

152228

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM BÖLGELERİ İÇİN ÇELİK KONUT TEKNOLOJİLERİ  
VE TAŞIYICI SİSTEM ÖNERİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mimar Baran ÇAĞLI**

**(502011124)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004  
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Mayıs 2004**

**Tez Danışmanı :**

**Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI**

**Diğer Jüri Üyeleri :**

**Prof. Dr. Özkan İŞLER ( İ.T.Ü.)**

**Doç. Dr. Turgut ÖZTÜRK ( İ.T.Ü.)**

152228

**MAYIS 2004**

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Amerikan Yönetmelikleri'nde ve Standartları'nda tanımlanan ve deprem bölgelerinde uygulanan depreme dayanıklı yapısal çelik taşıyıcı sistemler ve hafif çelik konut teknolojileri incelenmiştir.

Türkiye'deki deprem bölgelerinde depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemleri kullanabilmek için öncelikle teknik bilgi birikimine ve alt yapıya ihtiyaç vardır. Dünyada geniş uygulama alanına sahip bu taşıyıcı sistemleri Türkiye koşullarına uygun hale getirmek atılması gereken ilk adımdır. Bu ancak, üniversitelerin ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın bünyesinde yapılacak kapsamlı çalışmalarla başarılabilir.

İlk olarak, bu çalışmanın her aşamasında manevi ve teknik yardımlarını esirgemeyen ve bana cesaret veren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Necdet TORUNBALCI'ya sonsuz teşekkürlerimi iletmek istiyorum.

Lise ve üniversite yıllarım boyunca hep yanımda olan değerli dostum Alper KAYNAKÇI'ya ve dostum Sefa EKİZCE'ye manevi ve teknik yardımlarından dolayı teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her türlü maddi ve manevi katkıda bulunan Sayın Truman ŞAKARER'e ve ŞAKARER İNŞAAT çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak, hayatımın her aşamasında beni destekleyen aileme, özellikle de bu çalışmadaki değerli yardımlarından dolayı kardeşim Serkan ÇAĞLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs 2004

Baran ÇAĞLI

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                                 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KISALTMALAR</b>                                                                              | <b>v</b>   |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                                            | <b>vi</b>  |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                                            | <b>vii</b> |
| <b>SEMBOL LİSTESİ</b>                                                                           | <b>x</b>   |
| <b>ÖZET</b>                                                                                     | <b>xi</b>  |
| <b>SUMMARY</b>                                                                                  | <b>xii</b> |
| <br>                                                                                            |            |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                                 | <b>1</b>   |
| 1.1. Giriş                                                                                      | 1          |
| 1.2. Çalışmanın Amacı                                                                           | 1          |
| <br>                                                                                            |            |
| <b>2. YAPISAL ÇELİK</b>                                                                         | <b>3</b>   |
| 2.1. Yapısal Çeliğin İçeriği                                                                    | 3          |
| 2.2. Yapısal Çeliğin Avantajları                                                                | 3          |
| 2.3. Yapısal Çeliğin Dezavantajları                                                             | 8          |
| <br>                                                                                            |            |
| <b>3. DEPREME DAYANIKLI YAPISAL ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER</b>                                    | <b>10</b>  |
| 3.1. Moment Aktaran Çerçevesler                                                                 | 10         |
| 3.1.1. Moment Aktaran Çerçeve Türleri                                                           | 16         |
| 3.1.1.1. Düzenlemeye Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri                                        | 17         |
| 3.1.1.2. Kullanılan Bağlayıcıların Türüne Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri                   | 21         |
| 3.1.1.3. Sünekliğe Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri                                          | 22         |
| 3.1.1.4. Rijitliğe Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri                                          | 24         |
| 3.1.1.5. Bağlantıların ve Elemanların Moment Kapasitelerine Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri | 25         |
| 3.2. Merkezi Çaprazlı Çerçevesler                                                               | 29         |
| 3.2.1. Diyagonal ve X Merkezi Çaprazlı Çerçevesler                                              | 31         |
| 3.2.2. V ve Ters V Merkezi Çaprazlı Çerçevesler                                                 | 31         |
| 3.2.3. K Merkezi Çaprazlı Çerçevesler                                                           | 32         |
| 3.2.4. Çapraz Elemanı-Kolon/Kiriş Bağlantıları                                                  | 32         |
| 3.3. Dışmerkezi Çaprazlı Çerçevesler                                                            | 33         |
| 3.4. Çelik Levha Perde Duvarlı Çerçevesler                                                      | 36         |
| 3.4.1. Çelik Levha Perde Duvarlı Çerçeve Türleri                                                | 39         |
| 3.4.2. Önerilen Çelik Perde Duvar Sistemleri ve Detayları                                       | 41         |
| 3.5. Betonarme ile Kompozit Yapısal Çelik Çerçevesler/Taşıyıcı Sistemler                        | 43         |
| 3.5.1. Kısmi Olarak Sınırlanmış Kompozit Moment Aktaran Çerçevesler                             | 46         |
| 3.5.2. Kompozit Moment Aktaran Çerçevesler                                                      | 48         |
| 3.5.2.1. Özel Kompozit Moment Aktaran Çerçevesler                                               | 48         |
| 3.5.2.2. Ara Kompozit Moment Aktaran Çerçevesler                                                | 50         |

|                                                                                                             |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.5.2.3. Sıradan Kompozit Moment Aktaran Çerçeveler                                                         | 50         |
| 3.5.3. Kompozit Çaprazlı Çerçeveler                                                                         | 50         |
| 3.5.3.1. Kompozit Merkezi Çaprazlı Çerçeveler                                                               | 51         |
| 3.5.3.2. Kompozit Dışmerkezi Çaprazlı Çerçeveler                                                            | 52         |
| 3.5.4. Yapısal Çelik Elemanlarla Kompozit Betonarme Perde Duvarlar                                          | 54         |
| 3.5.5. Kompozit Çelik Levha Perde Duvarlar                                                                  | 56         |
| 3.5.5.1. Kompozit Çelik Levha Perde Duvarların Temel Bileşenleri                                            | 58         |
| 3.5.5.2. Kompozit Çelik Levha Perde Duvarların Kullanıldığı Yapısal Sistemler                               | 61         |
| 3.5.5.3. Geleneksel ve Yenilikçi Kompozit Çelik Levha Perde Duvarlar                                        | 63         |
| 3.5.5.4. Önerilen Kompozit Çelik Levha Perde Duvar Sistemleri                                               | 64         |
| <b>4. DEPREME DAYANIKLI HAFİF ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER</b>                                                  | <b>67</b>  |
| 4.1. Normal Hafif Çelik Taşıyıcı Sistemler                                                                  | 69         |
| 4.1.1. Hafif Çelik Döşeme Çerçeve Sistemi                                                                   | 70         |
| 4.1.2. Taşıyıcı Hafif Çelik Duvar Çerçeve Sistemi                                                           | 75         |
| 4.1.3. Taşıyıcı Olmayan Hafif Çelik Duvar Çerçeve Sistemi                                                   | 80         |
| 4.1.4. Hafif Çelik Çatı Çerçeve Sistemi                                                                     | 80         |
| 4.2. Betonarme ile Kompozit Hafif Çelik Taşıyıcı Sistemler                                                  | 83         |
| 4.2.1. SteelCrete ile Geleneksel Yapım Sisteminin Karşılaştırılması                                         | 86         |
| <b>5. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN VE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERLE İLGİLİ YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI</b> | <b>88</b>  |
| 5.1. Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması                                                           | 88         |
| 5.1.1. Yenilikçi Yapısal Sistemler                                                                          | 89         |
| 5.2. Çelik Taşıyıcı Sistemlerle İlgili Yönetmeliklerin Karşılaştırılması                                    | 92         |
| <b>6. DEPREME DAYANIKLI ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM ÖNERİLERİ</b>                                                 | <b>96</b>  |
| <b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER</b>                                                                                 | <b>101</b> |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                                                            | <b>104</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                                                             | <b>106</b> |

## KISALTMALAR

|               |                                                           |
|---------------|-----------------------------------------------------------|
| <b>CAD</b>    | : Computer Aided Design                                   |
| <b>OSB</b>    | : Oriented Strand Board                                   |
| <b>ECCS</b>   | : European Convention for Constructional Steel Work       |
| <b>AISC</b>   | : American Institute of Steel Construction                |
| <b>LRFD</b>   | : Load and Resistance Factor Design                       |
| <b>UBC</b>    | : Uniform Building Code                                   |
| <b>AIJ</b>    | : Architectural Institute of Japan                        |
| <b>ANSI</b>   | : American National Standards Institute                   |
| <b>ABYYHY</b> | : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik |
| <b>NASFA</b>  | : North American Steel Framing Alliance                   |



**TABLO LİSTESİ**

|                                                                                                 | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>Tablo 5.1.</b> Farklı yönetmeliklerdeki tasarım parametreleri arasındaki karşılaştırma ..... | 94              |
| <b>Tablo 5.2.</b> Çelik binalar için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları (R) ..                | 95              |



## ŞEKİL LİSTESİ

|                                                                                                                                                           | <u>Sayfa No</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Şekil 2.1 : Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma - \epsilon$ ) diyagramı .....                                                                      | 4               |
| Şekil 3.1 : Tipik moment aktaran çerçeve bağlantısı .....                                                                                                 | 12              |
| Şekil 3.2 : Kiriş ve kolon ötelenme mekanizmaları .....                                                                                                   | 14              |
| Şekil 3.3 : Moment aktaran çerçeve bağlantı detayları .....                                                                                               | 15              |
| Şekil 3.4 : Azaltılmış kiriş kesiti veya “Dogbone” kirişi .....                                                                                           | 15              |
| Şekil 3.5 : a) Kaynaklı başlık levhası bağlantısı b) Serbest başlık bağlantısı .....                                                                      | 16              |
| Şekil 3.6 : Uzay moment aktaran çerçeve, çevre moment aktaran çerçeve ve sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçeve .....                       | 17              |
| Şekil 3.7 : (a) Çevre moment aktaran çerçevede kullanılan kolon-ağacı sistemi (b) Düzlemsel moment aktaran çerçevede kullanılan kolon-ağacı sistemi ..... | 19              |
| Şekil 3.8 : Düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeve örnekleri .....                                                                                   | 20              |
| Şekil 3.9 : Şantiye-bulonlu ve şantiye-kaynaklı çelik moment aktaran çerçeve bağlantı örnekleri .....                                                     | 22              |
| Şekil 3.10 : Rijit, yarı-rijit ve esnek bağlantı detayları .....                                                                                          | 25              |
| Şekil 3.11 : Moment aktaran bulonlu alt ve üst levha bağlantıları .....                                                                                   | 26              |
| Şekil 3.12 : Astaneh-Asl tarafından önerilen öngerilmeli elemanlı uç levhası bağlantısı .....                                                             | 27              |
| Şekil 3.13 : Tipik moment aktaran bulonlu alt ve üst levha bağlantısı ....                                                                                | 27              |
| Şekil 3.14 : Moment aktaran bulonlu rijitleştirilmiş alt ve üst köşebent bağlantısı .....                                                                 | 28              |
| Şekil 3.15 : Moment aktaran bulonlu ve kaynaklı alt ve üst levha bağlantısı .....                                                                         | 28              |
| Şekil 3.16 : Moment aktaran bulonlu ve kaynaklı kolon gövdesine bağlı alt ve üst levha bağlantısı .....                                                   | 29              |
| Şekil 3.17 : Moment aktaran bulonlu alt ve üst başlık T profili bağlantısı                                                                                | 29              |
| Şekil 3.18 : Merkezi çaprazlı çerçeveler .....                                                                                                            | 31              |
| Şekil 3.19 : Çaprazlı çerçevelerde kullanılan düğüm noktası levhası bağlantıları .....                                                                    | 33              |
| Şekil 3.20 : Dışmerkezi çaprazlı çerçeveler .....                                                                                                         | 34              |
| Şekil 3.21 : Tipik levha kirişi ve çelik levha perde duvar .....                                                                                          | 36              |
| Şekil 3.22 : Üç çaprazlı çerçeve (üst sıra) ve aynı çerçevelerin çelik levha perde duvarlarla düzenlenmesi .....                                          | 38              |
| Şekil 3.23 : Boşluklu çelik levha perde duvar örnekleri .....                                                                                             | 38              |
| Şekil 3.24 : Çelik levha perde duvar türleri: (a) Standart ve (b) İkili sistem .....                                                                      | 39              |
| Şekil 3.25 : Kesme kuvvetlerine (a) Kesme akmasıyla (b) Gerilme alanı faaliyetiyle karşı koyan çelik levha perde duvarlar .....                           | 40              |

|                   |                                                                                                                           |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.26</b> | : Çelik levha perde duvar sistemleri için tipik düzenlemeler.....                                                         | 41 |
| <b>Şekil 3.27</b> | : Youssef, Troy ve Richard tarafından önerilen çelik levha perde duvar sistemi .....                                      | 42 |
| <b>Şekil 3.28</b> | : Fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu çelik levha perde duvar sistemi .....                                                 | 42 |
| <b>Şekil 3.29</b> | : Fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu çelik levha perde duvar detayları .....                                               | 43 |
| <b>Şekil 3.30</b> | : Kompozit döşeme sistemi .....                                                                                           | 45 |
| <b>Şekil 3.31</b> | : Çelik döşeme sacları .....                                                                                              | 45 |
| <b>Şekil 3.32</b> | : Kayma bağlayıcıları .....                                                                                               | 46 |
| <b>Şekil 3.33</b> | : Kısmi olarak sınırlanmış kompozit bağlantı .....                                                                        | 47 |
| <b>Şekil 3.34</b> | : Betonarme kolon-çelik kiriş moment bağlantısı .....                                                                     | 49 |
| <b>Şekil 3.35</b> | : Birleşimi güçlendirmek için çelik şerit levhaların kullanılması .....                                                   | 49 |
| <b>Şekil 3.36</b> | : Kompozit kolon-çelik kiriş moment bağlantısı .....                                                                      | 49 |
| <b>Şekil 3.37</b> | : Betonla doldurulmuş çelik tüp kolon-çelik kiriş moment bağlantısı .....                                                 | 50 |
| <b>Şekil 3.38</b> | : Betonarme veya kompozit kolon-çelik merkezi çapraz bağlantıları .....                                                   | 52 |
| <b>Şekil 3.39</b> | : Betonla doldurulmuş çelik tüp kolon-çelik merkezi çapraz bağlantısı .....                                               | 52 |
| <b>Şekil 3.40</b> | : Betonarme veya kompozit kolon-çelik dışmerkezi çapraz bağlantısı .....                                                  | 54 |
| <b>Şekil 3.41</b> | : Kısmi olarak betonla sarılmış çelik uç/başlık elemanı .....                                                             | 55 |
| <b>Şekil 3.42</b> | : Tamamen betonla sarılmış çelik uç/başlık elemanı .....                                                                  | 55 |
| <b>Şekil 3.43</b> | : Betonarme duvar-çelik bağ kirişi bağlantı detayı .....                                                                  | 55 |
| <b>Şekil 3.44</b> | : Kompozit uç/başlık elemanlı betonarme duvar-çelik bağ kirişi bağlantı detayı .....                                      | 56 |
| <b>Şekil 3.45</b> | : Kompozit çelik levha perde duvar düzenlemeleri .....                                                                    | 57 |
| <b>Şekil 3.46</b> | : Tipik kompozit çelik levha perde duvarın temel bileşenleri ...                                                          | 58 |
| <b>Şekil 3.47</b> | : Çelik levhanın kesme kuvvetlerine karşı koyması/kesme dayanımı (a) Kompozit perde duvarda (b) Çelik perde duvarda ..... | 59 |
| <b>Şekil 3.48</b> | : Betonun diyagonal basınç alanıyla kesme kuvvetlerine karşı koyması .....                                                | 60 |
| <b>Şekil 3.49</b> | : Kompozit çelik levha perde duvarlı tipik yapısal çelik sistemler .....                                                  | 62 |
| <b>Şekil 3.50</b> | : Geleneksel ve yenilikçi kompozit perde duvarlar .....                                                                   | 63 |
| <b>Şekil 3.51</b> | : Önerilen kompozit çelik levha perde duvar sistemi .....                                                                 | 65 |
| <b>Şekil 3.52</b> | : Fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu kompozit çelik levha perde duvar .....                                                | 66 |
| <b>Şekil 4.1</b>  | : Tipik hafif çelik çerçeveli binanın şematik gösterimi .....                                                             | 70 |
| <b>Şekil 4.2</b>  | : Elemanların aynı düzlemde bulunduğu çerçeve sistemi detayı .....                                                        | 71 |
| <b>Şekil 4.3</b>  | : Hafif çelik döşeme konstrüksiyonu .....                                                                                 | 72 |
| <b>Şekil 4.4</b>  | : Döşeme-temel bağlantısı .....                                                                                           | 73 |
| <b>Şekil 4.5</b>  | : Konsol döşeme-temel bağlantısı .....                                                                                    | 73 |
| <b>Şekil 4.6</b>  | : Döşeme boşluğu detayı .....                                                                                             | 74 |
| <b>Şekil 4.7</b>  | : Hafif çelik duvar konstrüksiyonu .....                                                                                  | 75 |
| <b>Şekil 4.8</b>  | : Tipik taşıyıcı duvar detayı .....                                                                                       | 76 |

|                   |                                                                                                                                  |    |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 4.9</b>  | : Temel-duvar karkası bağlantısı .....                                                                                           | 77 |
| <b>Şekil 4.10</b> | : Sadece kaplama malzemesiyle dikme desteği oluşturulması ..                                                                     | 77 |
| <b>Şekil 4.11</b> | : Şerit ve kaplama malzemesiyle dikme desteği oluşturulması ..                                                                   | 78 |
| <b>Şekil 4.12</b> | : Sadece şeritle dikme desteği oluşturulması .....                                                                               | 78 |
| <b>Şekil 4.13</b> | : Hafif çelik çatı konstrüksiyonu .....                                                                                          | 81 |
| <b>Şekil 4.14</b> | : Tavan kirişi-mertek bağlantısı .....                                                                                           | 81 |
| <b>Şekil 4.15</b> | : Mahya elemanı bağlantısı .....                                                                                                 | 82 |
| <b>Şekil 4.16</b> | : Çatı veya tavan boşluğu .....                                                                                                  | 83 |
| <b>Şekil 4.17</b> | : SteelCrete döşeme/çatı sistemi .....                                                                                           | 85 |
| <b>Şekil 4.18</b> | : SteelCrete duvar sistemi .....                                                                                                 | 86 |
| <b>Şekil 5.1</b>  | : Yenilikçi yapısal sistemler .....                                                                                              | 90 |
| <b>Şekil 5.2</b>  | : İki merkezi çaprazlı çelik çerçeveden yola çıkılarak<br>b mesafesinin değiştirilmesiyle elde edilen yapısal<br>sistemler ..... | 91 |
| <b>Şekil 5.3</b>  | : Bir ters V çaprazlı çerçeveden yola çıkılarak e mesafesinin<br>değiştirilmesiyle elde edilen yapısal sistemler .....           | 92 |



## SEMBOL LİSTESİ

|               |                                                                                 |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $\sigma_E$    | : Kalıcı deformasyonların başladığı noktadaki gerilme-Elastik sınır             |
| $\varepsilon$ | : Şekil değiştirme/deformasyon                                                  |
| $\sigma_F$    | : Çeliğin akma gerilmesi                                                        |
| $P$           | : Düzgün yayılı yük                                                             |
| $A_0$         | : Kesit alanı                                                                   |
| $\sigma_B$    | : Kopma gerçekleşene kadar meydana gelen en büyük anma gerilmesi-Çekme dayanımı |
| $E$           | : Elastisite modülü                                                             |
| $\tau_y$      | : Kesme gerilmesi                                                               |
| $V$           | : En son limit durumu için taban kesme kuvveti                                  |
| $\sigma_{cr}$ | : Levhanın buruşmasındaki normal gerilmenin kritik değeri                       |
| $\sigma_y$    | : Normal gerilme                                                                |
| $V_t$         | : Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü/Taban Kesme Kuvveti                                |
| $W$           | : Binanın, hareketli yük katılım sayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı    |
| $A(T)$        | : Spektral İvme Katsayısı                                                       |
| $R_a(T)$      | : Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı                                                 |
| $R$           | : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı                                            |
| $T$           | : Bina doğal titreşim periyodu [s]                                              |
| $T_A$         | : Spektrum karakteristik periyodu [s]                                           |
| $S$           | : Maksimum elastik spektral ivme katsayısı                                      |
| $q$           | : Sünek moment aktaran çerçeveler için yapı davranış katsayısı                  |
| $W$           | : Ölü ve kısmi hareketli yük                                                    |

## DEPREM BÖLGELERİ İÇİN ÇELİK KONUT TEKNOLOJİLERİ VE TAŞIYICI SİSTEM ÖNERİLERİ

### ÖZET

Marmara Depremi'yle birlikte, betonarme taşıyıcı sistemlerin depreme karşı davranışlarının çok iyi olmadığı görülmüştür. Bilimsel olmayan inşaat tekniklerinin kullanılması, denetim eksikliği ve uygulamacıların kar amacıyla kalitesiz ve standartlara uygun olmayan yapı malzemeleri kullanmaları sonucu önemli sayıda betonarme bina hasara uğramıştır veya yıkılmıştır. Betonarme taşıyıcı sistemlere alternatif taşıyıcı sistemler getirilememesi ve günümüzde bile yeni inşa edilen binalarda çoğunlukla betonarme taşıyıcı sistemler kullanılması inşaat sektörünü kısır bir döngü içine sokmuştur.

Çelik taşıyıcı sistemler, dünyadaki deprem bölgelerinde inşa edilmiş binalarda yaygın olarak kullanılmıştır ve günümüzde de kullanılmaktadır. Çelik; hafiflik ve süneklik gibi üstün özelliklerinden dolayı depreme dayanıklı taşıyıcı sistemlerde kullanılabilecek en iyi malzemedir. Bu yüzden çelik, Türkiye'deki deprem bölgelerinde inşa edilecek binalarda da yaygın olarak kullanılması gereken bir yapı malzemesidir. Çelik taşıyıcı sistem elemanlarının deprem yükleri altında kırılmadan deforme olarak deprem enerjisini sönmüleyebilme özelliği, depreme dayanıklı taşıyıcı sistemler için çeliğin vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada, depreme dayanıklı yapısal çelik taşıyıcı sistemler ve hafif çelik taşıyıcı sistemler tanıtılarak, bu sistemlerin tasarım prensipleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Çelik taşıyıcı sistemler; ekonomi, hafiflik, kolay uygulanabilirlik ve depreme dayanıklılık gibi kriterler göz önüne alınıp karşılaştırılarak, Türkiye koşulları için en uygun çelik taşıyıcı sistem olan merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri öneri olarak getirilmiştir. Ayrıca; çeşitli deprem yönetmelikleri, taşıyıcı sistem davranış katsayıları göz önüne alınarak karşılaştırılmıştır ve 1998 Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki taşıyıcı sistem davranış katsayılarının diğer yönetmeliklerdeki katsayılara göre büyük olduğu sonucuna varılmıştır.

# **STEEL HOUSE TECHNOLOGIES AND LOAD BEARING SYSTEM PROPOSALS FOR EARTHQUAKE REGIONS**

## **SUMMARY**

With Marmara Earthquake, it has been seen that the earthquake performances of reinforced concrete load bearing systems are not so good. As a result of using the non-scientific construction techniques, lack of inspection and using the construction materials inappropriate with standards and have poor quality by the contractors having profit purpose, important quantity of building with reinforced concrete load bearing system have been damaged or collapsed. Not able to bring alternative load bearing systems to reinforced concrete load bearing systems and even in these days, the usage of reinforced concrete load bearing systems by a majority in new buildings have put the construction sector in a vicious circle.

Steel load bearing systems had been used in the buildings, which constructed in the seismic regions of the world and nowadays these systems are still used by the contractors. Due to superior properties like lightness and ductility, steel is the best material for seismic resistant load bearing systems. Because of this, steel is the construction material that should also be used widely in the buildings, which are constructed in the seismic regions of Turkey. The property of being able to dissipate earthquake energy by deforming without breaking of steel load bearing system members under the earthquake loads make the steel indispensable construction material for the seismic resistant load bearing systems.

In this study, seismic resistant structural steel load bearing systems and light-gauge steel load bearing systems are introduced and detailed information about the design principles of these systems are given. Steel load bearing systems are compared considering criterions like economy, lightness, easy applicability and earthquake resistance, and the most appropriate steel load bearing system for Turkey conditions (centrically braced frame systems) is proposed. Furthermore, various earthquake regulations/specifications have been compared by taking the load bearing system behavior factors into consideration, and have been reached a conclusion that the load bearing system behavior factors in 1998 Turkish Earthquake Regulation are bigger than the load bearing system behavior factors in other regulations.

