sistem-2) SAP 2000'de oluşturulan modeli Şekil 122'de gösterilmektedir.



Şekil 122. Taşıyıcı Sistem-2 SAP-2000’de oluşturulan model

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N w_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}}}$$

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için birinci periyot;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(20734,98 \times 0,000342^2) / 9,81}{1000 \times 0,000342}}$$

$$T_1 = 0.17 \text{ s}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu için) birinci periyodu;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(20734,98 \times (10^{-6})^2) / 9,81}{1000 \times (10^{-6})}}$$

$$T_1 = 9 \times 10^{-3} \text{ s}$$

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum katsayısı S(T):

$T_A \leq T \leq T_B$  olduğundan;

$$S(T) = 2,5$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 2,5$$

$$A(T) = 0,300$$

- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ ):

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 IW$$

$$V_t = \frac{20734,98 \times 0,300}{4} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 20734,98$$

$$V_t = 1555,12 \geq 248,82$$

$$V_t = 1555,12 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 1555,12$$

$$\Delta F_N = 11,66 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_t h_t}{\sum_{j=1}^N w_j h_j}$$

$$F_t = (1555,13 - 11,66) \frac{20734,98 \times 9,20}{190761,82}$$

$$F_t = 1543,47 \text{ kN}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum Katsayısı S(T):

$0 \leq T \leq T_A$  olduğundan;

$$S(T) = 1 + \frac{1.5T}{T_A} \quad (14)$$

$$S(T) = 1 + \frac{1.5 \times 9 \times 10^{-3}}{0,15}$$

$$S(T) = 1,09 \text{ s}$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 1,09$$

$$A(T) = 0,131$$

- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ ):

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 I W$$

$$V_t = \frac{20734,98 \times 0,131}{4} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 20734,98$$



$$V_t = 679,07 \geq 248,82$$

$$V_t = 679,07 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 679,07$$

$$\Delta F_N = 5,09 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

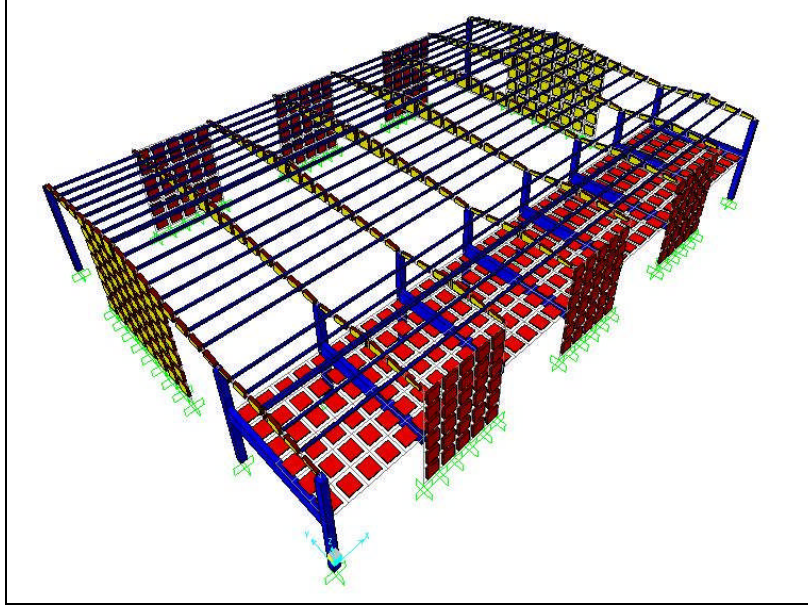
$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^N w_j h_j}$$

$$F_t = (679,07 - 5,09) \frac{20734,98 \times 9,20}{190761,82}$$

$$F_t = 673,98 \text{ kN}$$

### 2.4.3. Taşıyıcı Sistem-3 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı

Prefabrike kapalı spor salonunun taşıyıcı sistemine az sıklıkta perde eklenerek elde edilen sistemin (taşıyıcı sistem-3) SAP 2000'de oluşturulan modeli Şekil 123'de gösterilmektedir.