## **1. GİRİŞ**

### **1.1. Giriş**

Önemli fay hatları üzerinde bulunan ülkemizde geniş uygulama alanı bulamayan çelik taşıyıcı sistemler; deprem enerjisini sönümleyebilme, hafiflik gibi üstün özelliklere sahip olmaları nedeniyle dünyada depreme dayanıklı yapı tasarımında oldukça geniş uygulama alanı bulmuştur. Yapılara yatay olarak etkiyen deprem yüklerinin büyüklüğü; yapının ağırlığına, zemin özelliklerine ve deprem şiddetine/karakteristiğine bağlıdır. Yapıya etkiyecek deprem yüklerinin azaltılmasını sağlamanın en etkili yolu, bina taşıyıcı sistemini olabildiğince hafif tasarlamaktır. Deprem enerjisinin taşıyıcı sistem elemanları tarafından sönümlenebilmesi için kullanılan yapı malzemesinin sünek olması gerekmektedir. Bu anlamda, yapı malzemesi olarak çelik, hem hafif hem de sünek olduğu için hafif taşıyıcı sistemler tasarlama konusunda en iyi malzemedir.

Marmara Depremi'yle betonarme taşıyıcı sistemlerin büyük depremlerde istenen davranışlar/performanslar gösteremedikleri görülmüştür. Bunun en önemli nedeni her ne kadar yanlış ve bilinçsiz uygulamalar olsa da; çalışmalar, deneyler ve depremlere maruz kalan betonarme taşıyıcı sistemler, betonarmenin depreme karşı dayanıklılığının çeliğe nazaran az olduğunu doğrulamaktadır.

### **1.2. Çalışmanın Amacı**

Bu çalışmada; deprem bölgeleri için depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemler ve depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemlerin genel tasarım prensipleri hakkında çeşitli bilgilerin verilmesi amaçlanmıştır. Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemler; yapısal ve hafif çelik taşıyıcı sistemler olmak üzere iki ayrı bölümde incelenmiştir. Bu sistemler arasında karşılaştırmalar yapılarak Türkiye koşulları için en uygun çelik taşıyıcı sistem belirlenmeye çalışılmıştır.

Deprem sonrasında, kısa sürede inşa edilebilecek, depreme dayanıklı ve ekonomik kalıcı deprem konutlarında kullanılacak alternatif taşıyıcı sistemlerin tanıtılması çalışmanın esas amacını oluşturmaktadır.



## 2.YAPISAL ÇELİK

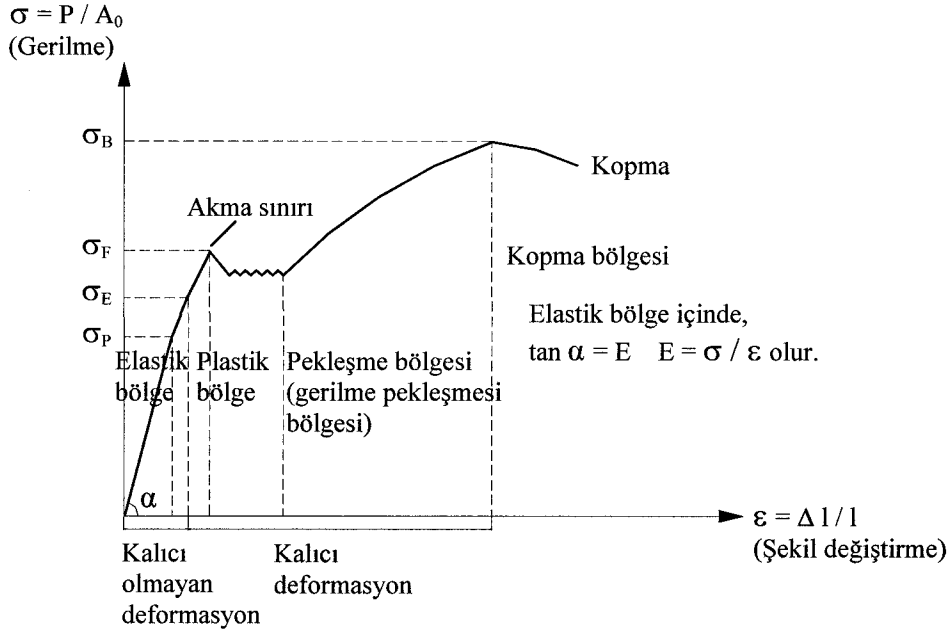
### 2.1. Yapısal Çeliğin İçeriği

Çelik; demir, kireç tozu, demir tozu ve kordan üretilir. Yapısal çelik karbon içeriği önemli ölçüde azaltılmış demirdir. Demir cevheri tabiatta saf olarak bulunmaz; oksit, hidroksit veya karbonat halinde diğer maddelerle karışık olarak bulunur. Çelik; %98 demir, %0.2 - %0.25 karbon ve az miktarda sülfür, fosfor, silikon, manganez, niobium, vanadium, krom, bakır, silisyum ve molibden gibi kimyasal maddeler içerir. Karbon miktarının yukarıda verilen seviyede tutulması çeliğin demire oranla daha dayanıklı ve esnek bir malzeme olmasını sağlar. Çeliğin yapısına ilave edilen krom, manganez, silisyum çeliğin dayanımını artırır. Özellikle manganez çeliğin sıcakta işlenmesini kolaylaştırır. Molibden ise yüksek sıcaklıklarda çeliğin mukavemetini artırır.

Üretilen çeliğin şekillendirilmesi sıcak ve soğuk olmak üzere iki yöntemle yapılır. Profil çeliğin şekillendirilmesinde yaygın olarak sıcak yöntem kullanılır. Sac çelikte ise, soğuk yöntem kullanılarak hafif çelik yapı elemanları üretilmektedir.

### 2.2. Yapısal Çeliğin Avantajları

Çelik, ahşap ve betonarmeye nazaran oldukça homojen ve izotrop bir malzemedir, ayrıca mukavemeti de yüksektir. Yapı çeliklerinin şekil değiştirmeleri, elastik sınır ( $\sigma_E$ ) aşılmadığı müddetçe elastiktir, kalıcı deformasyon gözlenmez. Yani yük kaldırılınca uzama da kaybolur. Çelik yapıların incelenmesinde  $\sigma_E = \sigma_P$  alınabilir.  $\sigma$  ile  $\epsilon$  arasında doğrusal bir ilişkinin mevcut olduğu bu bölge elastik bölge olup Hook Kanunu'nun geçerli olduğu bölgedir. Gerilme,  $\sigma_F$  akma gerilmesi değerine ulaştığında malzemede büyük plastik deformasyonlar gözlemlendiğinden, çelikte emniyet gerilmeleri akma sınırına göre belirlenmiştir. Plastik bölgeden başlayarak gözlenen tüm deformasyonlar kalıcı deformasyonlardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Çeliğin gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma - \epsilon$ ) diyagramı

Elastisite modülü ( $E$ ) ahşapta  $100000 \text{ kg/cm}^2$ , betonarmede  $210000 \text{ kg/cm}^2$ , çelikte ise  $2100000 \text{ kg/cm}^2$ dir. Çeliğin elastisite modülü çok büyük olduğundan daha az sehim yapar ve daha az malzeme sarfı gerektirir. Yapısal çeliğin yüksek dayanımı nedeniyle öz ağırlığının, taşıdığı yararlı yüke oranı küçüktür. Bundan dolayı, aynı yükü taşımak için seçilmesi gereken kesit çelikte betonarmeye nazaran daha küçüktür. Kesit dış ölçüleri belirli bir çelik kolonun taşıma gücü, aynı kesit ölçüleri ve şartlar için yapılan betonarme kolona oranla çok daha fazladır. Çelik çerçeveli yapılarda bu nedenle küçülen kolon ve kiriş boyutları önemli avantajlar sağlamaktadır. Büyük açıklıklar, betonarme yapılarda olduğu gibi geniş ve yüksek kirişlere gereksinim duyulmadan geçilebildiğinden kolon sayısı azalmaktadır. Sayıları azalan kolonların boyutları da küçük olduğundan aynı inşaat alanına yapılan çelik çerçeveli binanın kullanım alanı, betonarme çerçeveli binaya göre daha fazla olmaktadır. Betonarme çerçeveli yapılarda havalandırma vb. tesisatın kirişlerin altından geçirilmesi zorunludur. Çelik çerçeveli yapılarda söz konusu tesisat; kiriş gövdelerinde açılan deliklerden, petek kirişlerin gövdelerindeki boşluklardan, makas elemanlarının arasındaki boşluklardan veya parça kirişli çerçeve sistemlerinde olduğu gibi kiriş üstlerinden geçirilebildiğinden kat yüksekliklerinin artırılmasına gerek kalmamaktadır. Bu durumda azalan bina hacmine bağlı olarak

işletme giderleri de azalmaktadır. Çelik çerçeveli yapılarda, kirişler ve uygun özellikteki saclar ile bileşik kesit olarak tasarlanan döşemelerin (kompozit döşemeler) yükseklikleri de az olduğundan saçak kotu sınırlanmış bölgelerde betonarme yapılara göre daha fazla kat elde etme olanağı doğmaktadır.

Çelik çerçeveli yapılarda kullanılan yapısal çeliğin yüksek dayanımı nedeniyle öz ağırlığının, taşıdığı yararlı yüke oranının küçük olması eleman boyutlarının da küçülerek yapı ağırlığının azalması sonucunu doğurmaktadır. Çelik yapıların ağırlığı betonarme yapılara nazaran az olduğundan, çelik yapıların temelleri daha küçük çıkar. Temel zemini sağlam olmayan yerlerdeki yapılar için bazen sadece bu özellik, taşıyıcı iskelet malzemesi olarak çeliğin seçilmesine sebep olabilir. Azalan ağırlığın etkisi; tüm taşıyıcı eleman boyutlarının küçülmesi ve daha büyük açıklıkların geçilebilmesi ile kullanım alanlarının genişlemesi, mimari özgürlüklerin sınırlarının genişleyip alışılmışın dışında taşıyıcı sistemlerin kullanılabilmesi, küçülen temel boyutlarına göre kazı miktarının azalması, çok kötü zeminlerde bile bina yapılabilmesi, taşınacak malzemelerin çeşit ve miktar olarak azalması, deprem hesaplarında kullanılan yatay yüklerin yapı ağırlığıyla orantılı olarak azalması ile daha yüksek ve depreme dayanıklı binaların yapılabilmesi, inşaat süresinin kısılması olarak özetlenebilecek avantajlar ile çelik çerçeveli yapıların önemli oranda ekonomik olmalarını sağlamaktadır.

Prefabrike çelik çerçeveli yapı sistemlerinde fabrikada bilgisayar kontrollü makineler ile sürekli denetim altında üretilen çelik yapı elemanları şantiyede bulonlar ile birleştirilerek en tehlikeli deprem bölgelerinde bile kısa sürede çok katlı, büyük açıklıklara sahip ve ekonomik binalar inşa edilebilmektedir. Birleşimleri bulonlu prefabrike çelik çerçeveli yapılarda; modüler tasarıma uygunluk, elemanların taşınabilir olması, elemanların kolay sökülebilmesi, taşıyıcı sistemden bağımsız tesisat döşenebilmesi, merdiven konumunun sınırlanmaması ve fabrikada üretimin kötü hava koşullarından bağımsız olması gibi prefabrike yapım ilkelerinin tümü uygulanabilmektedir. En kötü hava koşullarında, genellikle büyük inşaat makineleri gerektirmeden, işçiliğin büyük bir kısmının atölyelerde veya fabrikalarda yapılması sonucu, söz konusu yapıların montajının kısa sürede yapılabilmesi, bu sistemlerin ülkemiz koşullarına uygun olduklarını göstermektedir.

Kullanım amacı değişen, hasar gören, yer değiştirmesi ve geniş açıklıklar için kolon eksiltilmesi gereken, merdiven, asansör vb. eklemeler yapılması, kat yüksekliklerinin

değiştirilmesi, büyütülmesi/küçültülmesi istenen ve yenilenen deprem vb. yönetmeliklerine uyarlanması gereken binalarda bazı değişikliklerin yapılması zorunludur. Betonarme çerçeveli binalarda çelik yapı elemanları kullanılmadan yapılması çoğu kez olanaksız olan tüm bu değişiklikler, çelik çerçeveli binalarda kısa sürede, kolayca ve ekonomik olarak yapılabilir. Depremlerde zorlanan veya hasar gören çelik yapı elemanları sac, profil ve kaynak/bulon kullanılarak yerinde güçlendirilmekte veya sökülerek uygun olanları ile değiştirilmektedir. Çelik yapılarda güçlendirme ve tadilat işleri kolaylıkla yapılırken, betonarmede bu işlemlerin sınırları dar, yapılması güç hatta bazen imkansızdır. Depremlerde hasar gören veya çeşitli nedenlerle güçlendirilmesi gereken betonarme yapılarda da etkili ve ekonomik olan yöntem yine çelik çerçeveler kullanmaktır.

Çelik taşıyıcı elemanlar, bulundukları yapıdan kısmen veya tamamen söküldüklerinde, çıkan malzeme bir başka yapıda ve hatta değişik şartlarda zayıatsız tekrar kullanılabilir. Betonarme yapılarda bu söz konusu değildir. Çelik bir yapı herhangi bir nedenle yıkılsa veya enkaz haline gelse, yani içindeki çelik malzeme artık kullanılamayacak hurda niteliğinde olsa bile yine bir değeri mevcuttur. Başka bir yapıda değerlendirilemeyen çelik yapı elemanları eritilerek ekonomiye yeniden kazandırılmaktadır.

Çelik çerçeveli yapılar; sıra dışı taşıyıcı sistemlere uygun olmaları, narin elemanları ile daha geniş kullanım alanı sağlamaları, hafifliklerinden dolayı temel boyutlarının ve kazı işlerinin azalması, kötü zeminlerde bile alınacak çok basit önlemler ile yapılabilmesi, çeşit ve ağırlık olarak daha az malzeme taşınmasını sağlamaları, çok katlı binalar ve depreme dayanıklılık için pahalı imalat gerektirmemeleri, kalıp ve iskele gerektirmemeleri, prefabrike olduklarından kolay montaj edildikleri için yapım sürelerinin kısılması ve işçilik maliyetlerinin azalması, her türlü hava koşullarında yapılabilmesi, yapım ve kullanımları sırasında kolaylıkla denetlenebilmesi gibi birçok nedenle betonarme çerçeveli yapılardan daha ekonomiktirler. Ayrıca, çelik çerçeveli yapıların mimari tasarımlarının modüler olması, elemanlarının boy ve ağırlık olarak kolay taşınabilir olması, elemanlarının ve bulonlu birleşim detaylarının tipleştirilerek sayılarının azaltılması gibi üretim ve montajı hızlandıracak önlemler ile daha da ekonomik olmaları ve istenen yüksekliklerde binaların inşası için uygun hale gelmeleri sağlanmaktadır.

Çelik; profil olarak üretiminde denetlendiği gibi, çoğu bilgisayar kontrollü makineler ile prefabrike yapı elemanı haline getirildiği fabrikalarda da sürekli olarak denetlenmektedir. Beton içinde kalmayan çelik taşıyıcı sistem elemanları ile birleşimlerinin nitelik ve niceliklerinin; üretimin her aşamasında ve yapının kullanılmaya başlanmasından sonra, proje ve yönetmeliklere uygunluğu kolaylıkla denetlenebilmektedir. Bu özellik bilinçli veya bilinçsiz olarak yapılan hataların önlenmesi bakımından önemlidir. Çünkü betonarme yapılarda inşaat sonrası bu türde ve nitelikte denetimlerin yapılması oldukça zordur.

Çelik taşıyıcı elemanların prefabrike olarak kötü hava koşullarından bağımsız fabrikalarda ve atölyelerde üretilmesi ve montajlarının kısa sürede yapılabilmesi inşaat sürelerini azaltmaktadır. Çelik yapılarda kullanılan taşıyıcılar, giydirme cepheler, panel duvar sistemleri ve döşeme sistemleri hafif olduklarından, yükseklikle artan rüzgar ve ağırlıkla artan deprem gibi yatay yük etkilerine karşı çelik, çok katlı bina yapımına betonarmeye göre daha elverişlidir.

Tasarım ve uygulamanın doğru yapılması ve denetlenmesi koşuluyla; yığma, betonarme veya çelik çerçeveli her türlü taşıyıcı sistem ve malzeme ile depreme dayanıklı binalar yapılması olanaklıdır. Ancak, depremlerin binalara verdikleri hasarların incelenmesi; çelik çerçeveli yapıların, can kayıplarının önlenmesi ve mal kayıplarının azaltılması bakımından diğerlerinden çok üstün olduklarını göstermiştir. Çelik çerçeveli yapılar hem yüksek dayanımlı hem de hafif olduklarından , depreme dayanıklı yapılar çelik ile daha ekonomik olarak inşa edilebilmektedir. Yapısal çeliğin mühendislik bakımından tüm özelliklerinin belli olması ve iyi bilinmesi, çelik çerçeveli yapıların davranışlarının diğerlerine göre daha güvenilir olmasını sağlamaktadır. Yapısal çelik elastik olmayan sınıra kadar tekrarlı yüklere karşı değişmeyen bir davranış gösterir. Bu süneklik ya da tekrarlı yüklere kırılmadan dayanma yeteneği, çelik çerçeveli yapıların düşey ve yatay tasarım yüklerine büyük deformasyonlar ile dayanmasını sağlar. Basit/mafsallı ve yarı-rijit çelik eleman birleşimlerinin dönebilir olması ve sünekliği; dinamik enerjiyi azaltarak, deprem enerjisinin sönmülenmesi sağlamaktadır. Çelik çerçeveli yapılar, tasarım ve yapım hatalarına karşı, beton gibi gevrek/kırılgan malzemeler ile yapılan diğer yapılara göre daha az hassastır. Fabrikada kolaylıkla denetlenerek üretilen çelik çerçeve elemanları ile bunların çok basit olan montajında hata riski azdır. Örneğin; çelik çerçeveli yapılar için söz konusu olmayan kolon düşey donatılarının yanlış olarak birbirine

eklenmesi, etriyelerinin bağlanmaması veya aralıklarının fazla olması gibi hatalar betonarme yapılardan birçoğunun depremlerde çökmesine neden olmaktadır. Depremlere karşı gösterdiği yüksek dayanım gücü, fabrikasyon olanaklarının ve yardımcı malzeme özelliklerinin gelişmesi; çelik çerçeveli yapıların kolaylıkla alınabilen önlemler ile fay hatları yakınında, depremin en etkili olduğu bölgelerde dahi yapılabilmesini sağlamaktadır. Yaptırımları daha az olan eski standartlara uygun yapılardan çelik çerçeveli olanlar, büyük depremlerden en az hasarla çıkarken diğer malzemelerle yapılanların çoğu ya tamamen çökmüş ya da uğradıkları ağır hasarlar nedeniyle kullanılamaz hale gelmiştir.

Büyük bir bölümü ülkemizde de kullanılmakta olan hassas fabrikasyon teknolojileri; çelik çerçeveli sistemlerin CAD programları ve bilgisayar kontrollü bükme, kesme, delme ve kaynak makineleri ile her biçimde üretilen standart veya özel yapı elemanlarından oluşturulmasını sağlamaktadır. Bugüne dek olanaksız olduğu düşünülen işlemler sonucu oluşan ve istenen yükün en az malzeme ile taşınmasını sağlayan bu elemanlar, alışılmışın dışında taşıyıcı sistem kullanma olanağı ile mimarların artistik özgürlüklerini de genişletmektedir.

### **2.3. Yapısal Çeliğin Dezavantajları**

Hadde profil kesitlerinin istenilen boyutlarda üretilmemesi veya gereken miktarlarda bulunmaması gerekli boyutlarda ve ucuz malzeme temini açısından bir dezavantajdır. Ülkemizde daha çok görülen bu sorun nedeniyle, çelik çerçeveli yapılar yaygınlaşamamıştır. Özellikle ülkemizde çelik yapılar konusunda iyi eğitim almış, kalifiye elemanlar/nitelikli iş gücü bulmak zordur. Bundan dolayı, ülkemiz için çelik yapıların işçilik maliyetleri çok fazla olmaktadır.

Çeliğin korozyona karşı mukavemeti azdır. Dış ortamla doğrudan temasta olan çelik yapı elemanları beton muhafaza içine alınarak (çeliğin hava ile teması önlenerek), boyanarak veya daldırma ve elektrolit olmak üzere iki ana yöntem ile yapılan galvaniz kaplama veya katodik kaplama ile korozyona karşı dayanıklı hale getirilmektedir. Bunların dışında, yalnız yangına karşı alınacak bazı önlemler de çoğu kez korozyona karşı dayanıklılık için yeterli olmaktadır.

Çeliğin yangına karşı mukavemeti azdır. Yüksek ısı derecelerinde çelik mukavemetini kaybeder (600 °C'de  $\sigma_F \approx 0$ ). Çelik yapı elemanlarının yangına karşı

yalıtımında/korunmasında; özel alaşımlı çelik elemanların veya içi su doldurulmuş kutu en kesitli çelik elemanların kullanımı gibi özel yöntemler dışında, korozyona karşı da etkili olan; çelik yapı elemanlarının alüminyum-silikat, çimento vb. karışımli maddeler püskürtölerek kaplanması, alçı, perlit vb. plakalar veya tuğla vb. dekoratif elemanlar ile kapatılması, bileşik kesitli olarak da tasarlanabilecek çelik yapı elemanlarının bir bölümünün veya tamamının beton içine alınması veya boşluklarının beton ile doldurulması ve yangın sırasında 70 mm kalınlığa kadar hızla genleşen özel ince bir boyanın (Intumescent) kullanılması gibi yöntemler de kullanılmaktadır.

Çeliğın asit, baz ve tuza karşı da mukavemeti çok azdır. Özellikle kimyasal etkilerin çok arttığı toprak altında ve su içinde bulunan çelik taşıyıcı elemanların korunması şarttır.



### 3. DEPREME DAYANIKLI YAPISAL ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER

Depreme dayanıklı taşıyıcı sistemler tasarlanırken deprem ve rüzgar gibi yatay yükler göz önüne alınmaktadır. Bundan dolayı depreme dayanıklı taşıyıcı sistemlere yatay yük taşıyıcı sistemler de denilmektedir. Depreme dayanıklılık açısından mükemmel özelliklere sahip çelik malzeme ile bugüne kadar birçok çelik taşıyıcı sistem tasarlanıp uygulanmıştır. Teknolojinin ilerlemesiyle çelik malzeme farklı yöntemlerle üretilip hafif çelik konut/yapı teknolojileri geliştirilmiştir. Günümüzde geniş uygulama alanı bulan hafif çelik taşıyıcı sistemler, yapısal çelik çerçeve sistemlerinden daha hafif olduklarından ve deprem kuvvetleri yapının ağırlığıyla doğru orantılı olarak yapıya etkidiğinden, hafif çelik yapılara daha az deprem yükü etkimektedir. Deprem bölgelerinde binalar tasarlanırken varolan çelik taşıyıcı sistemler iyi etüt edilmeli ve en ekonomik ve avantajlı/uygun çelik taşıyıcı sistem seçilmelidir.

Depreme dayanıklı çelik yapıların ana tipolojileri sahip oldukları enerji sönümleyici / yutucu bölgelerin türü ve sayısına göre sınıflandırılabilir. Beş farklı tipoloji tanımlanabilir:

- Moment aktaran çerçeveler
- Merkezi çaprazlı çerçeveler
- Dışmerkezi çaprazlı çerçeveler
- Çelik levha perde duvarlı çerçeveler
- Betonarme ile kompozit yapısal çelik çerçeveler

Bu bölümde, depreme dayanıklı yapısal çelik taşıyıcı sistemlere değinilecektir.

#### 3.1. Moment Aktaran Çerçeveler

Modern çok katlı binaların çoğunda veya bazı az katlı binalarda, rüzgar ve deprem kuvvetlerinden doğan yatay yüklere karşı koymak için çelik moment aktaran çerçeveler kullanılmaktadır. Rüzgar tarafından yatay yükler binaya dıştan uygulanır ve kolaylıkla gözlenir. Buna karşılık, binaların temellerine ve bodrum katlarına

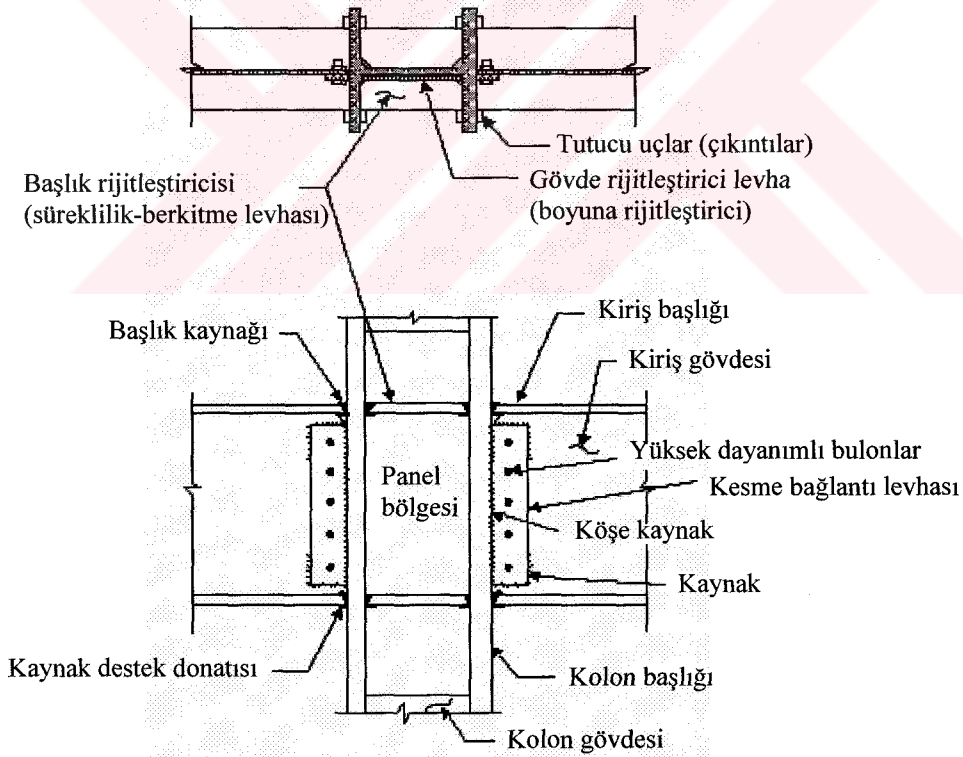
etkiyen deprem yükleri dahili atalet yükleridir ve kolaylıkla gözlenmez, yer hareketleri süresince temelin veya bodrum katın hareketi sonucu, üst katlara yatay deprem yükleri etkir. Bu kuvvet, bir araç hareket ettiğinde aracın içindeki bir yolcunun hissettiğine benzer. Yatay yükler genellikle ağırlıkların yoğunlaştığı döşeme seviyelerine etkirler.