Şekil 123. Taşıyıcı Sistem-3 SAP-2000’de oluşturulan model

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N w_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}}}$$

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için birinci periyot;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(15319,98 \times 0,000360^2) / 9,81}{1000 \times 0,000360}}$$

$$T_1 = 0.15 \text{ s}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu için) birinci periyodu;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(15319,98 \times (2 \times 10^{-6})^2) / 9,81}{1000 \times 2 \times 10^{-6}}}$$

$$T_1 = 1,11 \times 10^{-2} \text{ s}$$

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum katsayısı S(T):

$T_A \leq T \leq T_B$  olduğundan;

$$S(T) = 2,5$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 2,5$$

$$A(T) = 0,300$$

- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ ):

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 I W$$

$$V_t = \frac{15319,98 \times 0,300}{4} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 15319,98$$

$$V_t = 1149,00 \geq 183,84$$

$$V_t = 1149,00 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 1149,00$$

$$\Delta F_N = 8,62 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_t h_t}{\sum_{j=1}^N w_j h_j}$$

$$F_t = (1149,00 - 8,62) \frac{15319,98 \times 9,20}{140943,82}$$

$$F_t = 1140,38 \text{ kN}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum Katsayısı S(T):

$0 \leq T \leq T_A$  olduğundan;

$$S(T) = 1 + \frac{1,5T}{T_A}$$

$$S(T) = 1 + \frac{1,5 \times 1,1 \times 10^{-2}}{0,15}$$

$$S(T) = 1,11 \text{ s}$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 1,11$$

$$A(T) = 0,133$$

- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ ):

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 I W$$

$$V_t = \frac{15319,98 \times 0,133}{4} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 15319,98$$

$$V_t = 509,39 \geq 183,84$$

$$V_t = 509,39 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 509,39$$

$$\Delta F_N = 3,82 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

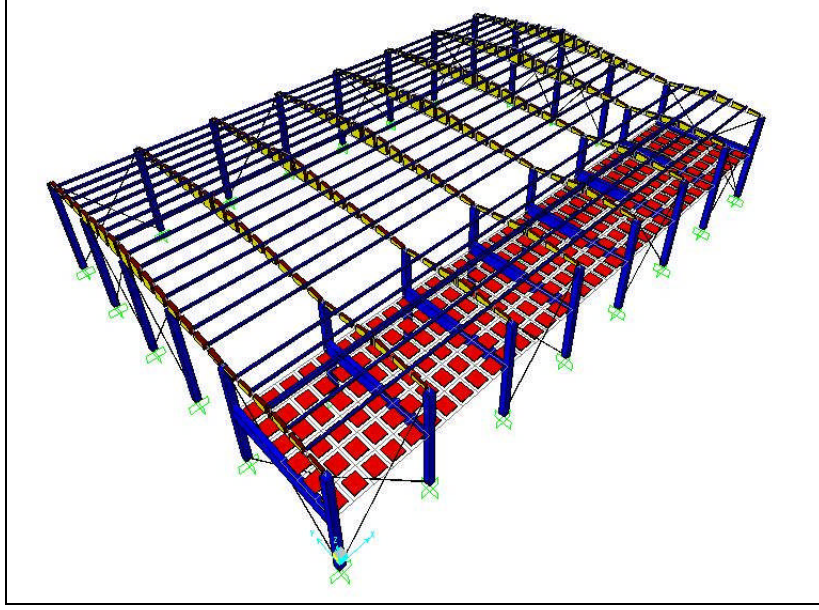
$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^N w_j h_j}$$