Çelik moment aktaran çerçeveler, kaynak ve bulon kullanılarak birleştirilen çelik kolonlardan ve çelik kirişlerden oluşurlar. Moment aktaran çerçeveler, çerçeve elemanlarının; kolonların, kirişlerin ve bağlantılarının eğilmeleri vasıtasıyla yatay yüklere karşı koyarlar [1], yani moment aktaran çerçeveler; yatay deprem yükleri altında eğilme etkilerine karşı koyup, oluşan eğilme momentlerini alarak faaliyet gösterirler [2]. Moment aktaran çerçeveler çok sayıda enerji sönümleyici bölge tarafından oluşturulmaktadır. Bu tip çerçevelerde enerji sönümleme özelliğinin toplandığı bölgeler, iskelet yapıyı oluşturan elemanların plastik mafsallar oluşabilecek uç kısımları tarafından oluşturulurlar; yani bu bölgeler, kolon-kiriş birleşimlerinin yakınında oluşan plastik mafsallardır. Tekrarlı eğilmelerle enerji bu bölgelerde yutulur. Bu tipolojide, en önemli faaliyet eğilme momenti tarafından meydana getirilir. Böylelikle, plastik mafsallarda meydana gelen enerji sönümlemesi elastik olmayan tekrarlı eğilme davranışından dolayıdır. Moment aktaran çerçevelerde enerji yutucu bölgeler eğilme bölgeleridir.

Moment aktaran çerçevelerin enerji sönümleme kapasitelerini artırmak amacıyla taşıyıcı sistem, plastik mafsallar kolonların yerine kirişlerde oluşacak şekilde tasarlanmalıdır. Çerçevelerin temellerinde bunun tam tersi söz konusudur. Bu durumun karşılığı olan göçme şekli, yerel/kısmi göçme şeklindedir. Bu durumda, enerji sönümleyici bölgeler sadece kolon-kiriş birleşimlerine yakın kiriş bölgelerinde bulunur. Tam göçme modunda ise plastik mafsallar kolonlarda oluşur [3].

Rüzgar yükleri ve orta şiddetli depremlerin etkisi altında, çelik çerçeveler elastik kalacak şekilde tasarlanmalıdır, yani yükleme durduğunda çerçeveyi oluşturan çelik kirişlerin ve kolonların herhangi bir kalıcı deformasyon gözlenmeden ilk pozisyonlarına dönmeleri beklenir. Şiddetli depremlerde, kuvvetli yer hareketleri süresince, çelik elemanların sünek davranış göstermeleri, yani uzamaları ve enerji sönümlemeleri beklenmektedir. Şiddetli depremler sonrasında, çelik çerçeve elemanlarında kalıcı deformasyonlar gözlenebilir. Sünek davranışı sağlamak için yönetmeliklerde bazı özel sismik detaylar önerilmektedir.

Bütün moment aktaran çerçeve bağlantılarında, eğilme dayanımını sağlamak için kiriş başlıkları direkt olarak kolon başlıklarına kaynaklanır. Kiriş gövdeleri çoğunlukla kesme bağlantı levhaları kullanılarak kolona bulonlanırlar. Kesme bağlantı levhaları kiriş gövdesine bulonlanır ve kaynaklanır, kolon başlığına kaynaklanır (Şekil 3.1). Çok az eski binada; çelik kolonlar ve kirişler, moment aktaran çerçevelerin elemanları olarak kullanılmıştır. Yalnız basit/kaba bulonlu bağlantıların kullanıldığı çelik çerçeveli binalarda, bulonlu bağlantılar yatay yük dayanımına katkıda bulunmazlar [1]. Yatay yük taşıyıcı sisteme katkıda bulunmak için bağlantılarda kaynak ile bulon birlikte kullanılmalıdır. Mafsallarda moment sıfır olduğu için, tek kaba bulonla yapılan bağlantılar/mafsallı birleşimler moment aktaramamaktadır. Kolon-kiriş bağlantılarının moment aktarabilmesi için, bağlantıların rijit olması gerekmektedir. Bağlantıların rijit olabilmesi için kaynak ve/veya yüksek dayanımlı bulonlar kullanılabilir. Yüksek dayanımlı bulonlarla yapılan bağlantılar moment aktarabilmektedir.



Şekil 3.1 Tipik moment aktaran çerçeve bağlantısı [1]

Moment aktaran çerçeveler çok esnek yatay elemanlardır, bundan dolayı şiddetli depremler sırasında yapısal olmayan hasarlar çok fazla olabilir. Bu yüzden, moment

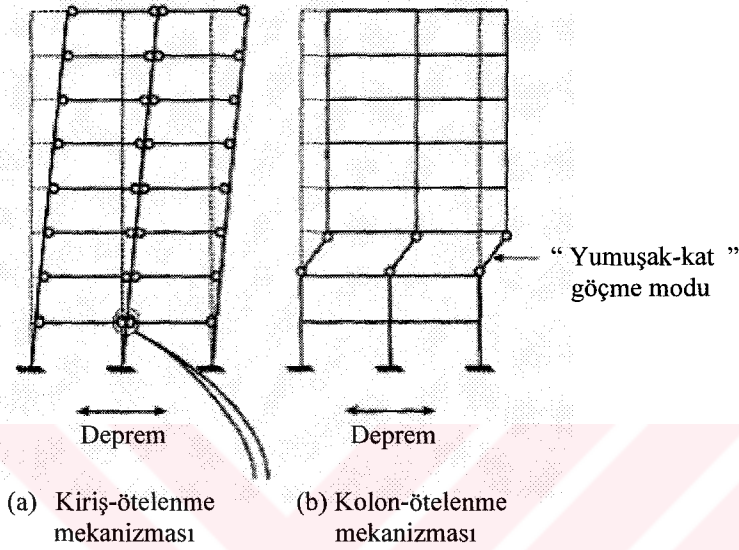
aktaran çerçeveler çok düşük ötelenme ile tasarlanmalıdırlar. İlk olarak bu, çok fazla sayıda çerçeveli aks düzenleyerek başarılabilir. İkinci olarak, büyük kolon kesitleri ve orta büyüklükte kiriş kesitleri kullanılmalıdır. Tasarımcı her zaman güçlü kolon-daha az güçlü kiriş durumunu/konseptini göz önüne almalıdır. Üçüncü olarak da, büyük bir depremde moment aktaran çerçeve elemanlarının elastik olmayan bölgeye gireceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda, moment aktaran çerçeve daha fazla ötelenir. Bu sebepten dolayı, moment aktaran çerçeveler sadece gerilmeye/çekmeye göre tasarlanmamalıdır. Eğer moment aktaran çerçeveler sadece gerilmeye göre tasarlanırsa, çerçeveler çok esnek olur ve bundan dolayı orta şiddetli bir depremde bina çok büyük hasar görür ve hatta çökebilir [4].

Moment aktaran çerçeveler yaygın olarak az katlı binalarda kullanılmaktadır. Gerçekte, moment aktaran çerçeveler sahip oldukları çok sayıda enerji sönümleyici bölge sayesinde yeterli enerji sönümleme mekanizması sağlayabilirler. Bu sayede en şiddetli depremlerde meydana gelebilecek göçmeyi engellemek için gerekli tedbirler alınmış olur. Diğer tarafta; gerekliliklerin yerine getirilmesi, faydalı limit durumuna karşı kontrolün sağlanması, bina yüksekliği arttığı sürece daha zor olmaktadır. Çünkü orta şiddetli depremlerde veya rüzgar yükleri altında bile çerçeveli sistemler yatay deplasmanları azaltmak için yeterli rijitliği sağlayamamaktadırlar.

Moment aktaran çerçeveler depremlere karşı genelde yeterli dayanım sağlarlar ve mükemmel sünekliğe sahiptirler. Bunun yanında, esnek olarak davranma eğilimindedirler. Özellikle yüksek binalarda ötelenme durumu için gerekli olan rijitliğin artırılması moment aktaran çerçevelerde ekonomik olmamaktadır. Fakat bu sonuçların tersine; 1994 Northridge Depremi, Los Angeles Depremi ve Kobe Depremi gibi depremlerde çelik moment aktaran çerçevelerin birleşimlerinde kırılmalar gözlenmiştir. Bundan dolayı kaynaklı birleşimlerin/kaynaklı moment aktaran çerçevelerin beklendiği gibi sünek davranmadıkları görülmektedir [3].

Moment aktaran çerçevelerin kirişlerinde ve düğüm noktasındaki panel bölgelerinde (Şekil 3.1) enerjinin sönümlenmesinin Şekil 3.2a'daki kiriş-ötelenme mekanizmasıyla olması tercih edilir. Tasarım yöntemleri, Şekil 3.2b'deki kolon-ötelenme mekanizmasının meydana getirdiği yumuşak/zayıf kat mekanizmalarını önlemek amacındadır. Şekil 3.2a'daki sistem, güçlü kolon-daha az güçlü kiriş konseptine uygun olarak tasarlandığı için plastik mafsallar kirişlerde oluşmuştur. Kiriş-ötelenme mekanizmasının oluşmasının yanında döşeme kirişlerinde plastik

mafsallar oluştuğu için yerel gcmeler gözlenebilir. şekil 3.2b’deki sistem ise, gl kiriş-daha az gl kolon konseptine uygun olarak tasarlandığı için plastik mafsallar kolonlarda oluşmuştur. Mafsallar kolonlarda oluştuğu için yumuşak/zayıf kat gme modu gözlenir, bu da tam gmeye neden olur. Bundan dolayı elik çerçeveler gl kolon-daha az gl kiriş konseptine göre tasarlanmalıdır [5].



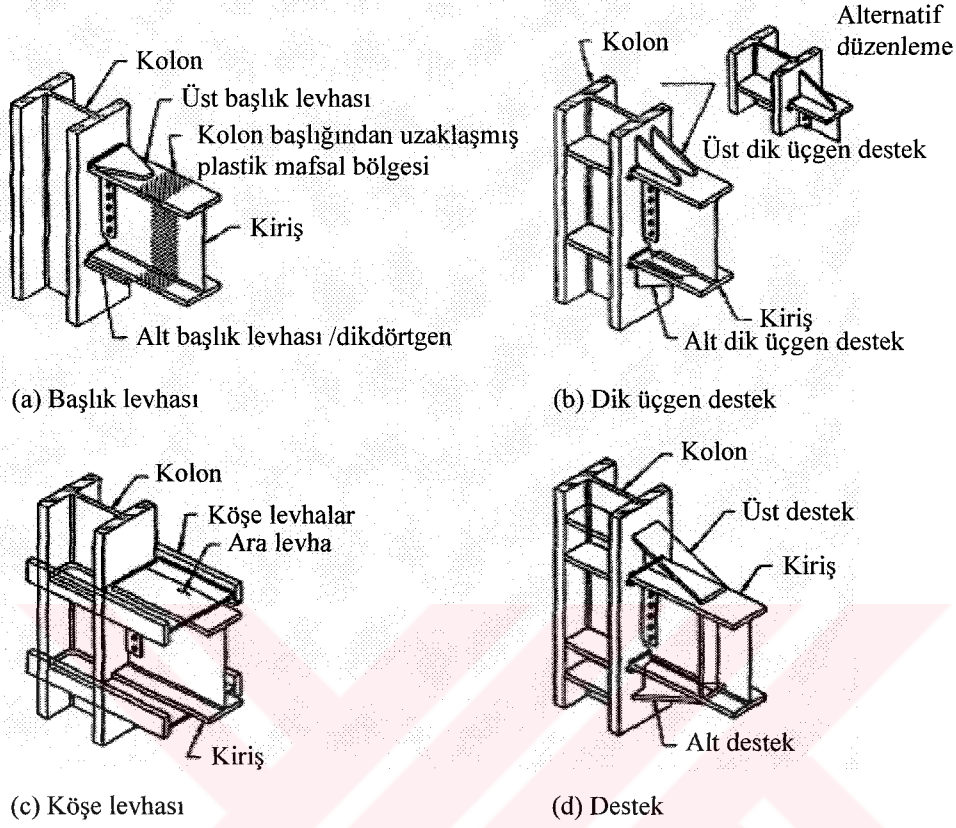
şekil 3.2 Kiriş ve kolon ötelenme mekanizmaları [5]

Moment aktaran çerçevelerdeki kirişler ve kolonlar sağlam olmalıdır, kolonlar plastik mafsall oluşmayacak şekilde yeterli dayanıma sahip olmalı, kolonlarda plastik mafsall oluşumu engellenmelidir. Serbest başlık bağlantısı (şekil 3.5b) ve özel yivli-delik bağlantısı dışındaki bağlantılarda plastik mafsallın düğüm noktasından uzakta oluşması sağlanmalıdır. Plastik mafsallın düğüm noktasından uzakta oluşması sonucu; kolonun ve panel bölgesinin yük taşıma kapasitesi artar ve verilen kat ötelenmesi seviyesi için plastik dönme kapasitesi artar.

Moment aktaran çerçevelerde kolon-kiriş bağlantıları genellikle dört şekilde olmaktadır. Bu dört bağlantı şekli, kirişi kolon yüzeyinde güçlendirir ve plastik mafsallın kirişte, düğüm noktasından uzakta oluşmasına neden olur (şekil 3.3). Bağlantıda köşe levhası (şekil 3.3c) kullanılması özel bir uygulamadır [5].

Plastik mafsallın kirişte oluşmasını sağlamak için tercih edilen diğer bir çözüm de, azaltılmış kiriş kesiti veya “Dogbone” kiriş kullanılmasıdır (şekil 3.4). Bu kirişlerde plastik mafsallın azaltılmış kiriş kesitinde oluşması istenir ve beklenir. Azaltılmış

kiriş kesiti kullanılmasıdaki amaç, plastik mafsallın kolon yüzeyinden uzakta ve kirişte oluşmasını sağlamaktır.

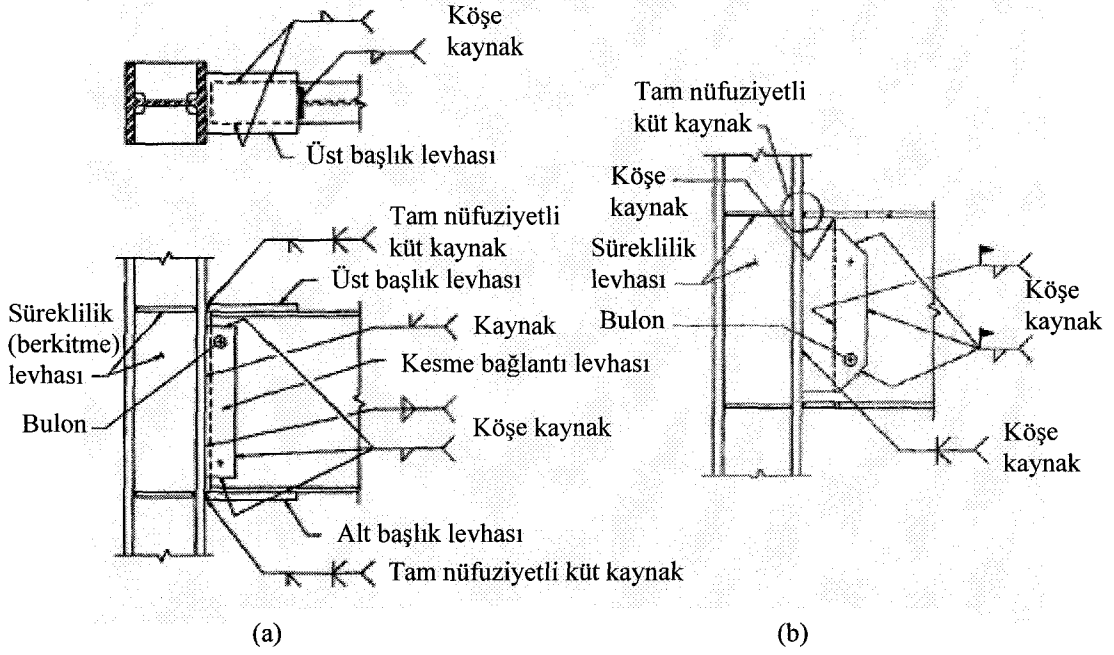


Şekil 3.3 Moment aktaran çerçeve bağlantı detayları [5]



Şekil 3.4 Azaltılmış kiriş kesiti veya "Dogbone" kirişi [5]

Şekil 3.5a'da başlık levhasının kullanıldığı moment bağlantısı gösterilmektedir. Şekil 3.5b'deki serbest başlık bağlantısında, kiriş gövdesiyle kolon başlığı arasında boşluk bulunmaktadır, yani sadece kiriş başlıkları kolon başlığına kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, plastik mafsall kolon yüzeyinde oluşur [5].



Şekil 3.5 a) Kaynaklı başlık levhası bağlantısı b) Serbest başlık bağlantısı [5]

Çaprazların ve perde duvarların kullanıldığı sistemlerde çaprazlar ve perde duvarlar pencere ve kapı açıklıklarını engellerken, moment aktaran çerçevelerde bu sorun yoktur. Moment aktaran çerçeveler, çaprazlı veya perde duvarlı çerçevelere nazaran, esneklikleri ve uzun titreşim periyotları nedeniyle daha az sismik kuvvete maruz kalırlar. 1960'lı yıllardan beri, yüksek dayanımlı bulonların kullanılmaya başlanmasıyla bulonlu moment aktaran çerçeveler ofis binalarında ve konutlarda uygulama alanı bulmuştur. Geçmiş senelerde; kolay üretim, tasarım ve ekonomik sebeplerden dolayı sismik bölgelerde kaynaklı moment aktaran çerçeveler kullanılmıştır. Günümüzde, sismik bölgelerde bulonlu ve bulonlu/kaynaklı çelik moment aktaran çerçeveler güvenli ve ekonomik yapısal sistemler olarak kullanılmaktadır.

### 3.1.1. Moment Aktaran Çerçeve Türleri

Moment aktaran çerçeveler;

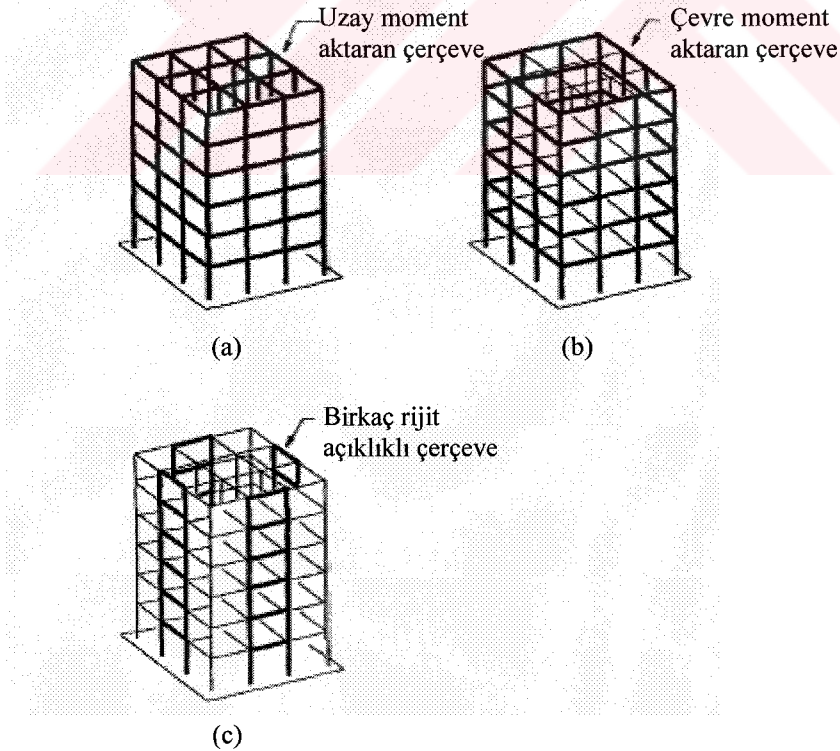
- Moment aktaran çerçevenin düzenlenme şekline,
- Kullanılan bağlayıcıların türüne,
- Bağlantının sünekliğine,
- Bağlantıların veya elemanların göreceli dönme rijitliklerine,
- Bağlantıların veya elemanların göreceli moment kapasitelerine göre birçok gruba ayrılırlar [6].

### 3.1.1.1. Düzenlemeye Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri

- Uzak moment aktaran çerçeveler
- Çevre moment aktaran çerçeveler
- Sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçeveler
- Kolon-ağacı (Column-tree) moment aktaran çerçeveler
- Düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeveler
- Tüp içinde tüp moment aktaran çerçeveler
- Tüp demeti moment aktaran çerçeveler

#### a) Uzak, Çevre ve Sadece Birkaç Rijit Açıklıklı Moment Aktaran Çerçeveler

Kolonlardan, kirişlerden ve bağlantılardan oluşan 3-boyutlu uzak moment aktaran çerçeve (Şekil 3.6a); yapıya etkiyen yatay yüklere, yatay diyaframların veya çaprazlı döşeme sistemlerinin yardımıyla veya yardımı olmadan elemanlarının ve bağlantılarının eğilme rijitlikleri, dayanımları ve süneklikleri ile karşı koyarlar. Son zamanlarda, kaynaklı uzak moment aktaran çerçevelerde bütün kolon-kiriş bağlantıları rijit olarak tasarlanıp yapılmaktadır.



Şekil 3.6 Uzak moment aktaran çerçeve, çevre moment aktaran çerçeve ve sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçeve [6]

Rijit moment aktaran çerçeve bağlantılarının; özellikle şantiye-kaynaklı bağlantıların üretim ve yapım maliyeti, her zaman kesme bağlantılarının üretim maliyetinden yüksektir. Bu nedenle, son yıllarda Amerika'da daha ekonomik tasarımlar gerçekleştirmek için yapıda daha az sayıda moment bağlantısı kullanma eğilimi görülmektedir. Bu eğilimin sonucu olarak, sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçevelerin kullanımı yaygınlaşmıştır.

Şekil 3.6b'de gösterilen çevre moment aktaran çerçevelerde, bütün binaya etkiyen yatay yüklere karşı koymak için, sadece dış çerçeveler moment aktaran çerçeve olarak tasarlanır. Çevre moment aktaran çerçevelerin bir parçası olmayan iç kolonlar ve kirişler sadece kendi ağırlıklarını taşımak için kesme bağlantılarıyla/basit bağlantılarla bağlanırlar. Çevre moment aktaran çerçevelerin içindeki kolonlara ağırlık/yerçekimi kolonları denir. Uygulamalarda, ağırlık kolonlarının yatay yük taşıyıcı sisteme yardımda bulunmadığı varsayılır.

Döşeme diyaframları ve bazı yapısal olmayan elemanlar belli bir miktarda rijitlik, dayanım ve enerji sönümleme sağlarlar. Deprem süresince bütün binanın sarsılması yüzünden elemanların ve bağlantıların deformasyonlara ve dönmelere maruz kalması bu duruma yol açmaktadır. Ağırlık kolonlarında, moment aktaran çerçevelerin yatay yer değiştirmeleri tarafından oluşturulan deformasyonlara ve dönmelere karşı koymak için kesme bağlantıları kullanılmalıdır.

Uzay moment aktaran çerçevelerin yerine çevre moment aktaran çerçevelerin kullanılması, rijit bağlantıların sayısını oldukça azaltmaktadır. Sonuç olarak, önemli bir maliyet azalması ile yatay yük taşıyıcı sistemin gereğinden fazla dayanımının ve rijitliğinin azalması sağlanır.

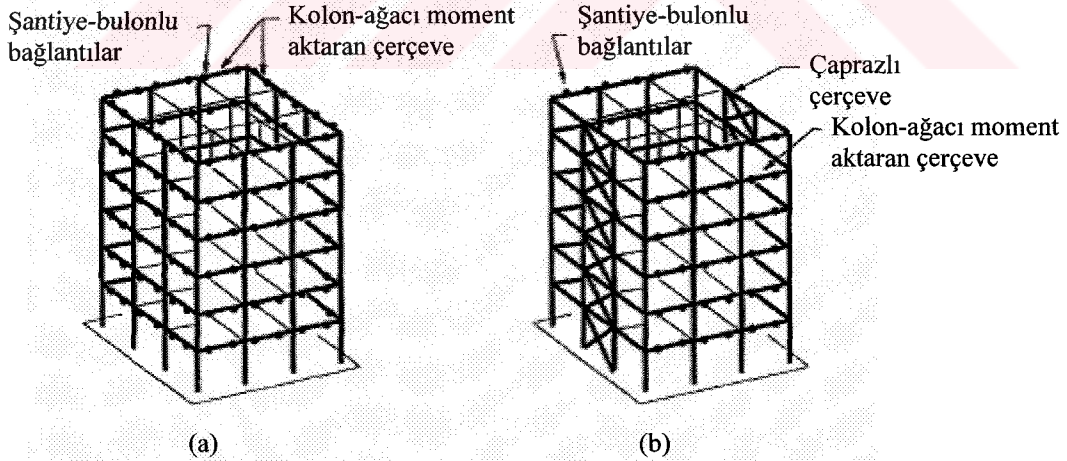
Northridge depreminden sonra; uzay moment aktaran çerçevelerde, çevre moment aktaran çerçevelere nazaran daha az hasar gözlenmiştir. Çevre moment aktaran çerçevelerin kullanılmasının bir avantajı, çerçevelerin kiriş açıklıklarının daha az yapılabilmesidir. Çevre moment aktaran çerçevelerde kolonların sık aralıklarla düzenlenmesi, sistemin gereğinden fazla dayanım ve rijitlik kaybını karşılamasını ve sistemin tüp yapı sistemi gibi davranmasını sağlar.

Şekil 3.6c' de gösterilen sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçeveler son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde, bütün düzlemsel çerçevenin sadece birkaç açıklığı rijit bağlantıya sahipken, diğer çerçeve bağlantıları kesme

bağlantılarından oluşmaktadır. Bu tür sistemlerde, moment aktaran çerçevenin bir parçası olmayan ağırlık/yerçekimi kolonlarının yatay yükleri taşımaya yardımcı olmadıkları varsayılır. Northridge depreminde, sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçeve sistemine sahip çelik yapılarda, uzay ve çevre moment aktaran çerçeve sistemlerine sahip çelik yapılara oranla çok daha büyük hasarlar gözlenmiştir. Sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçevelerin rijit açıklıklarındaki elemanlar ve bağlantılar oldukça büyük boyutludur. Fazla miktarda kaynakla bağlanan büyük boyutlu bu elemanlar sünek davranmayabilirler [9].

#### b) Kolon-Ağacı (Column-tree) Moment Aktaran Çerçeveler

Şekil 3.7’de gösterilen kolon-ağacı sisteminde, kısa kiriş parçaları fabrikada veya atölyede kolonlara kaynaklanmaktadır. Kolon ağaçlarının şantiyede kurulmasından sonra kirişin orta parçası kısa kiriş parçalarının uçlarına bulonlarla bağlanmaktadır. Bu yüzden sistem fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu çelik yapı sistemidir. Fabrikada kaynak yapılması, ekonomik ve yüksek kaliteli kaynak sağlamasının yanında denetimin kolay olmasını sağlar. Şantiyede bulonlama, inşaatta kolaylık ve ekonomi sağlamasının yanında kötü hava koşullarından bağımsız inşaat yapabilmeye olanağı sağlamaktadır.



Şekil 3.7 (a) Çevre moment aktaran çerçevede kullanılan kolon-ağacı sistemi (b) Düzlemsel moment aktaran çerçevede kullanılan kolon-ağacı sistemi [6]

Soğuk havalarda; fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu kolon-ağacı sistemi hala tercih edilmektedir. Şantiyede kaynak yapılmasının ve şantiye denetiminin çok pahalı ve zor olduğu projelerde kolon-ağacı sisteminin kullanılması, şantiyede kaynak gerektiren diğer sistemlerin kullanılmasından daha ekonomiktir. Japonya’da

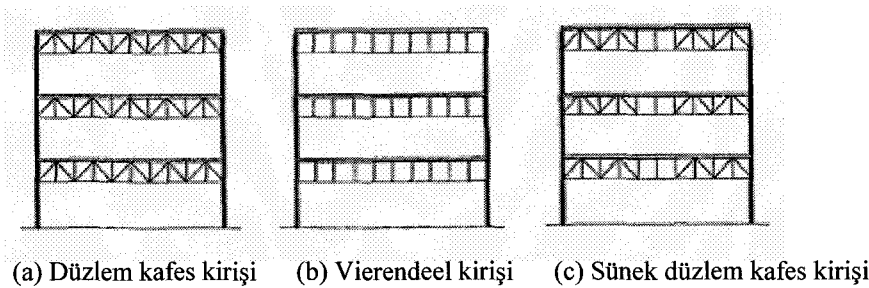
işgücünün pahalı olması ve fabrikada kaynak yapılmasının daha otomatikleşmiş olması bu tür sistemlerin daha çok tercih edilmesini sağlar.

Standart kolon-ağacı sistemindeki bulonlu kiriş eki bağlantısı bağlı kirişlerden daha kuvvetli olmalıdır. Sonuç olarak, montajdan sonra, bulonlu ek çerçevenin sismik performansında büyük bir rol oynamaz. Bulonlu eki sismik performansı kontrol etmeye ve artırmaya yönelik kullanmak için, yarı-rijit kolon-ağacı moment aktaran çerçeve sistemi versiyonu A.Astaneh-Asl tarafından önerilmiştir. Önerilen yarı-rijit kolon-ağacı sisteminde, kirişin bulonlu bağlantısı yarı-rijit olarak kolondan uzakta yapılmaktadır. Yarı-rijit bağlantılar kullanılarak; rijitlik, dayanım, süneklik ve enerji sönümleme kapasitesi, sismik kuvvetleri, yer değiştirmeleri, hasarı azaltmak için ve sismik performansı artırmak için kullanılabilirler.

Yarı-rijit kolon-ağacı sistemlerin, standart rijit sistemlere göre başlıca üstünlüklerinden biri, kiriş ekinde bulunan bulonlu yarı-rijit bağlantının bir sigorta gibi görev yaparak kolon yüzeylerinde bulunan kaynaklı bağlantıları büyük momentlere maruz kalmaktan korumasıdır. Yarı-rijit bağlantıların kullanılması; enerji sönümlenmesini ve titreşimin periyodunu artırırken, rijitliği istenen seviyeye düşürür ve bunun sonucu olarak sismik kuvvetlerin ve yer değiştirmelerin azalmasını sağlar [6].

### c) Düzlem Kafes Kirişli Moment Aktaran Çerçeveseler

Düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeveseler, yuvarlanmış geniş başlıklı kolonlardan ve kaynaklı çelik kafes kirişlerinden oluşur. şekil 3.8’de düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeve örnekleri gösterilmektedir. Düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeveselerde gözlenen göçmelerin nedeni kolon temellerinin yerel burkulmaları ile ilgilidir. Çoğu düzlem kafes kirişi-kolon bağlantılarındaki kaynakların kırıldığı veya çatladığı gözlenmektedir.



şekil 3.8 Düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeve örnekleri [6]

Düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçevelerin diğer bir versiyonu, Vierendeel kirişlerinin yatay elemanlar olarak kullanıldığı moment aktaran çerçevelerdir (Şekil 3.8b). Elastik olmayan analizler, bu tür moment aktaran çerçevelerin çok iyi sismik davranışa sahip olduğunu ve kafes kirişlerin elemanlarında akmanın iyi dağıldığını göstermektedir.

Sünek düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçevelerde (Şekil 3.8c) düzlem kafes kirişinin orta açıklığındaki birkaç panelin diyagonal elemanı kaldırılmıştır. Bu yolla; bu sistem, düzlem kafes kirişli ve Vierendeel kafes kirişli sistemin iyi bir birleşimi olmaktadır [6].

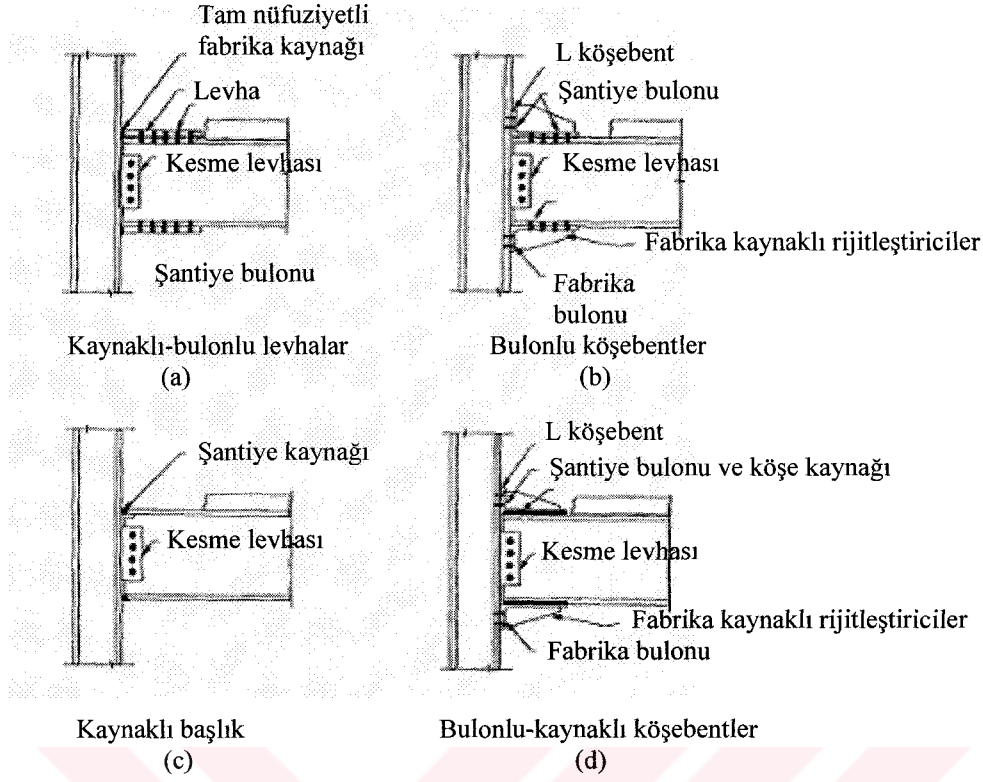
#### **d) Tüp İçinde Tüp ve Tüp Demeti Moment Aktaran Çerçeveler**

Tüp içinde tüp sistemi, daha büyük çevre moment aktaran çerçevenin içinde çevre moment aktaran çerçeve içeren çerçeve sistemidir. Tüp demeti sistemi ise tek bir sistem oluşturmak için çevre moment aktaran çerçevelerin birlikte kullanılmasıdır. Tüp demeti sisteminin sismik performansı, uzay ve çevre moment aktaran çerçevelerin performanslarının arasındadır.

#### **3.1.1.2. Kullanılan Bağlayıcıların Türüne Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri**

Çelik moment aktaran çerçeve birleşimleri; kiriş başlıklarının kolonlara bağlanış şekillerine göre şantiye-kaynaklı birleşimler, şantiye-bulonlu birleşimler ve perçinli birleşimler olarak sınıflandırılabilirler. Perçinli birleşimler, 1950’li yılların ortalarına kadar şantiyelerde, 1970’li yıllara kadar fabrikalarda kullanılmıştır.

Kaynaklı moment aktaran çerçevelerde, kiriş başlıkları kolonlara direkt veya levhalar veya köşebentler gibi bağlantı elemanları vasıtasıyla şantiyede kaynaklanır. Bulonlu moment aktaran çerçeveler, şantiyede sadece bulonlamanın yapıldığı, kaynağın yapılmadığı çerçevelerdir. Bulonlu moment aktaran çerçevelerde kaynak yapılması gerekiyorsa, kaynak işlemi atölyede yapılmalıdır. Kaynaklı ve bulonlu moment aktaran çerçevelerin her ikisinde de kiriş gövdesinden kolonlara kesme kuvvetinin transferi kaynaklı veya bulonlu bağlantılar tarafından sağlanabilir. Şekil 3.9a ve Şekil 3.9b’de şantiye-bulonlu, Şekil 3.9c ve Şekil 3.9d’de ise şantiye-kaynaklı moment aktaran çerçeve örnekleri gösterilmektedir. Son yıllarda; Şekil 3.9c’deki detay, özel moment aktaran çerçevelerde özel bir uygulama detayı olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.9 Şantiye-bulonlu ve şantiye-kaynaklı çelik moment aktaran çerçeve bağlantı örnekleri [6]

### 3.1.1.3. Süneklığe Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri

Yapıdaki elastik olmayan davranışların derecesine bağlı olarak yapıda oluşan sismik kuvvetlerin büyüklükleri değişmektedir. Elastik/esnek olmama; rijitliği azaltır, enerji sönümlenmesinin artmasını sağlar ve titreşimlerin periyodunu uzatır. Bu değişiklikler, yapıya etkiyen sismik kuvvetlerin azalmasına neden olur. Geçerli olan sismik tasarım yaklaşımları ve yönetmelikler, sismik tasarım kuvvetlerini azaltmak için yapıda biraz hasara izin verilmesi konseptine dayanmaktadır.

Çelik yapılarda elastik olmama durumu, yapısal elemanların veya bağlantı elemanlarının akması, kayması, burkulması ve kırılması sonucu ortaya çıkabilir. Çeliğin akması, en çok istenen elastik olmama ve enerji sönümleme durumudur. Bu durum, kullanılan yapısal çeliklerin çok sünek malzemeler olmasından kaynaklanır. Yerel veya tam burkulmanın oluşmasından dolayı, çelik elemanların veya kaynak gibi bağlayıcıların kırılmasının gözlemlendiği 1994 yılındaki Northridge depreminde yapıların, çeliğin yüksek süneklilik özelliğini kullanamadığı ortaya çıkmıştır.

Çelik yapılarda elastik olamamanın nedenlerinden biri kaymadır. Servis yükleri etkisi altında kayma meydana gelirse; kayma, gevrek yapısal olmayan elemanlarda

çatlamalara neden olur. Eğer kayma deprem süresince yapı tarafından kontrol altına alınırsa, kayma sismik performansı geliştirebilir. Performansın geliştirilmesi üç yolla olabilir:

- Bulonlu bağlantılarda olduğu gibi, kayma sürtünme kuvvetlerinin bertaraf edilmesiyle meydana geliyorsa, enerji sönümleme kapasitesinin artması sonucu önemli miktarlarda enerji sönümlenebilir.
- Kayma, rijitlik sigortası olarak görev yapar ve deprem süresince yapının rijit davranışı değişir. Deprem süresince yapının rijitliğinin değişmesiyle yapının dinamik karakteri de değişir.
- Bulonlu moment aktaran çerçevelerdeki kaymadan dolayı, bağlantının dönme sünekliği artar. Kaynaklı bağlantıların en büyük eksikliği düşük dönme sünekliğine sahip olmalarıdır.

Eğer aşırı servis yüklerinin etkisi altında sürtünme kayması meydana geliyorsa ve kayma dayanımı tekrarlı yüklerin etkisi altında bile korunabiliyorsa, bu şekildeki kayma, çelik yapıların sismik davranışlarını etkili olarak kontrol etmekte ve geliştirmekte kullanılabilir ve hasarların azalmasını sağlar.

Çelik elemanların yerel veya tam burkulması konusu, özel dikkat gerektirir. Çoğu durumda, çeliği sadece akmaya maruz kalmaya zorlamak mümkün olmaz. Çelik elemanların narinliklerinden dolayı, büyük tekrarlı deformasyonlar süresince yapıda tam veya yerel burkulmalar gözlenebilir. Bununla beraber; kırılmayla sonuçlanmayacak küçük yerel burkulmalar büyük deprem süresince çelik yapıların tekrarlı davranışlarını geliştirmekte yararlı olabilirler. Yerel olarak burkulan alanlar sigorta olarak görev yaparlar ve oluşabilecek kuvvetleri sınırlarlar. Kuvveti yerel burkulma kapasitesine sınırlamayla, kaynaklar gibi gevrek bağlantı elemanları da korunabilir.

Genel olarak, burkulma akmadan daha az istenen bir olaydır. Tekrarlı burkulmadan dolayı, çelik elemanın yük taşıma kapasitesi ve rijitliği azalmaktadır. Kritik elemanların göçmesi, deprem sonrasında yerçekimi yüklerini taşıyacak sistemin dayanımında ve rijitliğinde ciddi bir düşüşe neden olabilir. Tamamen veya yerel olarak burkulan elemanın deforme olması, bazı durumlarda bu elemanın onarılmasını veya değiştirilmesini gerektirir.

Yapılarda en çok istenmeyen elastik olmama nedeni kırılma halidir. Sismik tasarımda; çelik için kırılma, genellikle sünek olmayan ve kırılmış elemanın yüklerini yeniden dağıtması için diğer bir yük yolu yoksa istenmeyen bir durumdur. Kırılmadan dolayı, yapının yerçekimi yükü taşıma kapasitesi önemli ölçüde azalabilir ve kısmi veya tam göçme olayı gözlenebilir. Böyle bir davranış sünek olmayan ve kabul edilemez bir davranıştır.

Elastik olmama nedenine ve elastik olmayan elemanların dayanımlarını muhafaza ederken deforme olabilmelerine göre, çelik moment aktaran çerçeveler; özel moment aktaran çerçeveler ve sıradan moment aktaran çerçeveler olmak üzere iki gruba ayrılır [6].

#### **a) Özel/Sünek Moment Aktaran Çerçeveler**

Özel moment aktaran çerçevelerde yapısal elemanların ve bağlantıların kırılmaları erken burkulmaları önlenmiştir. Bunun yanında, özel moment aktaran çerçeveler sünek davranışa sahiptir. Özel moment aktaran çerçevelerde hasar; kaymanın oluşmasıyla, çeliğin akmasıyla, kiriş bağlantılarında geciktirilmiş ve sınırlanmış yerel burkulmanın oluşmasıyla veya plastik mafsalların oluşmasıyla gözlenir. Yerçekimi yükünü taşıyan sistemi bozacak herhangi bir bölgedeki kırılmadan kaçınılmalıdır. Bu tür davranış, sistemi sünek sistem olarak sınıflandırır.

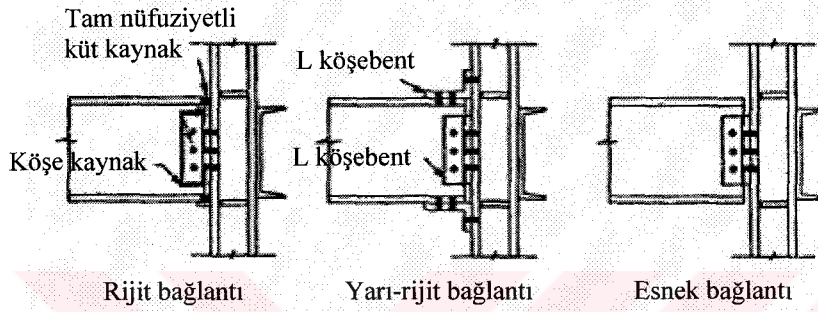
#### **b) Sıradan Moment Aktaran Çerçeveler**

Eğer çelik moment aktaran çerçeve, özel moment aktaran çerçevelerin gerekliliklerini yerine getiremiyorsa, çerçevenin sünek davranması beklenemez ve bu çerçeveler sismik tasarım yönetmeliklerinde sıradan moment aktaran çerçeveler olarak sınıflandırılırlar. Sıradan moment aktaran çerçevelerin uygun olabilmeleri için deprem yükü azaltma katsayısı  $R = 6$  alınarak yeterli dönme sünekliğine sahip olmaları sağlanmalıdır. Buna rağmen, sıradan moment aktaran çerçevelerde gerekli/yeterli süneklik değeri tam olarak elde edilememektedir.

#### **3.1.1.4. Rijitliğe Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri**

Moment aktaran çerçevelerin tasarımında özellikle güçlü kolon-daha az güçlü kiriş prensibi uygulanmaktadır. Bu sistemlerde, kiriş ve bağlantı davranışı yapının bütün davranışını belirlemektedir.

Çelik moment aktaran çerçevelerin davranışı, kirişlerinin ve kolonlarının eğilme rijitliklerine ve bağlantılarının dönme davranışlarına bağlıdır. Genel olarak; çelik moment aktaran çerçeveler, rijit/tamamen sınırlanmış, yarı-rijit/kısmi olarak sınırlanmış ve esnek/basit olmak üzere üç kategoriye ayrılırlar (AISC, 1994) (Şekil 3.10). Esnek moment aktaran çerçeveler mevcut yapılarda bulunabilir veya çaprazlı çerçeve sistemleri için destek sistem olarak kullanılabilir. Esnek moment aktaran çerçeveler, kolon-kiriş bağlantılarının dayanımlarına ve eğilme rijitliklerine dayanmaktadırlar [6].



Şekil 3.10 Rijit, yarı-rijit ve esnek bağlantı detayları [6]

### 3.1.1.5. Bağlantıların ve Elemanların Moment Kapasitelerine Göre Moment Aktaran Çerçeve Türleri

Moment aktaran çerçevelerin bağlantılarındaki kolonların ve kirişlerin göreceli eğilme kapasitelerine bağlı olarak çerçeveler;

- Güçlü kolon-daha az güçlü kiriş çerçeveleri
  - Güçlü kiriş-daha az güçlü kolon çerçeveleri
- olarak sınıflandırılırlar.

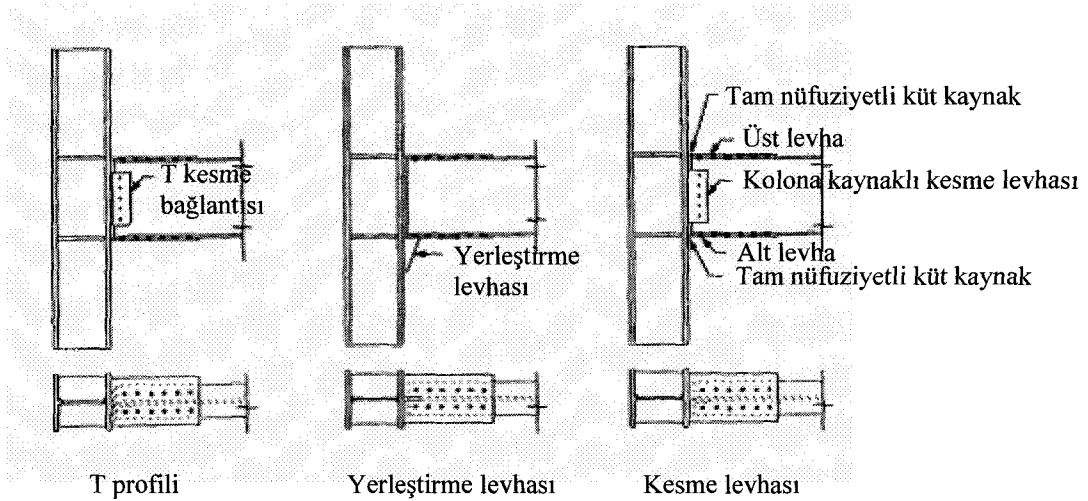
Güçlü kolon-daha az güçlü kiriş çerçeveleri çok sık olarak kullanılırlar ve çoğu inşaat mühendisine göre güçlü kiriş-daha az güçlü kolon çerçevelerinden daha iyi sismik davranışa sahiptirler. Güçlü kolon-daha az güçlü kiriş çerçevelerinde, bağlantıdaki kirişlerin moment kapasiteleri, kolonların moment kapasitelerinden daha azdır. Bu yüzden, düşey ve yatay yüklerin etkisi altında, plastik mafsalların kirişlerde oluşması beklenir. Güçlü kiriş-daha az güçlü kolon çerçevelerinde ise plastik mafsalların kolonlarda oluşması beklenir.

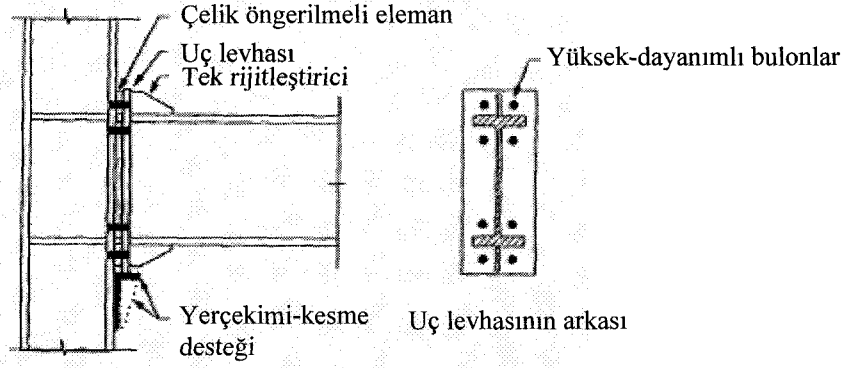
Sismik tasarımda, güçlü kolon-daha az güçlü kiriş konsepti çok sık kullanılmaktadır. Çünkü depremden sonra kolonların yerçekimi yüklerini taşıyabilmeleri yapının

stabilitesi açısından oldukça önemlidir. Çoğu deprem yönetmeliği, güçlü kolon-daha az güçlü kiriş konseptinin kullanılmasını tavsiye etmektedir. Çalışmalar; kirişlerinde plastik mafsallar oluşan moment aktaran çerçevelerin, kolonlarında plastik mafsallar oluşan moment aktaran çerçevelerden daha stabil olduğunu göstermektedir.