$$F_t = (509,39 - 3,82) \frac{15319,98 \times 9,20}{140943,82}$$

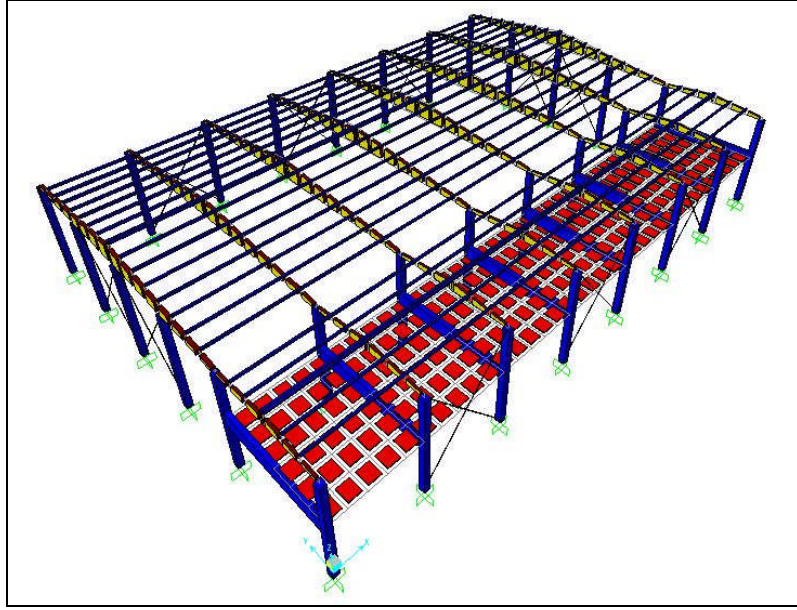
$$F_t = 505,57 \text{ kN}$$

#### 2.4.4. Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5 Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yüklerinin Hesabı

Prefabrike kapalı spor salonunun taşıyıcı sistemine sık çelik diyagonal eklenerek elde edilen sistem (taşıyıcı sistem-4) ve daha az sıklıkta çelik diyagonal eklenerek elde edilen sistem (taşıyıcı sistem-5) SAP 2000'de oluşturulan modeli Şekil 124, 125'de gösterilmektedir.



Şekil 124. Taşıyıcı Sistem-4 Sap-2000’de oluşturulan model



Şekil 125. Taşıyıcı Sistem-5 SAP-2000’de oluşturulan model

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N w_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}}}$$

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için birinci periyot;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(13352,98 \times 0,000894^2) / 9,81}{1000 \times 0,000894}}$$

$$T_1 = 0,22 \text{ s}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu için) birinci periyodu;

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(13352,98 \times 0,000502^2) / 9,81}{1000 \times 0,000502}}$$

$$T_1 = 0,16 \text{ s}$$

Uzun kenar doğrultusu (x doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum Katsayısı S(T):

$$T_A \leq T \leq T_B \text{ olduğundan;}$$

$$S(T) = 2,5$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 2,5$$

$$A(T) = 0,300$$

- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ ):

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 IW$$

$$V_t = \frac{13352,98 \times 0,300}{4} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 13352,98$$

$$V_t = 1001,47 \geq 160,24$$

$$V_t = 1001,47 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 1001,47$$

$$\Delta F_N = 7,51 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_t h_t}{\sum_{j=1}^N w_j h_j}$$

$$F_t = (1001,47 - 7,51) \frac{13352,98 \times 9,20}{122847,42}$$

$$F_t = 993,96 \text{ kN}$$

Kısa kenar doğrultusu (y doğrultusu) için Eşdeğer Deprem yükünün belirlenmesi;

- Spektrum Katsayısı S(T):

$$T_A \leq T \leq T_B \text{ olduğundan;}$$

$$S(T) = 2,5$$

bulunur.