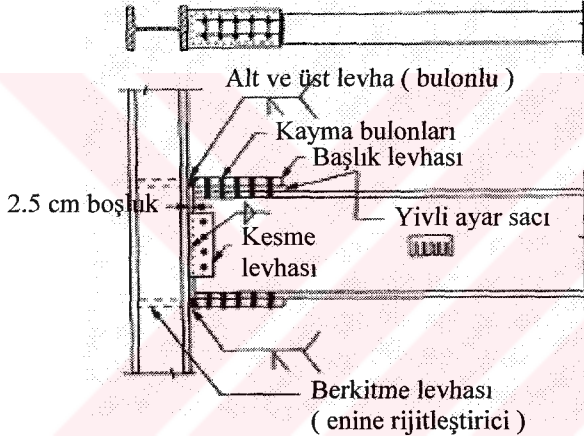
Güçlü kolon-daha az güçlü kiriş konsepti rasyonel bir sismik tasarım yaklaşımıdır. Az katlı binalarda ve büyük açıklıklarda bu konsepti yerine getirmek zor ve yüksek maliyetlidir. Güçlü kolon-daha az güçlü kiriş konseptini uygulamak için yarı-rijit kolon-kiriş bağlantıları kullanılabilir. Bu durumda, kiriş kuvvetli ve rijit olmasına rağmen kolonlara aktarılan momentler, kirişin moment kapasitesine göre değil, yarı-rijit bağlantıların moment kapasitesine göre sınırlanırlar. Plastik mafsallar kolonlarda değil de bağlantılarda oluşacak şekilde tasarım yapılırsa, yeni bir güçlü kolon-daha az güçlü kiriş sistemi ortaya çıkar.

Son yıllarda, kolonların panel bölgelerinde biraz elastik olmamaya izin verilerek, çelik moment aktaran çerçevelerin sismik tasarımında yeni bir eğilim ortaya çıkmıştır. Panel bölgelerinde sınırlı akmaya izin verilmesinin temel faydası, gövde rijitleştirici levhalara olan ihtiyacı azaltması ve çoğu durumda bu ihtiyacı yok etmesidir. Panel bölgelerinde, gövde rijitleştirici levhalara olan ihtiyacı azaltmanın veya yok etmenin en ekonomik ve güvenilir yolu, yarı-rijit kolon-kiriş bağlantıları kullanmaktır [6]. Şekil 3.11'de moment aktaran bulonlu alt ve üst levha bağlantı detayları, Şekil 3.12'de Astaneh-Asl tarafından önerilen öngerilmeli elemanlı uç levhası bağlantısı, Şekil 3.13'de ise moment aktaran bulonlu alt ve üst levha bağlantısı gösterilmektedir.



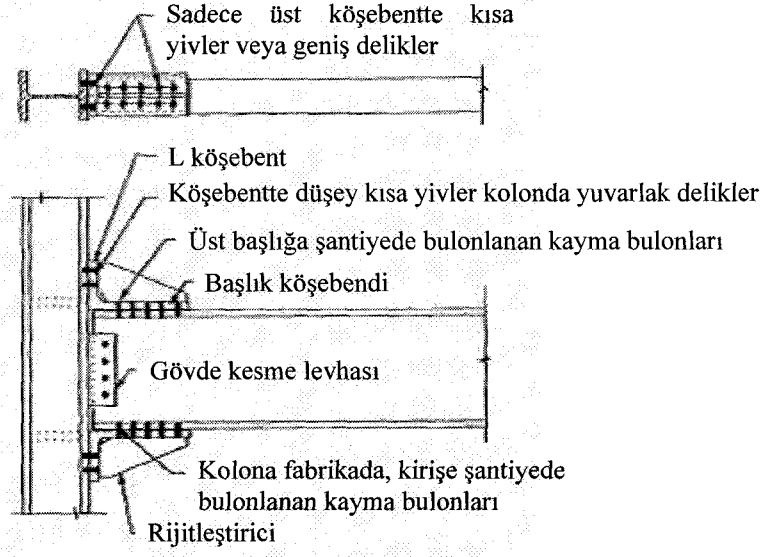


Şekil 3.12 Astaneh-Asl tarafından önerilen öngerilmeli elemanlı uç levhası bağlantısı [6]

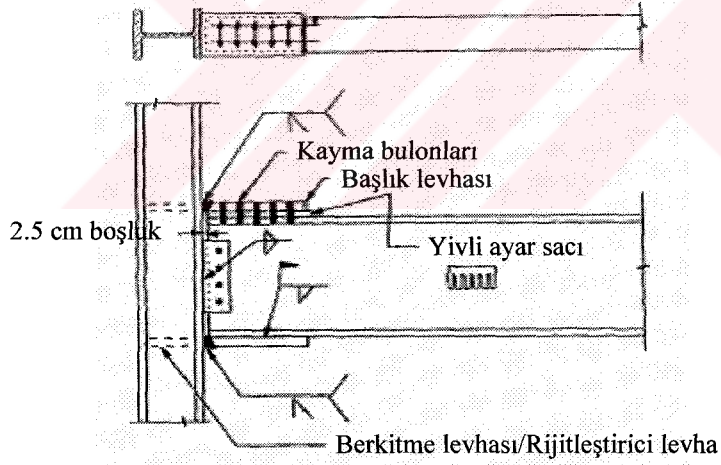


Şekil 3.13 Tipik moment aktaran bulonlu alt ve üst levha bağlantısı [6]

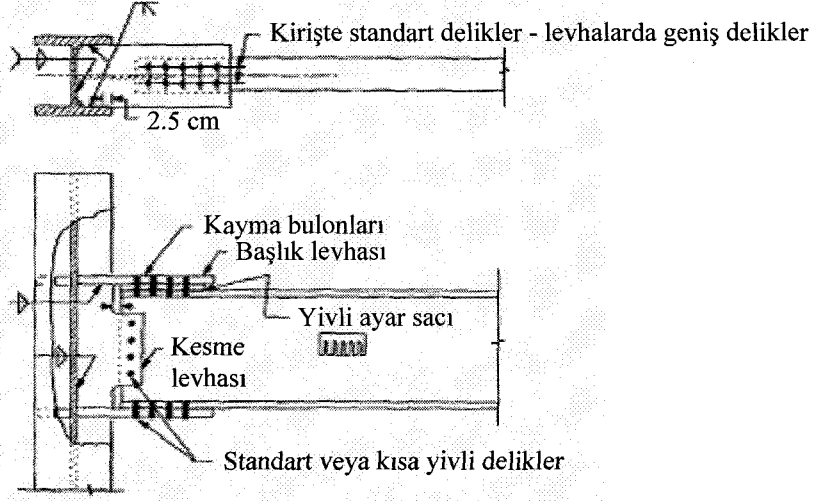
Önceden tasarlanmış moment kapasitesiyle birlikte yarı-rijit bağlantıların kullanılması, kolonun panel bölgesine aktarılan momentlerin kontrol edilmesini ve azaltılmasını sağladığından dolayı gövde rijitleştirici levhalara olan ihtiyaç azalmaktadır. Yarı-rijit bağlantı, sigorta gibi görev yaparak kolonlara ve panel bölgelerine büyük momentlerin aktarılmasını engeller. Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de çeşitli moment aktaran çerçeve bağlantıları gösterilmektedir.



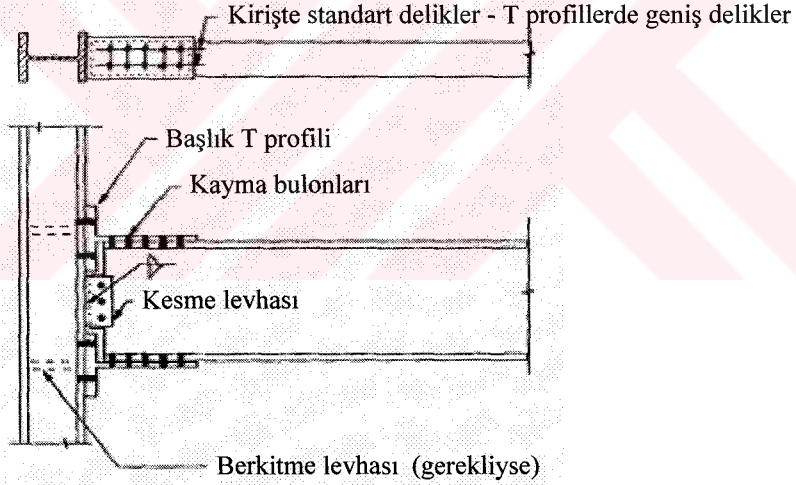
Şekil 3.14 Moment aktaran bulonlu rijitleştirilmiş alt ve üst köşebent bağlantısı [6]



Şekil 3.15 Moment aktaran bulonlu ve kaynaklı alt ve üst levha bağlantısı [6]



Şekil 3.16 Moment aktaran bulonlu ve kaynaklı kolon gövdesine bağlı alt ve üst levha bağlantısı [6]



Şekil 3.17 Moment aktaran bulonlu alt ve üst başlık T profili bağlantısı [6]

### 3.2. Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

Merkezi çaprazlı çerçeveler; yatay yüklere karşı koyan düşey kafes kiriş sistemini oluşturmak için elemanların merkez çizgilerinin bir noktada toplandığı ve elemanların bir noktada kesiştiği çaprazlı çerçevelerdir [7]. Düğüm noktalarına merkezi olarak birleştirilen çaprazlı çerçevelerde, kolon, kiriş ve çapraz elemanının ağırlık merkezinden geçen eksenlerinin/merkez çizgilerinin bir noktada kesişmesi,

birleşim yerlerindeki olanaksızlıklar nedeniyle tam olarak yapılamasa da dışmerkezlik ihmal edilebilir bir mertebededir.

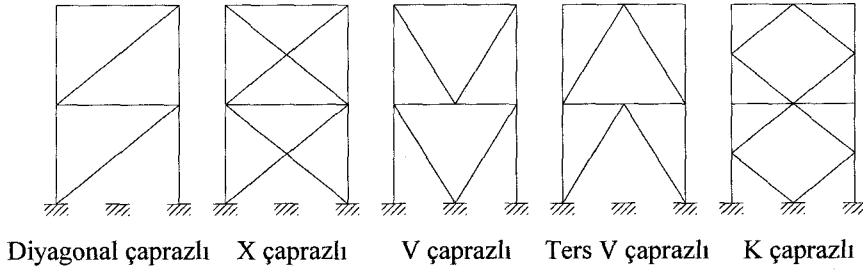
Merkezi çaprazlı çerçevelerde yatay deprem kuvvetleri, eksenel kuvvetlere/eksenel çekme veya eksenel basınca çalışan elemanlar/kolonlar ve çapraz elemanları tarafından karşılanır. Bu sistemlerde sünek elemanlar özellikle çekmeye çalışan çaprazlardır. Çünkü basınç çaprazlarındaki enerji dağılımı, burkulma nedeniyle elemanları çabuk deforme eder. Bundan dolayı, merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin enerji sönümleyici bölgeleri çekme çaprazları/diyagonalleri tarafından oluşturulur, çünkü basınç diyagonallerinin burkulduğu varsayımı yapılmaktadır. Kolonlar rüzgar yönünde çekme, rüzgar altı yönünde basınca çalışan başlıklar olarak devrilme momentini karşılarlar. Diyagonaller ve kirişler, diyagonallerin eğim doğrultusuna bağlı olarak çekme veya basınca çalışarak yatay kesme kuvvetini karşılarlar. Sistem üçgenlerle oluşturulmuş bir kafes ise kirişler de eksenel kuvvete çalışır [8]. Merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin elastik olmayan tekrarlı performansı, diyagonal çubuklarının tekrarlı burkulmalarından dolayı yetersiz olmaktadır. Bu durum, tekrar sayısı arttıkça sistemin enerji sönümleme kapasitesinde azalmaya neden olmaktadır. Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, tüm yatay kuvvetleri veya sadece bu kuvvetlerin bir kısmını karşılamak için tasarlanabilirler. Birinci durumda, kolon-kiriş birleşimleri sadece kesme kuvvetini aktarabilmeli; ikinci durumda kolon-kiriş birleşimleri hem kesme kuvvetini hem de eğilme momentini aktarabilmelidir. Her iki durumda da birleşimler tam dayanımlı olmalıdır [3].

Merkezi çaprazlı çerçevelerde, çapraz elemanlarının uçları mafsallı olarak kabul edilir ve yatay yük her iki yönden de gelebileceği için çapraz elemanlar hem çekmeye hem de basınca çalışacak şekilde tasarlanırlar. Kolon-kiriş birleşimleri ise mafsallı veya rijit yapılabilir. Merkezi çaprazlı çerçevelerin hesapları, her düğüm noktasında dengenin sağlandığı kafes hesapları gibidir [8]. Geometrilерinden dolayı merkezi çaprazlı çerçeveler, elastik bölgede eksenel yüklere maruz kalan elemanlarıyla tam bir kafes kirişi faaliyeti gösterirler. Böylelikle, orta veya çok şiddetli deprem süresince, burkulma sonrası bölgede çapraz elemanların ve bu elemanların bağlantılarının önemli seviyelerde elastik olmayan deformasyonlara maruz kalması beklenir [7].

Çapraz elemanları, kolon-kiriş birleşim türünden bağımsız olarak yerleştirilirler ve bu elemanlar her zaman eksenel kuvvetlere maruz kalırlar. Çaprazların

yerleştirilmesine/konfigürasyonuna göre genel olarak beş tür merkezi çaprazlı çerçeve bulunmaktadır (Şekil 3.18) [7]:

- Diyagonal merkezi çaprazlı çerçeveler
- X merkezi çaprazlı çerçeveler
- V merkezi çaprazlı çerçeveler
- Ters V merkezi çaprazlı çerçeveler
- K merkezi çaprazlı çerçeveler



Şekil 3.18 Merkezi çaprazlı çerçeveler [7]

### 3.2.1. Diyagonal ve X Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

Aktif çekme diyagonalleri olarak da adlandırılırlar. X çaprazlı çerçevelerin bir diyagonal çekme, diğer diyagonal basınç diyagonalidir. Bu tür çerçevelerde yatay yükler, sadece çekmeye çalışan diyagonaller tarafından karşılanmakta ve basınç diyagonalleri ihmal edilmektedir [2]. Bundan dolayı, sadece çekme diyagonalleri vasıtasıyla enerji sönmülenir. X veya diyagonal merkezi çaprazlı elemanlarda düşey yükler ihmal edilir [8].

### 3.2.2. V ve Ters V Merkezi Çaprazlı Çerçeveler

V çaprazlı ve ters V çaprazlı çerçevelerde de bir çekme ve bir basınç diyagonal bulunmaktadır. Bu tür çerçevelerde yatay yükler, hem çekme hem de basınca çalışan diyagonaller tarafından karşılanmaktadır ve deprem enerjisi çekme ve basınç diyagonalleri vasıtasıyla sönmülenmektedir. Bu diyagonallerin kesişim noktası, yatay ve sürekli bir kirişin üzerinde olmak zorundadır, yani diyagonaller kiriş ortasında kiriş sürekliliğini bozmadan birleştirilmelidir [2].

### 3.2.3. K Merkezli Çaprazlı Çerçeveler

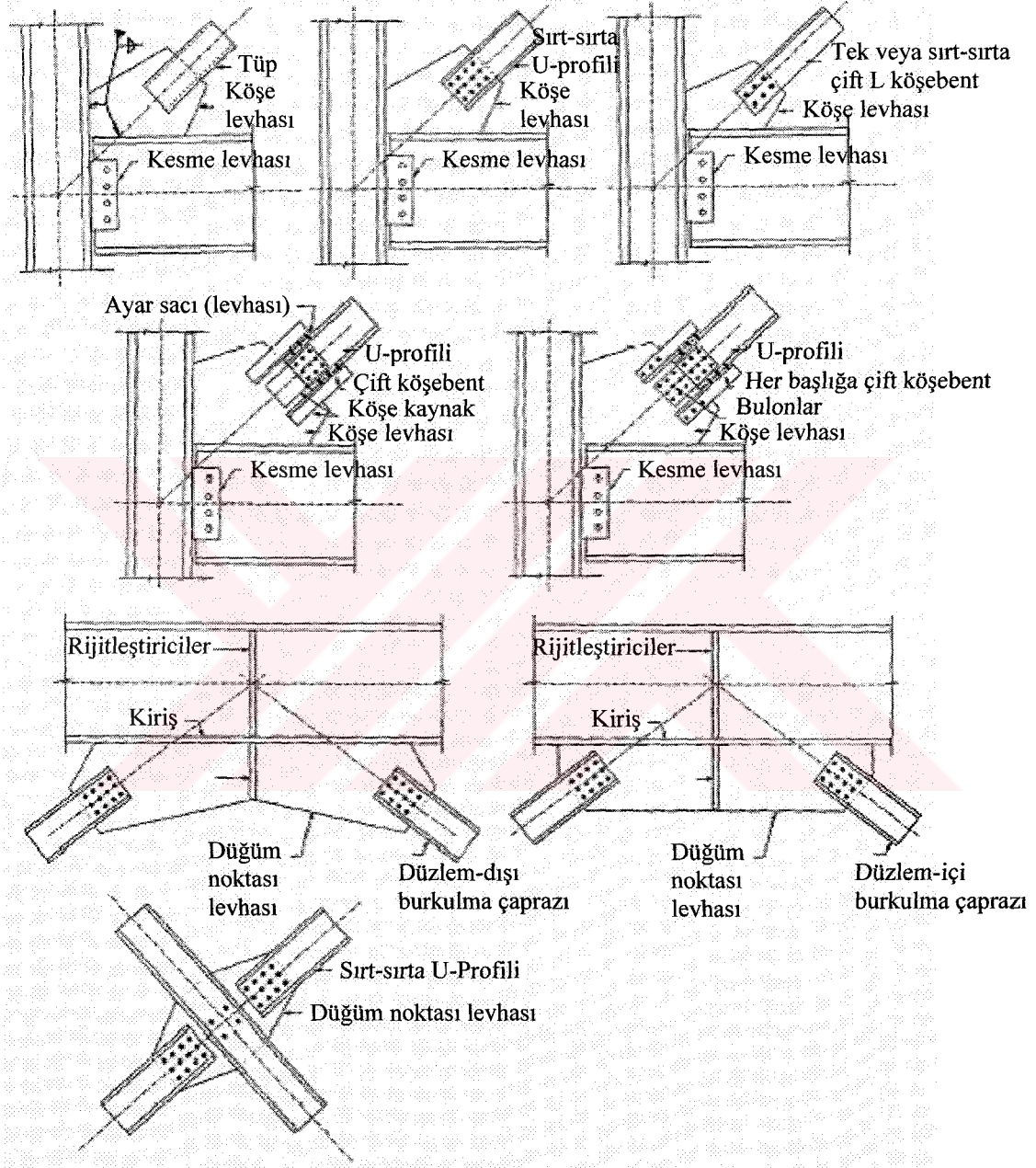
Diyagonallerin kolon ortasında birleştirildiği K çaprazları deprem yükleri altında sünek bir davranış gösteremez; çünkü K çaprazlı çerçeveler, çaprazlardan gelen dengesiz yatay yüklere maruz kalan kolonlara sahiptirler ve bundan dolayı akma mekanizmasına kolonun da katılımını gerektirirler [8]. Çaprazlardan gelen bu dengesiz yatay yükler kolonun akmasına yardım ettiğinden kolon göçmelerine neden olabilirler. Ayrıca çaprazlardan gelen yatay yükler; kolonun orta noktasının yatay yer değiştirmesine neden olduğundan, çerçevenin yatay kuvvetler altındaki performansı tehlikeli biçimde kötüleşir. Bu yatay yer değiştirme yapısal sünekliği ve göçme modu kontrolünü azaltabilir, bu da kolonun yanal burkulmasından dolayı ani/erken göçmeye yol açar. Sonuç olarak; K çaprazlı çerçevelerin, özellikle yüksek depremsellik gösteren bölgelerde güvenilirliği yetersizdir ve bu bölgelerde kullanılmaları tavsiye edilmemektedir. Bu sebeplerden dolayı K merkezli çaprazlı çerçeveler enerji sönümleyici olarak değerlendirilemezler ve kullanılamazlar [3]. Sadece eksenel basınca çalışan K çaprazlı sistem; sünekliği zayıf, deprem enerjisini yıkılmadan sönümleyemeyen bir sistemdir [8].

### 3.2.4. Çapraz Elemanı-Kolon/Kiriş Bağlantıları

Çelik çaprazlı çerçevelerde, çapraz elemanlarını kolonlara ve kirişlere bağlamak için düğüm noktası/köşe levhaları kullanılır. Buna ilave olarak, düğüm noktası levhaları, çelik uzay kafes kirişlerinin bağlantılarında da kullanılmaktadır. Şekil 3.19'da çaprazlı çerçevelerde kullanılan tipik düğüm noktası/köşe levhası bağlantıları gösterilmektedir. Çapraz elemanların düğüm noktası levhalarına bağlantıları detayların çoğunda bulonlu olarak gösterilmiştir. Bağlantılar kaynaklı da yapılabilir.

Düğüm noktası levhası, üzerine etkiyen kuvvetleri transfer edebilecek yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Çapraz elemanın düğüm noktası levhasına bağlı olduğu yerlerde, çapraz elemanının düzlem-dışı burkulduğu durumlarda, düğüm noktası levhası deforme olabilecek ve çapraz elemanının uç dönme kapasitesini sağlayabilecek yeterli sünekliğe sahip olmalıdır. Düğüm noktası levhasının kırılması; çapraz elemanının ve çaprazlı çerçevenin dayanım ve rijitliğinde önemli azalmalara neden olur. Bu tür azalmalar, çaprazlı çerçevenin istenmeyen ve gevrek bir davranış göstermesine neden olmaktadır. Bu yüzden; sismik uygulamalarda istenen sünek

sismik performansı sağlamak için/gevrek davranışı engellemek için düğüm noktası levhası bağlantılarındaki hakim göçme modu, akma göçme modu gibi sünek bir göçme modu olmalıdır. Kırılma göçme modu gibi gevrek bir göçme modunun gözlenmesi istenmemektedir [9].

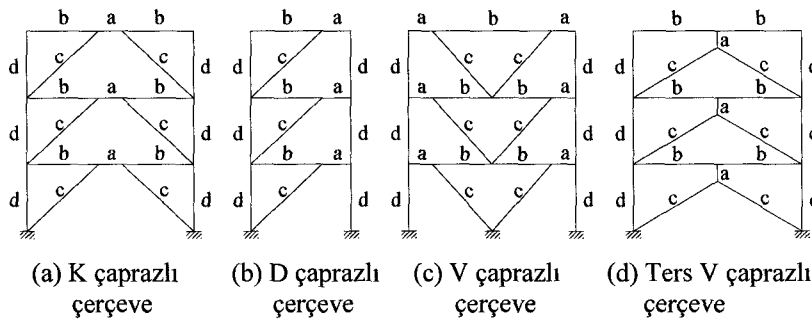


Şekil 3.19 Çaprazlı çerçevelerde kullanılan düğüm noktası levhası bağlantıları [9]

### 3.3. Dışmerkezi Çaprazlı Çerçeveler

Dışmerkezi çaprazlı çerçeveler; moment aktaran çerçeveler ile merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin birlikte düşünüldüğü uygun alternatif bir yapısal tipoloji oluşturmaktadır

[3]. Dışmerkezi çaprazlı sistem, merkezi çaprazlı çerçevenin rijitlik ve dayanımıyla, rijit çerçevelerin/moment aktaran çerçevelerin elastik olmayan davranışını ve enerji sönümlenme özelliklerini birleştiren bir sistemdir. Bu sistemde, rijit çerçevelerin ve merkezi çaprazlı çerçevelerin uygun yönleri birleştirilirken uygun olmayan yönleri önemsizleşir. Sistemin dışmerkezi olarak adlandırılması; çapraz elemanlarının kirişe birleşiminde (Şekil 3.20a, Şekil 3.20d) belli bir dışmerkezlilik uygulanmasından ve çaprazların, kolon-kiriş birleşimlerine/düğüm noktalarına belli bir dışmerkezlilikle kirişlere bağlanmasından (Şekil 3.20b, Şekil 3.20c) dolayıdır [8]. Bu sistemlerin etkili olması için dışmerkezlilikler, çaprazlı çerçeve kolonları arasındaki açıklığın  $1/5$ 'i ile  $1/10$ 'u arasında seçilmelidir [10]. Dışmerkezi çaprazlı çelik çerçeveler, dışmerkezi olarak moment aktaran çerçevelere yerleştirilmiş diyagonaller tarafından sağlanan rijitlik etkisi ile faaliyet gösterirler. Diyagonal elemanların konumuna göre dışmerkezi çaprazlı çerçeveler genel olarak D çaprazlı, K çaprazlı, V çaprazlı ve ters V çaprazlı olarak sınıflandırılabilirler. Bu diyagonallerin eklenmesinden dolayı kiriş iki veya daha fazla parçaya ayrılır [3]. En az bir çapraz eleman ucu, yakın kiriş-çapraz veya kolon-kiriş bağlantısından kısa bir mesafede bir kirişe bağlanırlar (Şekil 3.20). Bu kısa kiriş parçası, “bağlantı kirişi” olarak adlandırılır ve elastik olmayan temel bölgeyi oluşturur [7]. Bağlantı kirişi, dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelerin enerji sönümleyici elemanıdır. Bu tipolojide deprem enerjisi, bağlantı kirişinin elastik olmayan tekrarlı kesme ve eğilme faaliyetleri vasıtasıyla sönümlenmektedir [3].



a = Bağlantı kirişi  
b = Bağlantı kirişi dışındaki kiriş parçası  
c = Diyagonal destek ( çapraz )  
d = Kolon

Şekil 3.20 Dışmerkezi çaprazlı çerçeveler [7]

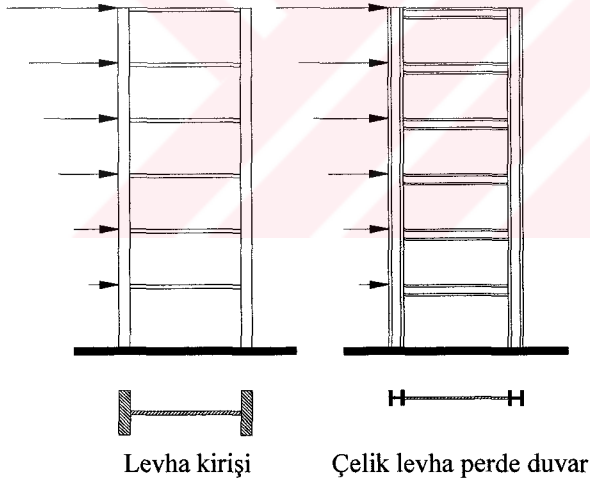
Dışmerkezi çaprazlı çerçevelerin, deprem hareketleri sonucu ortaya çıkan kuvvetlere maruz kaldıklarında bağlantı kirişlerinde önemli seviyelerde elastik olmayan deformasyonlara dayanmaları beklenir. Bağlantı kirişlerinin tamamen akması ve gerilme kuvvetleriyle zorlanması sonucu ortaya çıkabilecek maksimum kuvvetlerin etkisi altında diyagonaller, kolonlar ve bağlantı kirişinin dışında kalan kiriş parçaları elastik kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Enerji sönümleyen plastik mafsalların sadece bağlantı kirişlerinde oluşmasına izin verilmelidir. Elastik olmayan deformasyonlara maruz kalan bağlantı kirişleri çapraz elemanların büyük kuvvetler almasını engelleyerek burkulmalarını önler. Bağlantı kirişi denilen dışmerkezliğin oluşturduğu kiriş parçası, diğer eğilme elemanlarında/kirişlerde plastik mafsallar, basınç elemanlarında burkulma oluşmadan eğilme ve kesme akmasına girer. Bu çerçevelerde akmanın ilk olarak bağlantı kirişinde oluşması beklenir. Böylece sistem, büyük elastik olmayan deformasyonlarda bile stabilitesini korur. Rüzgar etkileri altında ve küçük depremlerde tüm davranış elastik olduğu için ve plastik mafsallar oluşmadığından gerekli rijitlik sağlanır. Bağlantı kirişindeki eğilme ve kesme deformasyonları nedeniyle deformasyon, merkezi çaprazlı çerçevelerden daha fazladır ancak bu kiriş parçasının oldukça kısa olması nedeniyle yer değiştirmeler az olur. Çelik, kırılmadan deforme olabilme kabiliyeti ve yüksek dayanımı nedeniyle dışmerkezi çaprazlı sistem için en uygun malzemedir. Uygun tasarım ve birleşimlerle uygulandığında en büyük tasarım yükünün ötesinde yüklere karşı koyabilir. Dışmerkezi çaprazlı çerçeveler; moment aktaran çerçevelerden daha hafif, merkezi çaprazlı çerçevelerden daha sünektir. Bağlantı kirişindeki küçük hasar yapının göçmesini önler, çünkü yapı düşey yük taşıma kapasitesini ve rijitliğini kaybetmez [8].

Araştırmalar, dışmerkezi çaprazlı çerçevenin özellikle kısa bağlantı kirişleri kullanıldığında, sıradan ve özel merkezi çaprazlı çerçevelerden daha iyi elastik rijitlik sağladığını göstermektedir. Bağlantı kirişleri çok kısa kullanılmadığında, elastik olmayan bölgede dışmerkezi çaprazlı çerçeveler özel moment aktaran çerçevelerden daha iyi sünekliğe ve enerji sönümleme kapasitesine sahiptirler. Düğüm noktalarına dışmerkezli olarak birleştirilen çapraz elemanlarının uçlarının genellikle mafsallı birleştirildiği kabul edilir. Fakat kolon-kiriş birleşimleri tam sürekliliği sağlayacak şekilde kaynaklı yapılır. Çapraz elemanların kolonlara bağlandığı çaprazlı çerçevelerde bağlantı kolon kesitinin başlığına yapılmalıdır,

kolon gövdesine bağlantı yapılmamalıdır [10]. Bağlantı kirişinin yanal burkulmasının ve yerel burkulmaların önlenmesi gerektiğinden, bağlantı kirişi parçalarının gövdesi çaprazların birleştiği noktalarda çift taraflı olarak güçlendirilmelidir [8].

### 3.4. Çelik Levha Perde Duvarlı Çerçeveler

Çelik levha perde duvarlı çerçevelerin temel fonksiyonu; yatay yüklerden dolayı oluşan yatay kat kesme kuvvetlerine ve devrilme momentlerine karşı koymaktır. Genel olarak, çelik levha perde duvar sistemi; çelik levha duvardan, iki başlık/uç kolonundan ve yatay döşeme kirişlerinden meydana gelir. Çelik levha perde duvarın her iki ucundaki kolona başlık/uç kolonu denilmektedir. Çelik levha duvar ve iki başlık kolonu birlikte düşey levha kirişi olarak görev yaparlar (Şekil 3.21). Kolonlar; düşey levha kirişinin başlıkları olarak ve çelik levha duvar, düşey levha kirişinin gövdesi olarak görev yapar. Yatay döşeme kirişleri; az veya çok, levha kirişte enine rijitleştirici olarak görev yapar [11].



Şekil 3.21 Tipik levha kirişi ve çelik levha perde duvar [11]

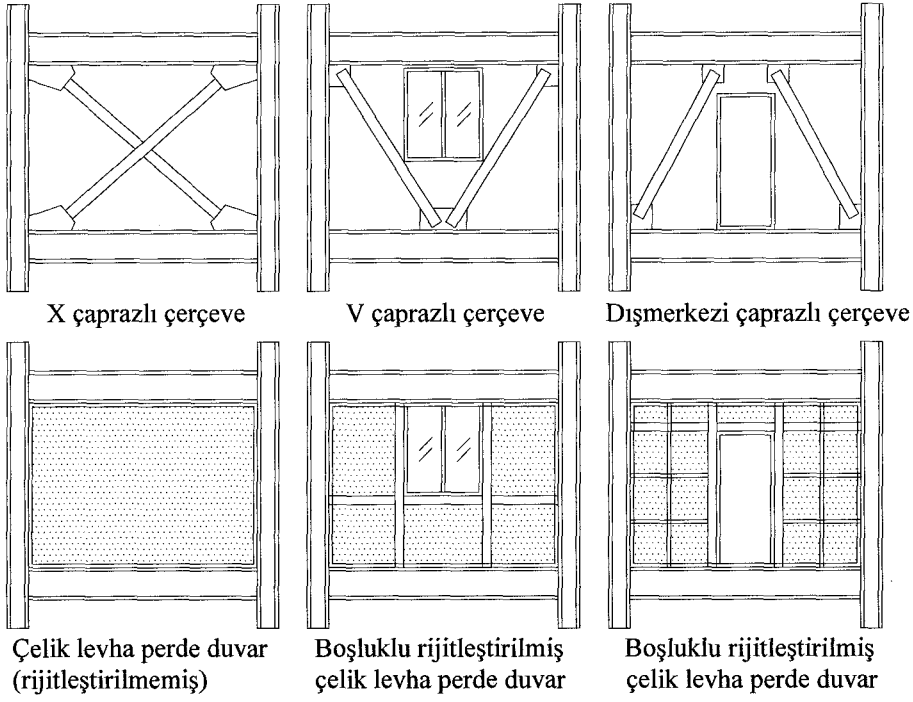
Yatay yüklere karşı koymak için çelik levha perde duvarlar kullanılmasının birçok avantajı vardır. Doğru olarak tasarlanan ve detaylandırılan bu sistem çok sünektir ve göreceli olarak büyük enerji sönümleme kapasitesine sahiptir. Bundan dolayı, çelik perde duvarlar çok etkili ve ekonomik yatay yük taşıyıcı sistemler olabilirler. Çelik perde duvar sistemi, göreceli olarak yüksek başlangıç rijitliğine sahiptir, bundan dolayı bu sistem ötelenmelerin sınırlandırılmasında çok etkilidir. Betonarme perde

duvarlarla karşılaştırıldıklarında, çelik perde duvarlar çok daha hafiftir. Yapının ağırlığının azalmasından dolayı, temeller ve kolonlar tarafından daha az ağırlık taşınır ve yapı daha az sismik yüke maruz kalır. Fabrika/atölye kaynaklı-şantiye bulonlu çelik perde duvarlar kullanılarak, yapım süreci hızlandırılabilir ve inşaat maliyeti azaltılabilir. Bununla birlikte, şantiye denetiminin ve kalite kontrolünün daha kolay yapılabilmesi bu sistemleri daha etkili hale getirmektedir.

Çelik levha perde duvarlar; betonarme perde duvarlarla karşılaştırıldıklarında, göreceli olarak daha az kalınlığa sahiptir. Mimari açıdan bakıldığında, çelik levha perde duvarlar eşdeğer betonarme perde duvarlardan çok daha az yer kaplar. Çok katlı binalarda, betonarme perde duvarlar kullanıldığında alt katlardaki duvarlar çok kalın olur ve planda çok alan işgal ederler. Betonarme perde duvarlarla karşılaştırıldıklarında, çelik levha perde duvarlar varolan bir binada sismik güçlendirmede kullanıldıklarında daha hızlı ve kolay inşa edilebilirler. Fabrika kaynaklı-şantiye bulonlu elemanlarla inşa edilebilmelerinden dolayı çelik levha perde duvar sistemleri geleneksel sistemlerden daha etkilidir. Düşük sıcaklıklarda betonarme inşaatın ekonomik olmadığı ve zor olduğu soğuk bölgeler için bu sistemler çok etkili ve pratik olabilirler.

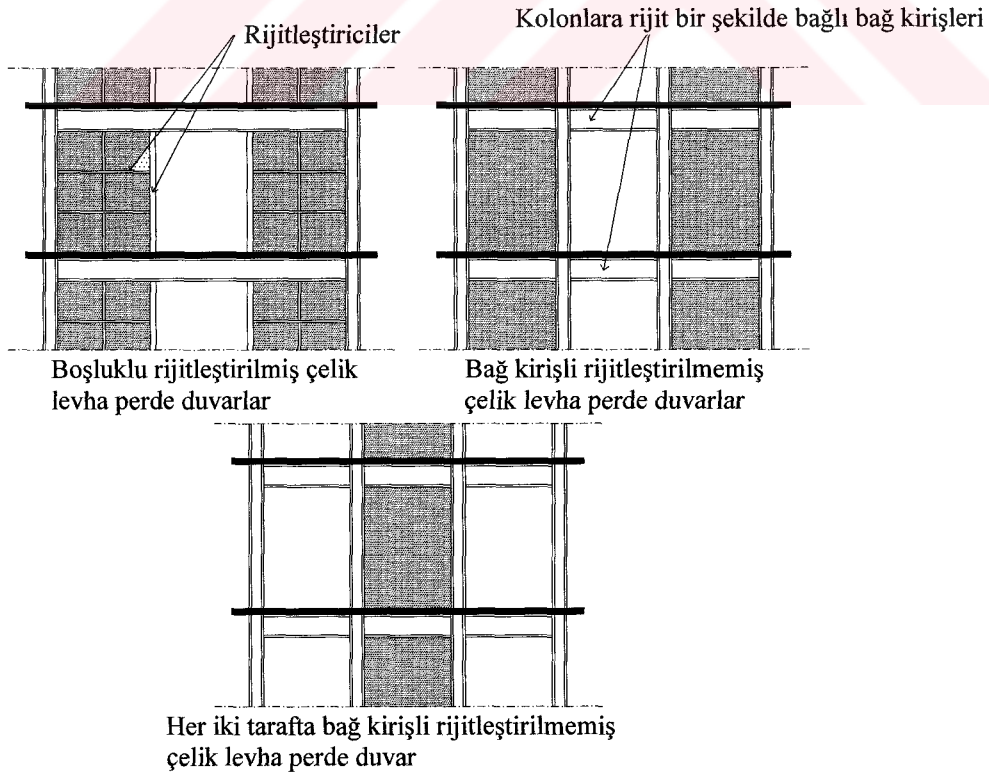
Amerika'daki ilk çelik levha perde duvar uygulamalarında, duvarlar yatay ve düşey rijitleştiricilerle/sürekli çelik şeritlerle desteklenmiştir. Günümüzde, Japonya'da da çelik levha perde duvarlar rijitleştirilmektedir. Bu tür rijitleştiricileri duvara kaynaklamak, duvarın kesme akması dayanımını artırır. Bununla beraber, günümüzün çelik üretim atölyelerinde/fabrikalarında, çelik duvara rijitleştiricileri kaynaklamak maliyetli ve zaman alıcı bir uygulamadır. Geçmiş yıllardaki araştırmalar ve deneyler rijitleştiricisiz yalnız çelik levhaların çok sünek davrandıklarını göstermektedir. Geçmiş yıllarda Amerika'daki ve Kanada'daki çelik perde duvar uygulamalarında, rijitleştirilmemiş çelik levhalar ekonomik ve etkili olarak kullanılmıştır.

Bazı pencere veya kapı boşluklarının yerleştirilebildiği çaprazlı çerçevelerle karşılaştırıldıklarında, çelik perde duvarlarda bu boşluklar Şekil 3.22'de gösterildiği gibi duvar, boşluk etrafı rijitleştirilerek bırakılabilir. Rijitleştirilmemiş çelik levha perde duvarları için, gerilme alanı faaliyetinin (Şekil 3.25b) sürekliliğinin sağlanması amacıyla, boşluklar sadece kolonların orta-yükseklik bölgeleri ve kirişlerin orta-açıklık bölgeleri etrafında olabilir [11].



Şekil 3.22 Üç çaprazlı çerçeve (üst sıra) ve aynı çerçevelerin çelik levha perde duvarlarla düzenlenmesi [11]

Diğer bir çözüm de, iki ayrı perde duvarın Şekil 3.23’de gösterildiği gibi bağ kirişleriyle birbirine bağlanmasıdır. Bağ kirişleriyle birbirine bağlanmış bu perde duvar sistemi çok sünek olabilir ve istenen performansa sahip olabilir.

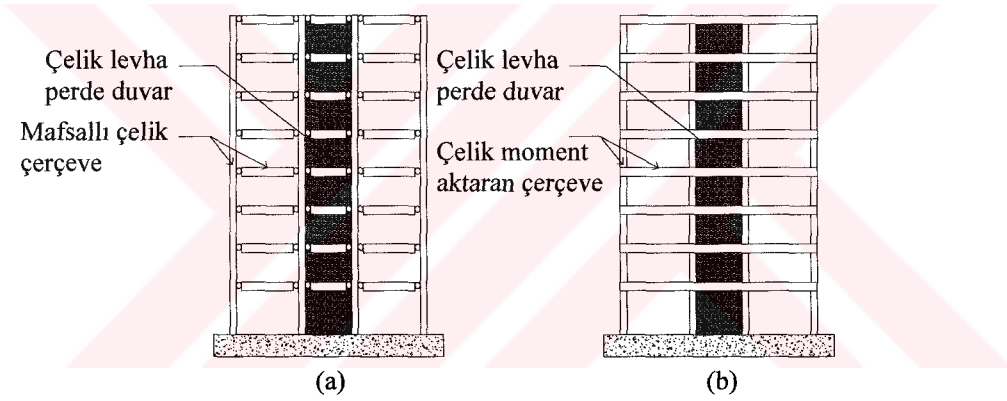


Şekil 3.23 Boşluklu çelik levha perde duvar örnekleri [11]

### 3.4.1. Çelik Levha Perde Duvarlı Çerçeve Türleri

Şekil 3.24’de standart ve ikili sistem olmak üzere iki tür çelik levha perde duvar sistemi gösterilmektedir. Standart çelik levha perde duvar sisteminde kolon-kiriş bağlantıları basit/mafsallı bağlantılara sahiptir. Bu sistemlerde, çelik levha perde duvarların sistemdeki tek yatay yük taşıyıcı eleman olduğu varsayılır. Çelik binalardaki basit bağlantılar, önemli moment kapasitelerine ve yarı-rijit bağlantılara sahiptirler, geçerli uygulama yaklaşımlarında olduğu gibi rijit davranışa sahip değildirler.

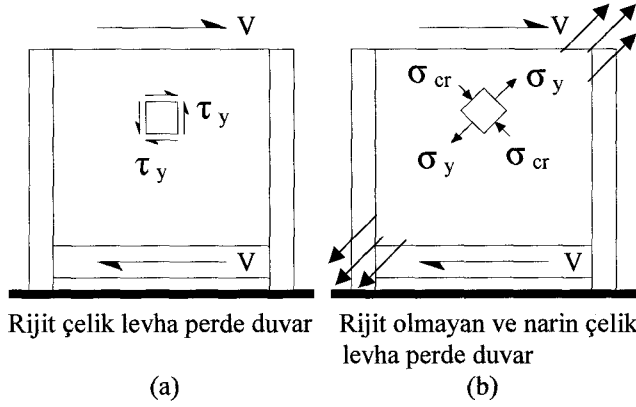
İkili çelik levha perde duvar sistemlerinde, çelik levha perde duvar düzlemine paralel veya çelik levha perde duvar düzleminde moment aktaran çerçeveler bulunmaktadır. Bu durumda; moment aktaran çerçeveler, esas yatay yük taşıyıcı sistem olan çelik levha perde duvara destekleyici sistem olarak katkıda bulunurlar.



Şekil 3.24 Çelik levha perde duvar türleri: (a) Standart ve (b) İkili sistem [11]

Çelik perde duvarlar rijitleştirilmiş veya rijitleştirilmemiş olabilirler. Amerika’daki ilk çelik levha perde duvar uygulamalarında, özellikle sismik güçlendirmelerde duvarlar rijitleştirilmiştir. Japonya’daki bütün uygulamalarda çelik levhalar rijitleştirilmiştir. Son yıllarda, Kanada’da ve Amerika’da çelik levha perde duvarlar, rijitleştirilmemiş çelik levhalar kullanılarak tasarlanıp inşa edilmektedir. Rijitleştirilmiş levha kullanılmasındaki amaç, kesme akmasından önce çelik levhanın buruşmasını önlemektir. Rijitleştirilmemiş çelik levha perde duvarlarda çelik levhanın buruşmasına izin verilir ve rijitleştirilmemiş levha kullanılmasındaki amaç, kat kesme kuvvetlerini karşılamak için duvardaki diyagonal gerilme alanı faaliyetini kullanmaktır (Şekil 3.25). Rijitleştirilmiş çelik levha perde duvarlar, aynı kesme

kuvvetini karşılamak için tasarlanmış rijitleştirilmemiş çelik levha perde duvarlardan daha incedirler.



Şekil 3.25 Kesme kuvvetlerine (a) Kesme akmasıyla (b) Gerilme alanı faaliyetiyle karşı koyan çelik levha perde duvarlar [11]

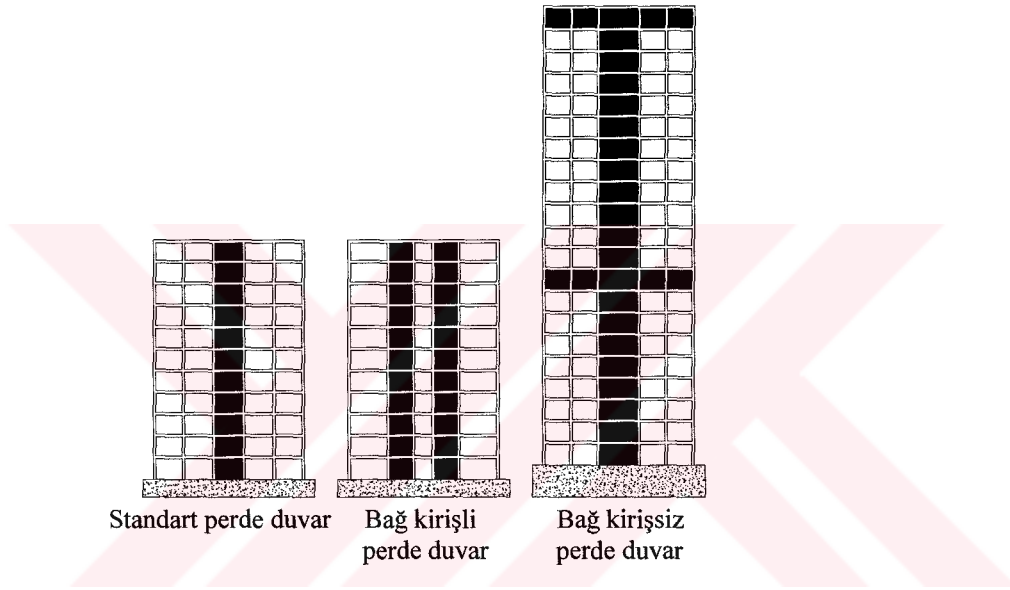
Rijitleştirilmiş veya rijitleştirilmemiş çelik levha perde duvarların seçilmesinde tasarımcı; sismik performansı, mimari ihtiyaçları, ekonomiyi, üretim kolaylığını, nakliye ve bu sistemlerin inşasını göz önünde tutmalıdır. Hem rijitleştirilmiş hem de rijitleştirilmemiş çelik levha perde duvarların, doğru olarak tasarlandıklarında istenen performansı göstermeleri beklenir. Ekonomik açıdan bakıldığında, rijitleştirilmemiş perde duvarlar daha az maliyetlidir, çünkü rijitleştiricileri çelik levhaya kaynaklamak işgücü-yoğunluklu bir aktivitedir. Aynı kalınlıktaki levhalar için, rijitleştirilmiş perde duvarlar rijitleştirilmemiş perde duvarlardan daha fazla kesme dayanımı sağlarlar. Rijitleştirilmiş perde duvarlarda, başlık/uç kolonları ve perde duvar tarafından devrilme momenti paylaşılır. Bu durum; I-profil kirişin başlığının çok büyük miktarlarda eğilme momenti etkisini, gövdenin ise biraz eğilme momentini ve çok büyük miktarlarda kesme kuvvetini karşılamasına benzer.

Rijitleştirilmemiş duvardaki çelik levhalar, basınç diyagonalinin başlangıç burkulmasından dolayı, önemli miktarlarda devrilme momentini taşımaya yardım edemezler. Sonuç olarak, başlık kolonlarında devrilme momentlerinden ve gerilme alanı oluşumundan dolayı meydana gelen ilave basınç sonucu, rijitleştirilmemiş perde duvar başlık kolonları, rijitleştirilmiş duvardaki başlık kolonlarından daha büyük boyutlara sahip olacağından daha ağır olurlar. Bununla beraber, fabrikalarda rijitleştiricilerin çelik levhalara kaynaklanmasının maliyeti, duvarın rijitleştirilmesiyle kolonlara etkileyen kuvvetlerin azalması ve duvarın

dayanımının artmasındaki kazancı/faydayı oldukça aşmaktadır. Bu yüzden, rijitleştirilmiş perde duvarların yaygın olarak kullanılması tavsiye edilmemektedir [11].

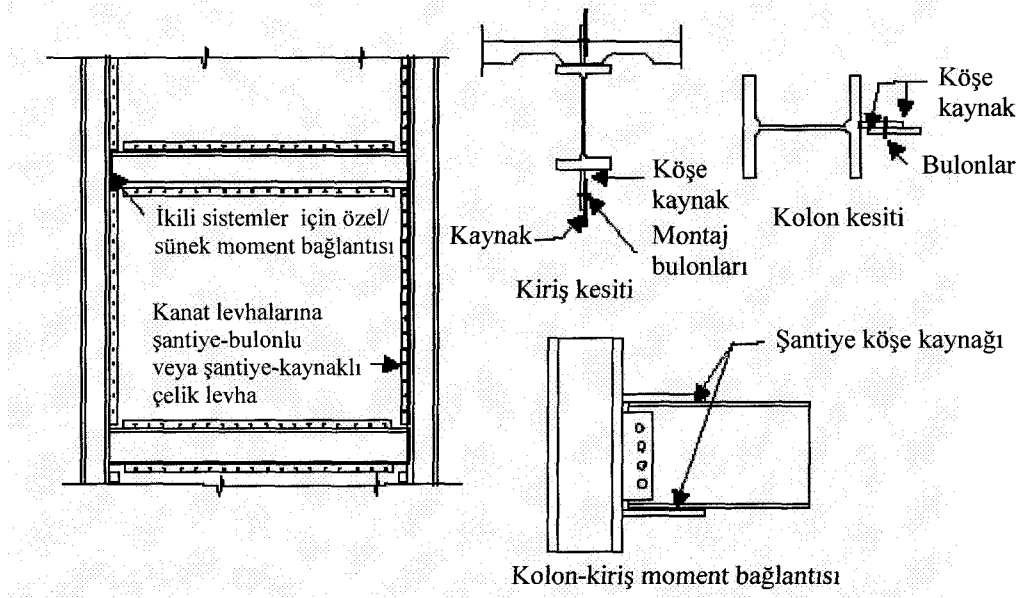
### 3.4.2. Önerilen Çelik Perde Duvar Sistemleri ve Detayları

Şekil 3.26'daki tipik çelik perde duvar sistemleri, ekonomik ve etkili sistemler olduklarından dolayı tavsiye edilmektedir. Şekil 3.27'deki detay Youssef, Troy ve Richard tarafından kullanılmıştır. Şekil 3.28'deki sistem, çelik levhanın şantiyede bulonla kolonlara ve kirişlere bağlandığı tipik çelik levha perde duvar sistemidir.