- Spektral ivme katsayısı A(T):

$$A(T) = A_0 I S(T)$$

$$A(T) = 0,10 \times 1,2 \times 2,5$$

$$A(T) = 0,300$$



- Taban kesme kuvveti ( $V_t$ ):

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 IW$$

$$V_t = \frac{13352,98 \times 0,300}{4} \geq 0,10 \times 0,10 \times 1,2 \times 13352,98$$

$$V_t = 1001,47 \geq 160,24$$

$$V_t = 1001,47 \text{ kN}$$

olarak bulunur. Daha sonra katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi için,

$$\Delta F_N = 0,0075 N V_t$$

ile tanımlanan ek eşdeğer deprem yükü hesaplanır.

$$\Delta F_N = 0,0075 \times 1 \times 1001,47$$

$$\Delta F_N = 7,51 \text{ kN}$$

- Kat seviyesine etkiyen deprem yükü;

$$F_t = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i h_i}{\sum_{j=1}^N w_j h_j}$$

$$F_t = (1001,47 - 7,51) \frac{13352,98 \times 9,20}{122847,42}$$

$$F_t = 993,96 \text{ kN}$$

Yapılan hesaplamalar sonunda, bulunan kat seviyesine gelen eşdeğer deprem yükleri Tablo 8'de gösterilmektedir.

Tablo 8. Kat seviyelerine gelen deprem yükleri

Sistemler	Kat Seviyesine Gelen Eşdeğer Deprem Yükü(kN)	
	X Yönü	Y Yönü
Taşıyıcı Sistem-1	795,17	795,17
Taşıyıcı Sistem-2	1543,47	673,98
Taşıyıcı Sistem-3	1140,38	505,57
Taşıyıcı Sistem-4	993,96	993,96
Taşıyıcı Sistem-5	993,96	993,96

Tablo 8'den de görüldüğü gibi, perde sayısının fazla olduğu sistemde (Taşıyıcı Sistem-2) x yönünde kat seviyelerine gelen eşdeğer deprem yükü diğer sistemlerden oldukça fazla çıkmıştır. Prefabrike yapının taşıyıcı sistemine perde eklenmediği (Taşıyıcı Sistem-1) ve çelik diyagonallerde yatay stabilitenin sağlanmaya çalışıldığı sistemlerde (Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5) ise her iki yönde de eşdeğer deprem yükü aynı olmuştur.

### 2.5. Prefabrike Kapalı Spor Salonunun ve Tasarlanan Tüm Sistemlerin, Kat Seviyelerine Gelen Eşdeğer Deprem Yükleri Etkisi Altında Kat Ötelemelerinin Sonlu Elemanlar Kullanan SAP-2000 Programıyla Belirlenmesi

Prefabrike kapalı spor salonunun ve tüm sistemlerinin, hesaplanmış olan eşdeğer deprem yükleri etkisinde yapılan yapısal çözümlemesi sonucunda elde edilen kat ötelemeleri Tablo 9'de gösterilmektedir.

Tablo 9. Eşdeğer Deprem Yükleri Etkisi Altında Yer değiştirmeler

Sistemler	Uzun kenar doğrultusunda (x yönünde) kat ötelemeleri $d_i$ (mm)	Kısa kenar doğrultusunda (y yönünde) kat ötelemeleri $d_i$ (mm)
Taşıyıcı Sistem-1	138,556	37,458
Taşıyıcı Sistem-2	0,173	0,025
Taşıyıcı Sistem-3	0,645	0,045
Taşıyıcı Sistem-4	29,622	16,629
Taşıyıcı Sistem-5	30,480	22,244

Çalışmaya konu olan prefabrike yapının belirlenen eşdeğer deprem yükleri altında, her iki doğrultu için yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlara göre, yatay stabiliteyi sağlamak için hiçbir eleman bulunmadığı sistemde (Taşıyıcı Sistem-1) uzun kenar doğrultusunda 138,556 mm, kısa kenar doğrultusunda ise 37,478 mm yer değiştirme olmuştur. Bu sistem, genellikle bugün bile sanayi yapılarında uygulanan taşıyıcı sistemlere bir örnek olmaktadır. Geçmişte doluşan depremler nedeniyle aşık kirişlerinin birleşimlerinden çıkması ve prefabrike çerçevelerin hasar görmesini daha iyi açıklamaktadır.

Kat ötelemeleri Tablo-9'da da görüldüğü gibi yatay stabiliteyi artırmak için yerleştirilen perdelerle minimum düzeyde tutulabilmektedir. Ancak bu durumda da yapı maliyeti etkilemektedir. Ancak çelik diyagonallerin yerleştirilmeleri nedeniyle de yapıda oluşan kat ötelemeleri makul düzeylere çekilebilmektedir. Bu durumda diyagonal kullanımı tercih edildiğinde, aşık-çerçeve birleşiminin bu yer değiştirmeye izin verebilecek tarzda tasarlanması gerekmektedir.

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, birinci bölümde betonarme prefabrike yapı tasarımı ve birleşimler hakkında bir sentez çalışma yapılmış, yapılan çalışmalar bölümünde ise, mafsal bağlantılı tek katlı bir prefabrike yapı ele alınmıştır. Mart 2007'de yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te bulunan Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'ne göre ele alınan yapının her iki yöndeki yer değiştirmeleri SAP-2000 versiyon 8.15 paket programıyla hesaplanmıştır. Bu prefabrike yapının taşıyıcı sistemi geliştirilerek iki adet perdeli, iki adet de çelik diyagonalli olmak üzere dört sistem tasarlanmış ve bu yeni sistemler de ve Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile her iki yöndeki yer değiştirmeleri hesaplanmıştır.

Betonarme prefabrike yapının taşıyıcı sistemi Taşıyıcı Sistem-1, sık perde eklenerek oluşturulan sistem Taşıyıcı Sistem-2, daha az sıklıkta perde eklenerek oluşturulan sistem Taşıyıcı Sistem-3, sık çelik diyagonallerle oluşturulan sistem Taşıyıcı Sistem-4, daha az sıklıkta çelik diyagonallerle oluşturulan sistem Taşıyıcı Sistem-5 olarak adlandırılmıştır.

Bu çalışmalar ve analizler sonucunda mafsal bağlantılı betonarme prefabrike yapının eşdeğer deprem yükü altındaki davranışı hakkında şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Günümüzde özellikle sanayi yapılarının inşasında betonarme prefabrike yapılar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların fabrikalarda üretilmesi nedeniyle, istenilen kalitede ve kontrollü bir şekilde yapılabilmektedir.
- Prefabrike yapı elemanlarının taşınması, şantiyede montajları ağırlıkları nedeni ile problem oluşturmaktadır. Bunun için daha küçük boyutlu ve hafif elemanların üretilebilmesine yönelik araştırma ve geliştirme faaliyetleri devam etmektedir. Bununla birlikte daha az sayıda birleşim noktası oluşturulması yönünde yoğun bir çalışma gözlemlenmektedir.
- Prefabrike yapılarda mafsal ve moment aktaran birleşimler değişik şekillerde yapılmaktadır. Bu birleşimlerden bazılarında meydana gelen depremlerden dolayı büyük hasarlar oluşmuş, bu nedenle de yeni birleşimler geliştirilmiştir. Ancak geliştirilen her bir birleşim, yapım süresini az da olsa uzatmıştır. Dolayısıyla da prefabrike yapı birleşimleri yönünden hala sorunlar devam etmekte, bu sorunların ortadan kaldırılması için çalışmalarda sürdürülmektedir.