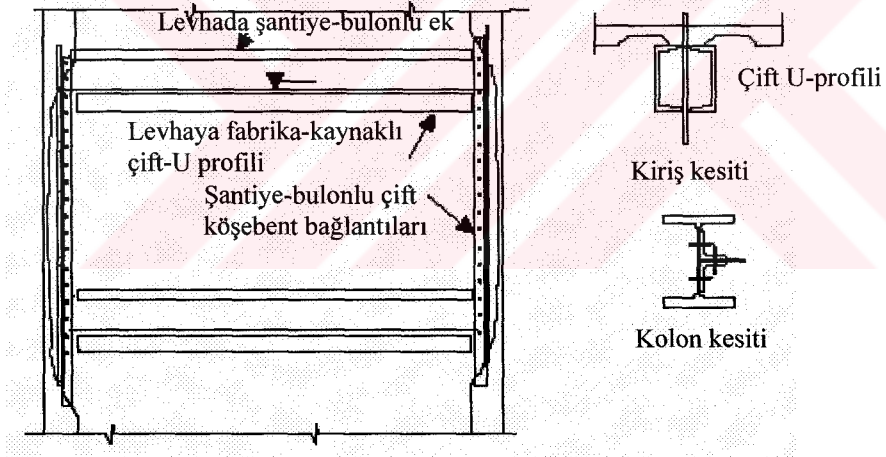


Şekil 3.26 Çelik levha perde duvar sistemleri için tipik düzenlemeler [11]

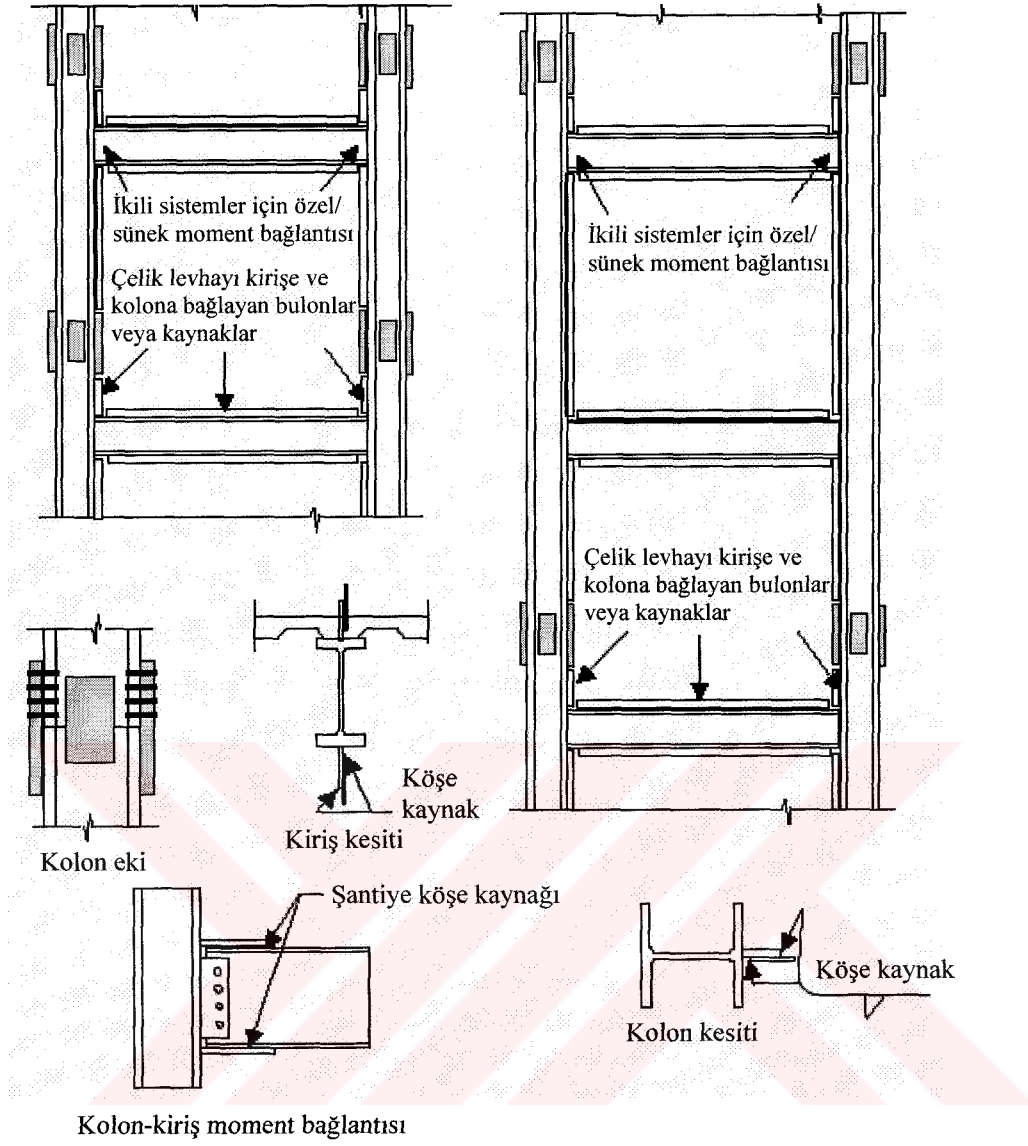
Şekil 3.29'daki sistem, bir veya iki kat çelik levha, başlık/uç kolonları ve başlık kirişlerinin montajının fabrikada yapıldığı bulonlama işleminin ise tamamen şantiyede yapıldığı bir sistemdir. Fabrika-kaynaklı prefabrike elemanlar şantiyede, kolonlarda ve çelik duvarlarda bulonlu veya kaynaklı ekler kullanılarak inşa edilirler.



Şekil 3.27 Youssef, Troy ve Richard tarafından önerilen çelik levha perde duvar sistemi [11]



Şekil 3.28 Fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu çelik levha perde duvar sistemi [11]



Şekil 3.29 Fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu çelik levha perde duvar detayları [11]

### 3.5. Betonarme ile Kompozit Yapısal Çelik Çerçeveler/Taşıyıcı Sistemler

Beton; çekme dayanımı düşük, basınç dayanımı yüksek bir malzemedir. Betondan farklı olarak çelik, çekme dayanımı oldukça yüksek bir malzemedir. Bu nedenle; çelik ile betonarme, taşıyıcı sistemlerde birlikte kullanılarak (kompozit taşıyıcı sistemler), birbirlerinin zayıf yönlerini gidermeleri sağlanmaktadır.

Deprem esnasında, yatay deprem yükleri ilk olarak döşemelere etkirler. Kompozit yapım tekniğinde döşemeler; yatay yükleri toplayan ve bu yükleri dağıtan, düzlem-içi kompozit diyafram sağlayan ve yapısal çerçeveye bağlanan betonarme ile kompozit çelik döşeme saclarından oluşurlar. Genellikle kompozit faaliyet,

düzlem-dışı kesme ve eğilme davranışı ve tasarım varsayımları bazında kompozit olmayan faaliyetten ayrılır.

Betonarme ile kompozit çelik döşeme sacları, düzlem-dışı eğilmeye ve kesmeye karşı koymak için beton dolgunun ve çelik sacın birlikte çalıştığı döşemelerdir. Betonarme ile kompozit olmayan çelik sac döşemeler, düzlem-dışı dayanım ve rijitlik beklenmeyen çatı döşemeleri olarak kullanılabilirler. Döşeme, düzlem-dışı kompozit faaliyet için tasarlanırsa da tasarlanmasa da, beton dolgu diyaframın düzlem-içi dayanımını ve rijitliğini çelik sac döşemenin yalnız kullanılmasına nazaran artırır ve çelik sacın burkulmasını engeller. Yani kompozit bir döşemenin dayanımı ve rijitliği, sadece çelik sacın kullanıldığı döşemeden daha fazladır.

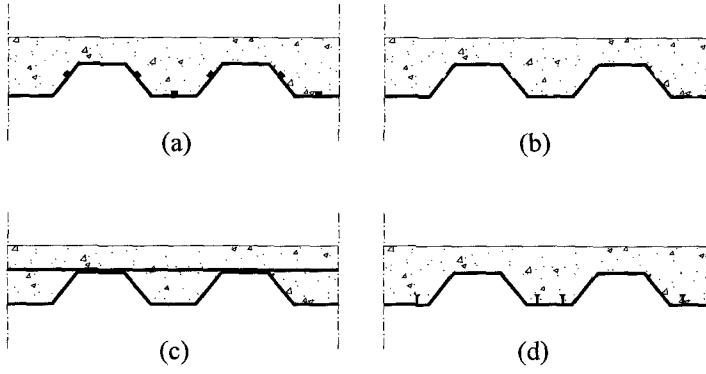
Diyafram, yatay yükleri toplayacak ve bu yatay yükleri yatay yük taşıyıcı sisteme dağıtacak/aktaracak şekilde tasarlanmalıdır. Çelik sac üzerindeki beton kalınlığı artarsa, kesme dayanımı aynı kalınlıktaki betonarme döşemenin kesme dayanımına yaklaşır. Betonarme ile kompozit çelik sacın diyafram dayanımı, betonarme tasarım prensiplerine dayalı olarak hesaplanır. Profilli/katlanmış çelik sacların üzerine beton ve donatı yerleştirilerek oluşturulan bu döşemelerde, yivlerdeki betonun faydalı etkileri ihmal edilir. Kesme kuvvetleri, yük toplayıcı elemanlarda/başlık elemanlarında kaynaklar ve kesme bağlayıcıları vasıtasıyla transfer edilir. Diyafram ile çelik çerçeve arasındaki bağlantılar, kaynakları ve kesme araçlarını/bağlayıcılarını kullanarak kuvvetleri transfer edebilmelidir. Beton dolgunun olduğu yerlerde, özellikle süreksizliklere/boşluklara sahip kompleks şekilli diyaframlarda, iri başlı kesme çivileri gibi mekanik bağlayıcıların kullanılması tavsiye edilir. Bu mekanik bağlayıcılar, döşeme ile yük toplayıcı elemanlar/başlık elemanları arasındaki diyafram kuvvetlerini transfer ederler [7].

Kompozit döşemelerde, döşemeler destek kirişleriyle birlikte kompozit, yani sürekli döşeme şeklinde çalışabilirler. Kompozit etki, döşemenin kirişle birlikte çalışmasını sağlayarak dayanımını artırır ve yapacağı sehim miktarını azaltır [12].

Çelik çerçeveli yapılarda birçok avantajı nedeniyle yaygın olarak kullanılan döşeme sistemi; çelik sac ve üzerine şantiyede dökülen donatılı betondan oluşmaktadır (Şekil 3.30). Söz konusu sac; yükseklik, kalınlık ve aderans için gereken yüzey bakımından uygun olması durumunda çekme donatısı olarak da kullanılabilirdiğinden

Kayma bağlayıcısı olarak kullanılan araçlar:

• **Ketlesim** (sabit) ve **profil** (örneğin) elemanların **adları** ve **birimleri** (dizi)



Şekil 3.32 Kayma bağlayıcıları [12]

Doğru olarak detaylandırılmış kompozit elemanlar ve bağlantılar; sismik yer hareketlerine maruz kaldıklarında emniyetli şekilde görevlerini yaparlar. Taşıyıcı sistemlerde kompozit bağlantıların kullanımı, geleneksel çelik ve betonarme inşaatın zorluklarını azaltmaktadır. Örneğin; yapısal çelikle karşılaştırıldığında kompozit bağlantılar şantiyede kaynak kullanımını azaltır. Betonarmeyle karşılaştırıldığında, ana kiriş takviyesi/güçlendirilmesi ve montajı daha kolaydır. Kompozit yapıların bağlantıları tasarlanırken şu ana kadar yapılmış kompozit yapılardan, mekanik ve denge prensiplerinden, test verilerinden ve çelik ve betonarme inşaat için var olan standartlardan yararlanır. Amaç, sismik tasarım için bağlantılarda iç kuvvetlerin dengesini sağlamaktır [7].

Betonarme ile kompozit yapısal çelik çerçeveler/taşıyıcı sistemler genel olarak beşe ayrılır:

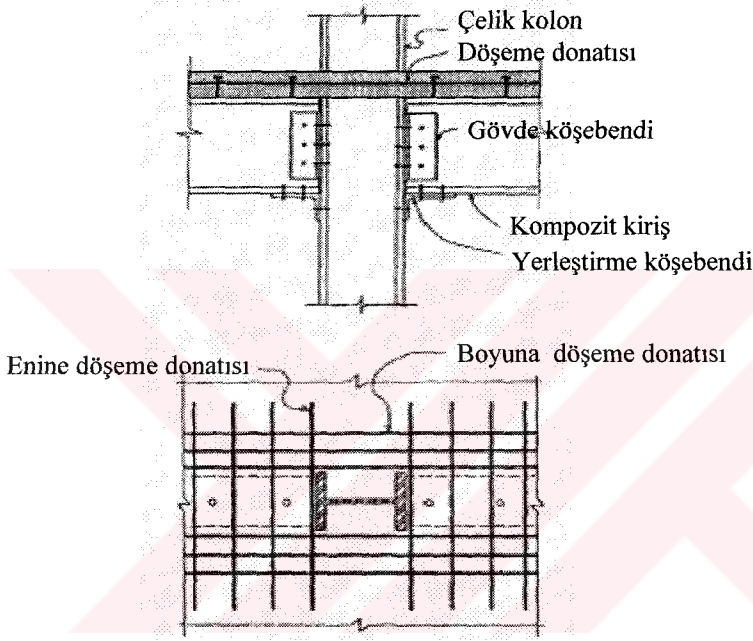
- Kısmi olarak sınırlanmış kompozit moment aktaran çerçeveler
- Kompozit moment aktaran çerçeveler
- Kompozit çaprazlı çerçeveler
- Yapısal çelik elemanlarla kompozit betonarme perde duvarlar
- Kompozit çelik levha perde duvarlar

### 3.5.1. Kısmi Olarak Sınırlanmış Kompozit Moment Aktaran Çerçeveler

Kısmi olarak sınırlanmış kompozit çerçeveler, yapısal çelik kolonların kompozit kirişlerle kısmi olarak sınırlanmış kompozit bağlantılarla/moment bağlantılarıyla birleşmesiyle oluşur. Kısmi olarak sınırlanmış kompozit moment aktaran çerçeveler, deprem yüklemeleri sonucu kısmi olarak sınırlanmış kompozit kolon-kiriş moment

bağlantılarının sünek elemanlarında akma oluşacak şekilde tasarlanmalıdır. Diğer bölgelerde, özellikle kolon-temel bağlantılarında sınırlı akmaya izin verilir.

Kısmi olarak sınırlanmış kompozit çerçevelerde, kolonlara yakın negatif moment bölgelerine döşeme donatıları ve kirişlere iri başlı kesme çivileri eklenerek döşeme tarafından ek dayanım ve rijitlik sağlanır (Şekil 3.33). Bu durum, elastik olmayan faaliyetler etkisi altında yüklerin yeniden dağılımını sağlar ve kirişlerin negatif ve pozitif moment bölgeleri arasında daha uygun dayanım ve rijitlik dağılımına neden olur.



Şekil 3.33 Kısmi olarak sınırlanmış kompozit bağlantı [7]

Şekil 3.33’de gösterilen kısmi olarak sınırlanmış kompozit bağlantı doğru olarak tasarlandığında, kırılma olmadan büyük deformasyonlara maruz kalabilir. Basınç etkisindeki başlıkların yerel burkulması, kiriş gövdesinin zayıflaması/hasara uğraması, kolondaki panel bölgesinin akması ve bulon veya kaynak göçmeleri gibi yerel limit durumlarını engellemek için, bağlantıların akma gerilmeleri bağlanan elemanların akma gerilmelerinden az olmalıdır. Bu limit durumlar engellendiğinde, büyük elastik olmayan tersinir yüklerin etkisi altında mükemmel çerçeve performansı, bağlantıların yüksek süneklik düzeyleri tarafından sağlanır.

Kısmi olarak sınırlanmış kompozit moment aktaran çerçevelerin daha çok düşük ve orta derecede depremselliğe sahip bölgelerde kullanılması önerilir. Uygun

detaylandırma ve analizlerle, kısmi olarak sınırlanmış kompozit moment aktaran çerçeveler daha yüksek depremselliğe sahip bölgelerde kullanılabilir. Kısmi olarak sınırlanmış kompozit moment aktaran çerçevelerde döşeme kalınlığı en az 15 cm olmalıdır [7].

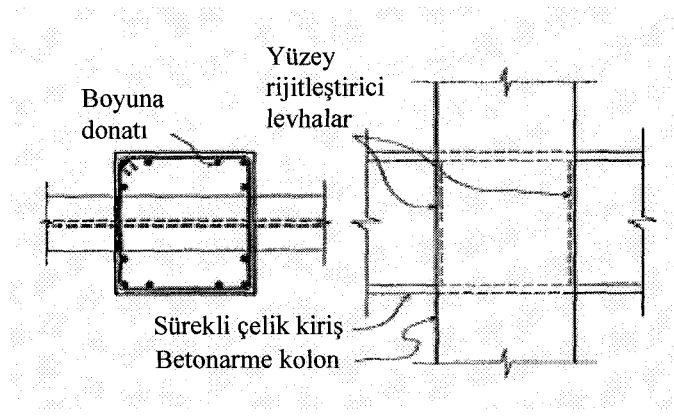
### **3.5.2. Kompozit Moment Aktaran Çerçeveler**

Kompozit moment aktaran çerçeveler, kompozit veya betonarme kolonlardan ve yapısal çelik veya kompozit kirişlerden meydana gelirler. Sismik tasarım için kompozit moment aktaran çerçeveler; çerçeve elemanlarının ve bağlantılarının detaylandırma gerekliliklerine bağlı olarak özel, ara ve sıradan olmak üzere sınıflandırılmıştır [7].

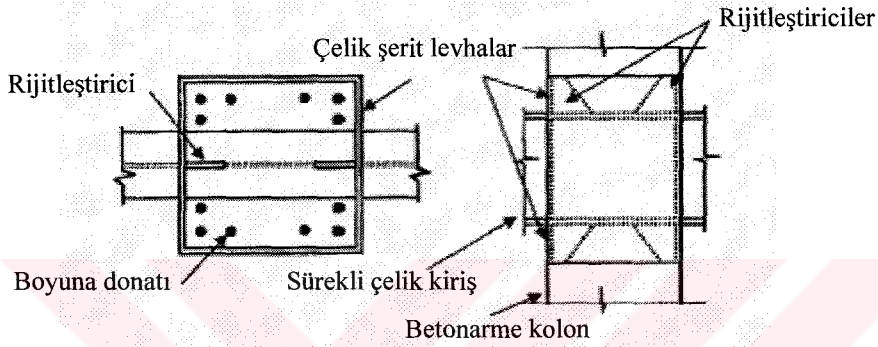
#### **3.5.2.1. Özel Kompozit Moment Aktaran Çerçeveler**

Özel kompozit moment aktaran çerçevelerde, deprem yüklerinin etkisi altında özellikle kirişlerde önemli elastik olmayan deformasyonların oluştuğu, kolonlarda ve bağlantılarda sınırlı seviyelerde elastik olmayan deformasyonların oluştuğu varsayılır. Sistemin yeterli sismik dayanımı sağlanmadığı sürece, özel kompozit moment aktaran çerçevelerde kompozit kafes kirişlerin eğilme elemanları olarak kullanılmasına izin verilmez. Bu sınırlama sadece sismik yük taşıyıcı sistemin bir parçası olan elemanlar için uygulanır, sadece yerçekimi yükleri taşıyan kirişler ve kafes kirişleri için uygulanmaz. Yatay yük taşıyıcı sistemler için kafes kirişleri ve gövde boşluklu kirişler eğilme elemanları olarak etkisizdirler.

Şekil 3.34’de gösterildiği gibi, betonarme kolonlu kompozit moment aktaran çerçevelerde; çelik kiriş, kolonun/kolon-kiriş düğüm noktasının içinden sürekli olarak geçer ve kiriş ekleri kolon-kiriş birleşiminden uzakta yapılır. Şekil 3.34’de gösterilen detay, kolon-kiriş birleşiminde kiriş başlığının şantiyede kaynaklanması sorununu ortadan kaldırır. Bu yüzden, bu birleşimler kırılma davranışına karşı hassas değildir. Birleşimi güçlendirmek için kirişlere yüzey rijitleştirici levhalar (Şekil 3.34) veya çelik şerit levhalar (Şekil 3.35) bağlanabilir. Yüzey rijitleştirici levhalar ve çelik şerit levhalar, betonarmenin bileşke kesme dayanımını etkin hale getirmekte ve betonun sarılmasını/kuşatılmasını sağlamakta oldukça etkilidirler.

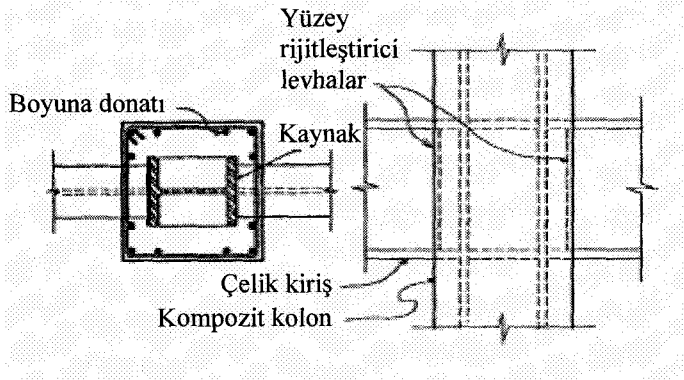


Şekil 3.34 Betonarme kolon-çelik kiriş moment bağlantısı [7]



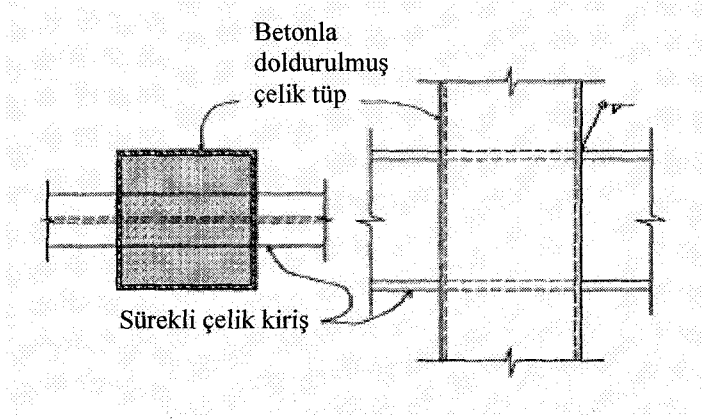
Şekil 3.35 Birleşimi güçlendirmek için çelik şerit levhaların kullanılması [7]

Çelik kirişlerle, beton içine alınmış çelik kolonlar arasındaki bağlantılar (Şekil 3.36), Japonya’da yaygın olarak kullanılmakta ve test edilmektedirler. Bağlantının dayanımı, çelik kolonun çelik kirişe bağlantısının dayanımı hesaplanır gibi hesaplanır. Şekil 3.36’da gösterilen bağlantı detayı, Şekil 3.34’de gösterilen bağlantı detayı ile karşılaştırıldığında, Şekil 3.36’da gösterilen bağlantı detayının tek dezavantajı, kiriş başlığının çelik kolona kaynaklanmasının gerekmesidir.



Şekil 3.36 Kompozit kolon-çelik kiriş moment bağlantısı [7]

Betonla doldurulmuş çelik tüp kolon-çelik kiriş bağlantıları (Şekil 3.37), uygulamalarda daha az kullanılmaktadır. Çelik kirişlerin kompozit kolon içinden sürekli olarak kesilmeden geçtiği bu bağlantıların iç yük transfer mekanizmaları ve davranışları betonarme kolon-çelik kiriş bağlantısına (Şekil 3.34) benzemektedir.



Şekil 3.37 Betonla doldurulmuş çelik tüp kolon-çelik kiriş moment bağlantısı [7]

#### 3.5.2.2. Ara Kompozit Moment Aktaran Çerçeveler

Ara kompozit moment aktaran çerçevelerde, deprem yüklerinin etkisi altında özellikle kirişlerde elastik olmayan deformasyonların oluştuğu, kolonlarda ve bağlantılarda orta seviyede elastik olmayan deformasyonların oluştuğu varsayılır. Ara kompozit moment aktaran çerçeveler için temel yapım kuralları ve bağlantılar, özel kompozit moment aktaran çerçevelerin yapım kurallarına ve bağlantılarına benzemektedir, fakat sismik detaylandırma gereklilikleri özel kompozit moment aktaran çerçevelerden daha azdır.