- İncelemeye konu olan tüm yapı sistemlerinde eşdeğere deprem yüküne göre kat ötelemelerinde, uzun doğrultusu olan x-yönü, kısa doğrultuya olan y-yönüne oranla daha çok yer değiştirme yaptığı görülmüştür. Bu nedenle özellikle yapının uzun doğrultusu olan x yönünde, yer değiştirmeleri kısıtlamak için gerekli önlemler alınması gerekmektedir. Zira, ülkemizde oluşan depremler sonucunda aşırı yer değiştirmeler nedeniyle aşıklar yerlerinden çıkmış ve prefabrike yapıların hasar görmelerine neden olmuştur.
- Taşıyıcı Sistem-1, her iki yönde de en fazla yer değiştirme yapan sistemdir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'te bulunan bu tür mafsallı bağlantılı çerçevesiz taşıyıcı sistemlere, her iki doğrultuda yatay deprem yüklerinin tamamını taşıyabilen yerinde dökme betonarme perdeler yapılması koşulunun gerekliliği görülmektedir.
- Sık perde eklenerek oluşturulan Taşıyıcı Sistem-2, Taşıyıcı Sistem-1'e göre x yönünde yaklaşık 1/800 oranında yer değiştirme yapmış, y yönünde yaklaşık 1/1500 oranında yer değiştirme yapmıştır. Daha az sıklıkta perdeler eklenerek oluşturulan Taşıyıcı Sistem-3, Taşıyıcı Sistem-1'e göre x yönünde yaklaşık 1/215 oranında yer değiştirme yapmış, y yönünde yaklaşık 1/830 oranında yer değiştirme yapmıştır. Oranlardan da görüldüğü gibi Taşıyıcı Sistem-2 ve Taşıyıcı Sistem-3 her iki yönde de en az yer değiştirme yapmışlardır. Dolayısıyla da perdeli sistemler diğer sistemlere göre daha iyi davranış göstermişlerdir.
- Sık çelik diyagonallerden oluşan Taşıyıcı Sistem-4, Taşıyıcı Sistem-1'e göre x yönünde yaklaşık 1/5 oranında yer değiştirme yapmış, y yönünde yaklaşık 1/2 oranında yer değiştirme yapmıştır. Daha az sıklıkta çelik diyagonallerden oluşan Taşıyıcı Sistem-5, Taşıyıcı Sistem-1'e göre x yönünde yaklaşık 1/4 oranında yer değiştirme yapmış, y yönünde yaklaşık 1/1.5 oranında yer değiştirme yapmıştır. Kullanılan çelik diyagonalin kesiti 50x50x5 mm olmasına rağmen özellikle yapının uzun doğrultusu olan x yönünde iyi sonuç vermektedir. Böylelikle çelik diyagonallerin kesitlerinin artırılması ile yer değiştirmelerde daha iyi sonuçlar alınacağı görülmektedir.
- Perdeli sistemler ile çelik diyagonallerden oluşan sistemler karşılaştırıldığında; Taşıyıcı Sistem-2, Taşıyıcı Sistem-4'e göre x yönünde yaklaşık 1/170 oranında yer değiştirme yapmış, y yönünde yaklaşık 1/670 oranında yer değiştirme yapmıştır. Taşıyıcı Sistem-3, Taşıyıcı Sistem-5'e göre x yönünde yaklaşık 1/50

oranında yer değiştirme yapmış, y yönünde yaklaşık 1/500 oranında yer değiştirme yapmıştır.

- Taşıyıcı Sistemlerin ağırlıkları karşılaştırıldığında (Tablo-7), sık perdeli sistem olan Taşıyıcı Sistem-2 ve Taşıyıcı Sistem-3 diğer sistemlerin ağırlıklarının yaklaşık 1,5 kat fazla ağırlıktadır.. Ağırlığa bağlı olarak bu sistemlerin kat seviyesine etkiyen deprem yükü de diğer sistemlere göre en fazladır. Dolayısıyla perdeli sistemler olan bu sistemlerin ağırlıklarının diğer sistemlere oranla fazla olması temel masrafını artıracadığı düşünölmektedir. Taşıyıcı Sistem-4 ve Taşıyıcı Sistem-5’de eklenen çelik diyagonallerin ağırlıkları göz ardı edilebilecek düzeyde olması nedeniyle, bu sistemlerin temel masrafını artırmayacadığı düşünölmektedir.

Özetle, mafsal bağlantılı çerçeve türü betonarme prefabrike yapılarda her iki doğrultuda, yatay deprem yükleri sonucu oluşacak ötelemeleri kısıtlamak için yerinde dökme betonarme perdeler veya daha büyük kesitli çelik diyagonaller yapılmasının gerekliliği görölmektedir. Bununla birlikte, prefabrike yapı birleşimlerinin uygun teknikle yapılması bu birleşimlerin deprem nedeniyle oluşun yer değiştirmeleri karşılayacak şekilde yapılması gerekmektedir.

Bu çalışma prefabrike yapılar üzerinde bir sentez çalışması olarak gerçekteştirilmiştir. Bununla birlikte tek katlı bir prefabrike yapının yatay yükleri karşılayacak elemanlar kullanılarak yatay yüklere göre davranışları incelenmiştir. Bu nedenle, prefabrike yapılarda kullanılan birleşimlerin özellikle deprem yüklerine karşı etkinliklerinin araştırılması ve farklı bir birleşimin kullanılabilirlik ve ekonomiklik koşulları da dikkate alınarak teorik ve deneysel bir çalışmayla ortaya konulması önerilmektedir.

#### 4. KAYNAKLAR

1. Eser, L., Endüstrileşmiş Yapı, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul, 1982
2. Sözbir, Ö., Prefabrike Yapılar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı ile Belediyeler Dergisi, 37 (2008).
3. Acar, M. Ş., Türkiye’de Beton Prefabrikasyonun Tarihçesi, Türkiye Prefabrik Birliği, İstanbul, 2006.
4. [http://makaleler.ahsapkarkas.com/Haber/Ekoloji\\_ve\\_Ahap.aspx](http://makaleler.ahsapkarkas.com/Haber/Ekoloji_ve_Ahap.aspx), Ahşap Karkas, Ekoloji ve Ahşap–Türkiye’de Ahşap Malzemenin Geleceği, 2 Şubat 2009.
5. Sezer, R., Prefabrik Yapıların Tasarımı Ders Notları, Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, 2006.
6. [http://www.arch.mcgill.ca/prof/sjpkcs/arch304/winter2001/cszasz/EEB/eeb\\_a1p2.htm](http://www.arch.mcgill.ca/prof/sjpkcs/arch304/winter2001/cszasz/EEB/eeb_a1p2.htm), The Green and Not-So-Green Aspects of Two Buildings, 13 Ocak 2009.
7. <http://www.kisho.co.jp/page.php/209>, Nakagin Capsule Tower, 26 Ocak 2009.
8. <http://www.bilesim.com.tr/tr/index.nsf?lf=/tr/leftbarfuarcilik.html&rf=http://www.bilesim.com.tr/mistoportals/showmakale.nsf?xd=1600.xml>, Ardgermeli Sistemler ve Sismik Yapı Yalıtımı, 2 Şubat 2009.
9. Tokman, B. ve Eryılmaz, M. G., Prefabrike Beton Endüstrisinin Dünü, Bugünü ve Yarını, Yapı Dergisi, 271 (2004).
10. Hüsem, M., Prefabrike Yapılar Yüksek Lisans Ders Notları, KTÜ Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2006.
11. <http://www.marmaraprefabrik.com.tr/urunler.htm>, Prefabrik Ürünler, 7 Şubat 2009.
12. Ekinci, C. E., Eminel, M. ve Özçetin, Z., Prefabrikasyonda Doğrular-Yanlışlar, Türkiye Prefabrik Birliği 12. Sempozyum Bildirileri "Prefabrikasyonda Yenilikler ve Eğitim", Kasım 2007, İstanbul.
13. Tezcan, S. S. ve Çolakoğlu, H. K., Betonarme Prefabrike Yapılar Yönetmeliğimizin Zayıflıkları, V. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 2003, İstanbul.
14. Anonim, Prefabrike Betonarme Yapıların Tasarım İlkeleri Kılavuzu, Türkiye Prefabrik Birliği, Ankara, 1990.
15. Ayaydın, Y., Taşıyıcı Duvar Perdeli Prefabrike Yapılar, Yılmaz Ofset Matbaası, İstanbul, 1987.
16. <http://www.ymprefab.com.tr>, Prefabrik Taşıyıcı Sistemler, 7 Şubat 2009.

17. <http://www.alacali.com.tr/tr/systems/alasawa.asp>, Ala-Sawa Sistemi, 12 Ekim 2008.
18. Sayan, F. ve Doyranlı, B., Depreme Dayanıklı Çok Katlı Yapı Tasarımında Japon Prefabrikasyon Teknolojisi: Ala-Sawa Sistemi, Türkiye Prefabrik Birliği 10. Prefabrike Sempozyum Bildirileri “Deprem ve Prefabrikasyon”, 2000, İstanbul.
19. Sayan, F. ve Doyranlı, B., Ard Germeli Çok Katlı Bina Yapım Teknolojisi: Ala-Sawa Sistemi ve Bir Uygulama Örneği: İkea Bayrampaşa, İkea Bayrampaşa Yapım Aşamaları Katalogu, İstanbul, 2007.
20. T.C. Resmi Gazete, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (26454), 06.03.2007.
21. Bayülke, N., 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depreminde Yapısal Hasarlar, <http://angora.deprem.gov.tr/AdanaHasar.htm>, 30 Ağustos 2008.
22. Bayülke, N., 27 Haziran 1998 Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapı Hasarı, Değerlendirmeler, Çözümler ve Öneriler, <http://angora.deprem.gov.tr/AdanaPref.htm>, 30 Ağustos 2008.
23. Ersoy, U., Tankut, T. ve Özcebe, G., 1999 Marmara ve Düzce Depremlerinde Gözlenen Önüretimli Yapı Hasarları, Türkiye Prefabrik Birliği 10. Prefabrike Sempozyum Bildirileri “Deprem ve Prefabrikasyon”, İstanbul, 2000.
24. Saatcioglu, M., Mitchell, D., Tinawi, R., Gardner, N. J., Gillies, A.G., Ghobarah, A., Anderson, D. L. ve Lau, D., The August 17 1999 Kocaeli (Turkey) Earthquake-Damage To Structures, Canadian Journal of Civil Engineering, 28 (2001).
25. Arslan, M. H., Gülay, F. G., A Comparative Study On Strengthening Applications Of Prefabricated Buildings In Earthquake Regions, The Arabian Journal for Science and Engineering, 31 (2006).
26. Türkmen, M., Demir, F., Çırak, İ. F. ve Tekeli, H., Kolon-Kiriş Birleşimleri Mafsallı Prefabrike Yapılarda Deprem Etkilerinden Oluşan Sorunlar ve Öneriler, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Eylül 2005, Antalya, Bildiriler Kitabı.
27. Ersoy, U. ve Tankut, T., Prefabrike Yapıların Proje Kriterleri, Türkiye Prefabrik Birliği 2. Prefabrike Sempozyum Bildirileri, 1987, İstanbul, Bildiriler Kitabı.
28. Doğangün, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, Trabzon, 2002.
29. Computers and Structures Inc. (CSI), “SAP 2000 Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures V7.4”, Berkeley, California, 2000.



## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimi, Trabzon Namık Kemal İlkokulu'nda, ortaöğrenimi Trabzon Yunus Emre Ortaokulu'nda ve lise öğrenimini Trabzon Süper Lisesi'nde tamamladı. 2001 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında "İnşaat Mühendisi" olarak mezun oldu. Aynı yıl KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazandı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.