#### 3.5.2.3. Sıradan Kompozit Moment Aktaran Çerçeveler

Sıradan kompozit moment aktaran çerçevelerde, deprem yüklerinin etkisi altında kirişlerde, kolonlarda ve bağlantılarda sınırlı seviyelerde elastik olmayan deformasyonların oluştuğu varsayılır.

#### 3.5.3. Kompozit Çaprazlı Çerçeveler

Merkezi veya dışmerkezi olarak düzenlenebilen kompozit çaprazlı çerçeveler; kompozit veya betonarme kolonlardan, yapısal çelik veya kompozit kirişlerden ve yapısal çelik veya kompozit çaprazlardan meydana gelirler. Sıradan kompozit çaprazlı çerçevelerde, deprem yüklerinin etkisi altında kirişlerde, kolonlarda,

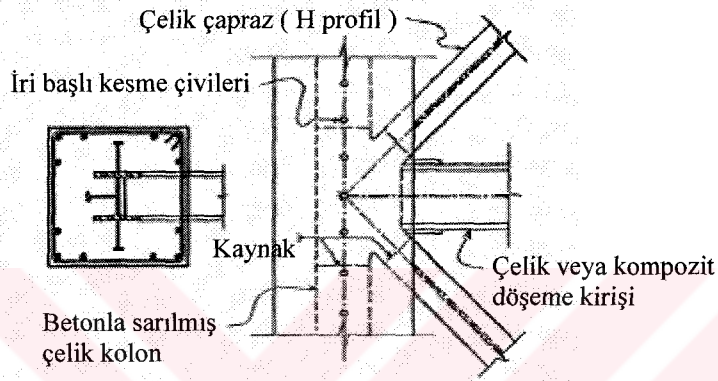
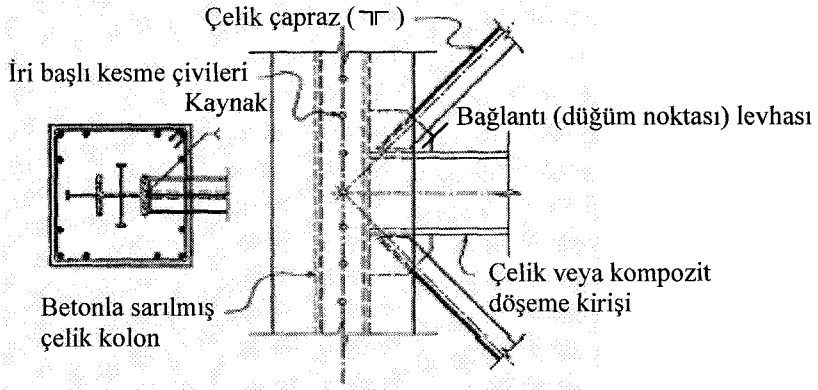
çaprazlarda ve bağlantılarda sınırlı seviyelerde elastik olmayan deformasyonların olduğu varsayılır. Kompozit çaprazlı çerçeveler, düşük ve orta depremselliğe sahip bölgelerde az katlı ve çok katlı binalarda kullanılırlar.

### **3.5.3.1. Kompozit Merkezi Çaprazlı Çerçeveler**

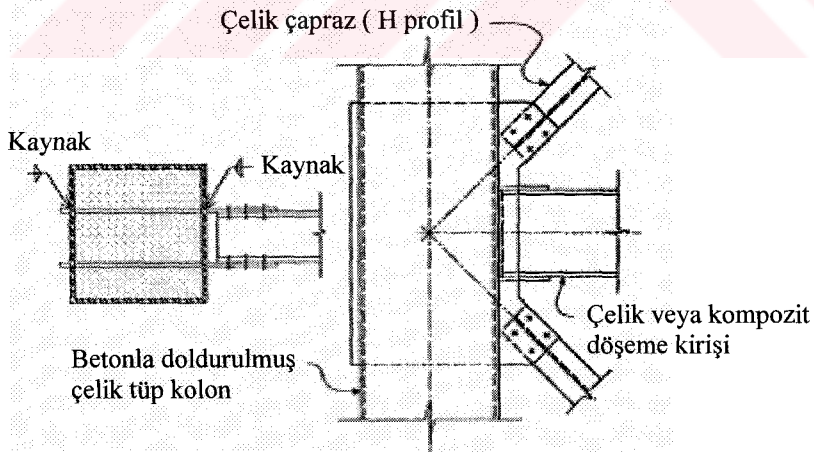
Kompozit merkezi çaprazlı çerçevelerde küçük dışmerkezliliklere tasarımda sebebi açıklandığı sürece izin verilir. Kompozit merkezi çaprazlı çerçeveler, deprem yüklerinin etkisi altında elastik olmayan deformasyonlar özellikle çaprazların çekme/gerilme akması ve/veya burkulması vasıtasıyla olacak şekilde tasarlanmalıdır. Kompozit merkezi çaprazlı çerçeve için tasarım kuralları özel merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin tasarım kuralları ile aynıdır. Bu çerçevelerde de çaprazlar elastik olmayan deformasyonlara maruz kalırlar.

Betonla doldurulmuş veya beton içine alınmış çelik çaprazların kullanıldığı durumlarda, betonun çelik kesiti sağlamlaştırma/rijitleştirme ve çapraz burkulmasını engelleme kapasitesi vardır. Aynı zamanda beton, enerji sönümleme kapasitesini de artırmaktadır. Çelik tüplerin betonla doldurulması, etkili olarak tüp duvarları rijitleştirir ve yerel burkulmayı önler. Beton içine alınmış çelik çaprazlarda, çeliğin burkulmasını önlemek için beton yeterli şekilde donatılarla güçlendirilmeli ve donatılar etriyelerle sarılmalıdır. Test verileri daha yüksek dayanımları göstermediği sürece, çekme etkisi altındaki kompozit çaprazlar sadece çelik kısım göz önüne alınarak tasarlanmalıdır.

Şekil 3.38’de ve Şekil 3.39’da kompozit merkezi çaprazlı çerçevelerin bağlantı örnekleri gösterilmektedir. Çekme ve basınç etkileri altında çaprazların dayanımlarını geliştirmeden önce göçmenin önlenmesi dikkatli tasarım ve detaylandırma ile mümkündür. Çaprazların kompozit olduğu durumlarda, betonun çapraz dayanımına katkısı göz önüne alınmalıdır. Bu durumlarda, bağlantı dayanımının sadece çelik kesit dayanımı göz önüne alınarak belirlenmesi doğru değildir. Bağlantı tasarımı ve detaylandırılmasında, çapraz burkulmasının çapraz uçlarında aşırı dönmelere sebep olduğu ve bu dönmelerin yerel bağlantı göçmelerine yol açtığı bilinmelidir [7].



Şekil 3.38 Betonarme veya kompozit kolon-çelik merkezi çapraz bağlantıları [7]



Şekil 3.39 Betonla doldurulmuş çelik tüp kolon-çelik merkezi çapraz bağlantısı [7]

### 3.5.3.2. Kompozit Dışmerkezi Çaprazlı Çerçeveler

Kompozit dışmerkezi çaprazlı çerçeveler, her çaprazın bir ucunun kiriş ve kolonun merkez çizgilerinin kesişim noktasından belli bir dışmerkezlikte kirişle kesişmesiyle veya çaprazın ucunun; kirişin ve diğer çaprazın merkez çizgilerinin kesişim

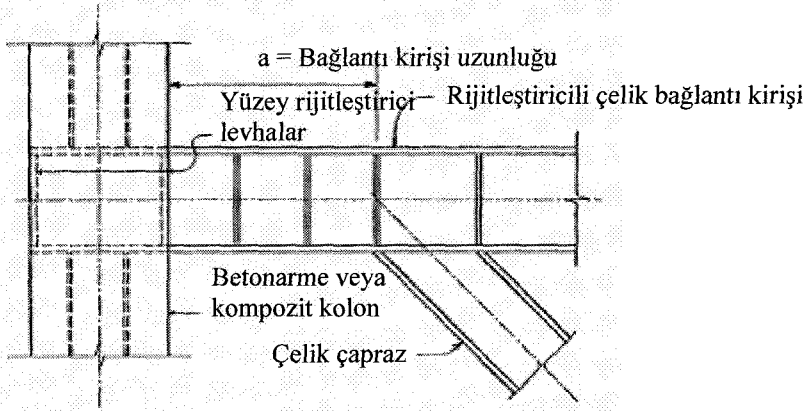
noktasından belli bir dışmerkezlikte kirişle kesişmesiyle meydana gelirler. Kompozit dışmerkezi çaprazlı çerçeveler, elastik olmayan deformasyonlar sadece bağlantı kirişlerinin kesme kuvvetlerinden dolayı akmasıyla oluşacak şekilde tasarlanmalıdır. Bağlantı kirişinin tamamen akması ve gerilme kuvvetleriyle zorlanması sonucu ortaya çıkabilecek maksimum kuvvetlerin etkisi altında çaprazlar, kolonlar ve bağlantı kirişinin dışında kalan kiriş parçaları elastik kalacak şekilde tasarlanmalıdır. Kompozit dışmerkezi çaprazlı çerçevelerde; kolonlar kompozit veya betonarme, çaprazlar ve bağlantı kirişleri yapısal çelik olmalıdır.

Yapısal çelik dışmerkezi çaprazlı çerçeveler, sismik bölgelerde mükemmel dayanım ve enerji sönümleme özelliği gösterirler. Buna karşılık, kompozit dışmerkezi çaprazlı çerçevelerin kullanımı azdır. Kompozit dışmerkezi çaprazlı çerçeveler için gereklilikler, çelik dışmerkezi çaprazlı çerçeveler için aynıdır fakat kompozit bağlantılar ve kompozit veya betonarme kolonların tasarımı için gerekli ek kurallar da göz önüne alınmalıdır. Buna ilave olarak, bağlantı kirişlerinin kolonlara yakın olduğu yerlerde betonarme özel moment aktaran çerçevelerin mafsal bölgelerinde olduğu gibi etriye sıklaştırması yapılmalıdır. Bağlantı kirişlerine yakın kolonlara etkiyen büyük momentler ve tersinir yüklemeler bu gereklilikleri gündeme getirmektedir.

Bağlantı kirişlerinin elastik olmayan deformasyonları tarafından oluşturulan yüklerin etkisi altında çaprazlar ve kolonlar elastik kalacak şekilde dayanıklı olurlarsa, kompozit dışmerkezi çaprazlı çerçevelerin başarılı davranışından bahsedilebilir. Bu durumda, bağlantı kirişinin sözde kesme dayanımının doğru hesaplanması gerekir ve bağlantı kirişinin kesme bölgesinin betonun içinde kalmaması önemlidir. Bağlantı kirişi dışında kalan kiriş parçalarının beton içinde kalmasına izin verilmiştir. Bağlantı kirişi dışındaki aşırı dayanım, sistemin etkinliğini azaltmamaktadır.

Bağlantı kirişinin sözde kesme dayanımı üzerinde döşemenin çok az etkisi vardır. Kesme bağlantı kirişlerinin kat döşemeleri veya çatı döşemeleriyle kompozit olmasına izin verilmiştir. Bağlantı kirişlerinin uçlarındaki eğilme akması tarafından etkilenen uzun bağlantı kirişlerinin sözde dayanımları söz konusu olduğunda döşemenin kompozit faaliyetinin ek dayanım sağladığı göz önüne alınmalıdır. Bağlantı kirişinin kolona yakın olmadığı kompozit dışmerkezi çaprazlı çerçevelerde, merkezi çapraz-kolon bağlantıları Şekil 3.38'deki ve Şekil 3.39'daki kompozit merkezi çaprazlı çerçevelerin bağlantılarına benzer. Bağlantı kirişinin kolona yakın

olduğu durum Şekil 3.40’da gösterilmiştir. Bu durumda, bağlantı kirişi-kolon bağlantısı özel kompozit moment aktaran çerçevelerdeki kompozit kiriş-kolon moment bağlantılarına ve çelik bağ kirişi-duvar bağlantılarına benzemektedir [7].



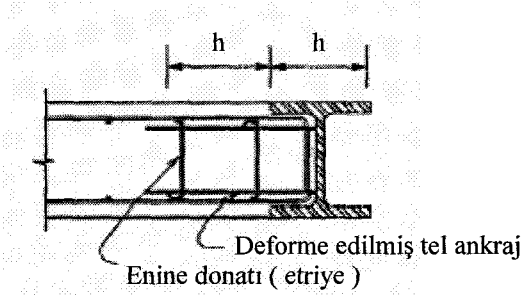
Şekil 3.40 Betonarme veya kompozit kolon-çelik dışmerkezi çapraz bağlantısı [7]

#### 3.5.4. Yapısal Çelik Elemanlarla Kompozit Betonarme Perde Duvarlar

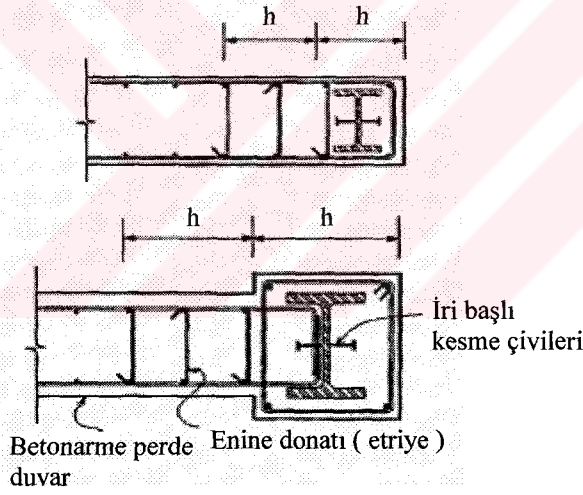
Beton içine alınmış/betonla sarılmış yapısal çelik kesitler uç/başlık elemanları gibi davranarak, beton ile sarılmamış yapısal çelik çerçeveler içine yerleştirilen betonarme duvarlar dolgu panelleri gibi faaliyet göstererek veya iki bitişik betonarme duvar yapısal çelik bağ kirişleri tarafından bağlanarak yapısal çelik elemanlarla kompozit betonarme perde duvarları oluştururlar.

Betonarme duvarların kullanıldığı üç yapısal sistem türünden birincisi, çelik veya kompozit çerçevelerde betonarme duvarların dolgu olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bu tür için kullanılan tipik duvar-kolon birleşimleri, Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de gösterilmiştir. Şekil 3.42’de gösterilen detay, betonla sarılmış çelik kesitlerin betonarme perde duvarlarda düşey donatı olarak kullanıldığı ikinci sistem türü için de kullanılabilir. Üçüncü sistem türünde, çelik veya kompozit bağ kirişleri, iki veya daha fazla betonarme duvarı birbirine bağlamakta kullanılır. Şekil 3.43 ve Şekil 3.44’de bağ kirişi-duvar bağlantıları gösterilmiştir. Uç/başlık elemanlarındaki yapısal çelik kesitler, yüksek duvarlardaki eğilme mafsallaşmasını erteler ve kolonların düzlem-içi eğilme dayanımını artırır. Uç/başlık elemanları için gerekli aksenal dayanım, kesme kuvvetlerinin betonarme perde duvar tarafından karşılanacağı ve bütün yerçekimi ve devrilme kuvvetlerinin perde duvarlarla birlikte uç/başlık elemanları tarafından karşılanacağı varsayılarak belirlenir. Betonla sarılmış çelik uç/başlık elemanlı duvarlarda, uç/başlık elemanı ile betonarme duvarın düşey

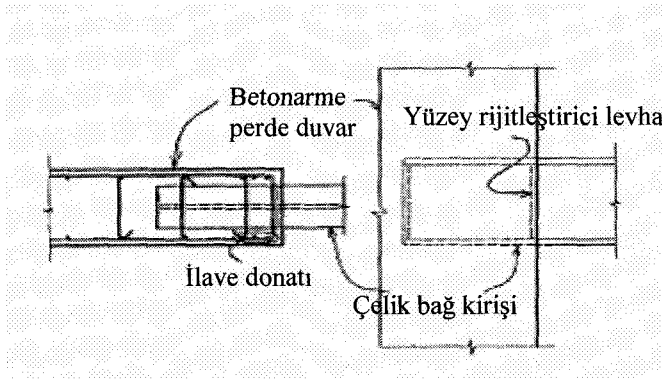
düzlemler boyunca birbirinden ayrılması olasılığının olması büyük bir sorun teşkil etmektedir. Uç/başlık elemanı ile betonarme duvarın birbirinden ayrılmasını engellemek için Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de görüldüğü gibi  $2h$  uzunluğu boyunca enine donatılar kullanılmalıdır, yani kompozit uç/başlık elemanının enine donatıları duvarın içinde,  $h$  = duvar düzlemindeki uç elemanının derinliği olmak üzere,  $2h$  uzunluğu kadar devam etmelidir [7].



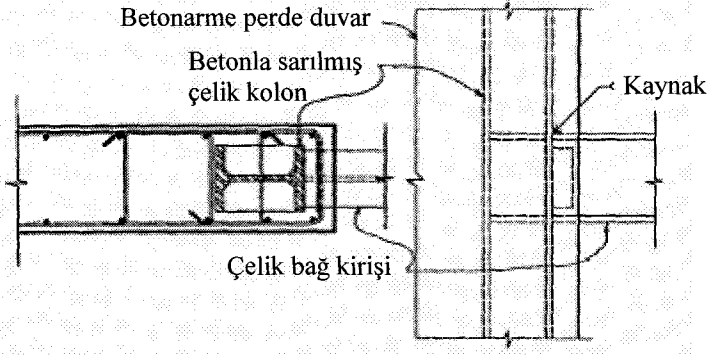
Şekil 3.41 Kısmi olarak betonla sarılmış çelik uç/başlık elemanı [7]



Şekil 3.42 Tamamen betonla sarılmış çelik uç/başlık elemanı [7]



Şekil 3.43 Betonarme duvar-çelik bağ kirişi bağlantı detayı [7]



Şekil 3.44 Kompozit uç/başlık elemanlı betonarme duvar-çelik bağ kirişi bağlantı detayı [7]

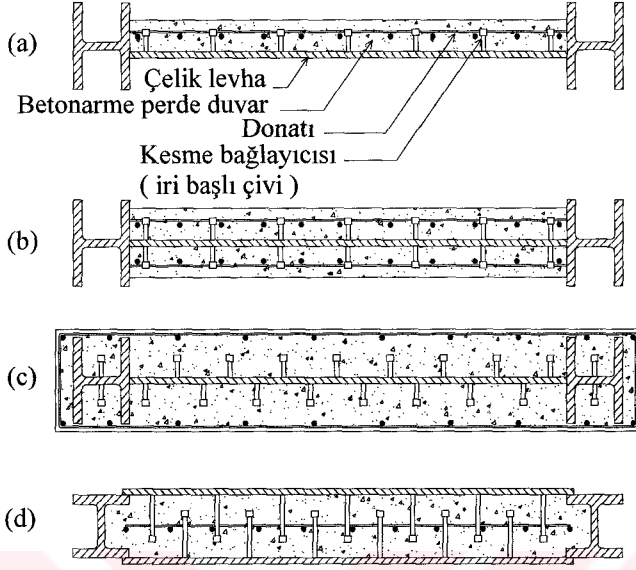
Betonarme duvarların beton içine alınmamış çelik kolonlara bağlandığı durumlarda (Şekil 3.41), duvar donatısını çelik kolona bağlamak ve duvar ile kolon arasındaki düşey kesme kuvvetlerini transfer edebilmek için mekanik bağlayıcıların/iri başlı kesme çivilerinin veya kaynaklanmış donatı ankrajlarının kullanılması gerekmektedir. Buna ilave olarak, eğer duvar elemanları döşeme seviyelerinde çelik kirişler tarafından kesiliyorsa, duvar-kiriş arakesitlerinde kesme bağlayıcılarının kullanılması gerekmektedir. Beton dolgu duvarlarda kesme bağlayıcıları kullanılmazsa, kat kesme yükleri duvar panelindeki diyagonal basınç gerilmeleri vasıtasıyla taşınırlar. İri başlı kesme çivilerinin kullanılması, dolgu panelleri ile uç /başlık elemanları arasındaki yüklerin daha üniform transfer edilmesini sağlayarak sistemin performansını artırır.

Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'deki detaylarda kullanılan bağ kirişleri doğru olarak detaylandırıldıklarında, tersinir tekrarlı yüklerin etkisi altında stabil bir davranış gösterirler ve çelik bağ kirişinin betonarme perde duvara birleştiği noktada akacak şekilde tasarlanabilirler. Büyük sismik yüklerin etkisi altında, bağ kirişlerinin eğilme veya kesme akması vasıtasıyla büyük elastik olmayan deformasyonlara maruz kalması muhtemeldir. Betonarme duvar yüzeyindeki bağ kirişlerinin her iki tarafında da yüzey rijitleştirici levhalar kullanılmalıdır [7].

### 3.5.5. Kompozit Çelik Levha Perde Duvarlar

Kompozit çelik levha perde duvarlar, iri başlı kesme çivileri veya bulon gibi mekanik bağlayıcılar kullanılarak betonarme perde duvarların çelik levha perde duvarın bir veya iki yanına bağlanmasıyla meydana gelirler. Bunun yanında, iki çelik levha arasına beton doldurularak veya betonarme perde duvar yerleştirilerek de kompozit

çelik levha perde duvarlar elde edilebilir (Şekil 3.45). Geçmiş senelerde, kompozit perde duvarlar diğer yatay yük taşıyıcı sistemler kadar olmasa da binalarda yatay yük taşıyıcı sistem olarak kullanılmıştır [13].



Şekil 3.45 Kompozit çelik levha perde duvar düzenlemeleri [13]

Yatay yüklere karşı koymak için kompozit çelik levha perde duvarlar kullanılmasının birçok avantajı vardır. Aynı kesme kapasitesine sahip betonarme perde duvar ve kompozit çelik levha perde duvar ele alındığında, kompozit çelik levha perde duvar; betonarme perde duvardan daha fazla kesme rijitliğine ve daha az kalınlığa ve ağırlığa sahiptir. Kompozit çelik levha perde duvarlar daha az yer kapladıklarından, mimari açıdan bakıldığında özellikle yüksek binalarda daha fazla kullanılabilir döşeme alanı sağlarlar. Kompozit çelik levha perde duvarlar, betonarme perde duvarlardan daha hafif olduklarından daha küçük temellere sahip olurlar ve daha küçük sismik kuvvetlere maruz kalırlar.

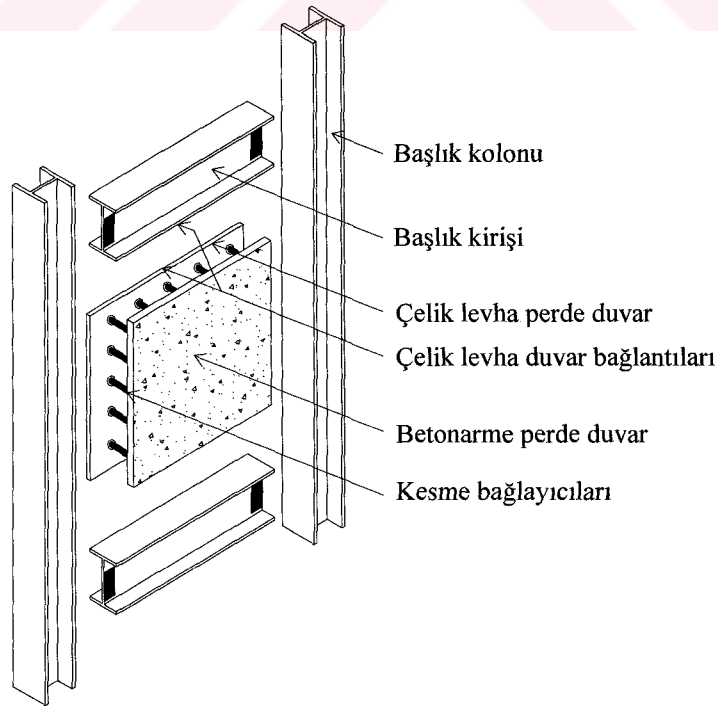
Kompozit çelik levha perde duvarlar şantiyede yapılabilirdikleri gibi fabrikada ön-yapım olarak da üretilirler. Çelik levha perde duvarlar inşaat süresince rijitlik ve stabilite sağlarlar. Bu sayede, betonarme perde duvarlar çelik yapının inşasından bağımsız olarak yapılabilirler. Prekast beton duvarlar kullanılırsa, bu duvarlar inşaat süresince herhangi bir uygun zamanda çelik levha perde duvarlara bağlanabilirler. Kompozit çelik levha perde duvarlarda kat kesme kuvveti, betonun diyagonal basınç alanının (Şekil 3.48) burkulması sonrası çelik levhanın gerilme alanı faaliyeti (Şekil 3.47b) tarafından karşılanır. Kompozit çelik levha perde duvarda beton, çelik

levhayı sınırlar ve çelik levhanın akmadan buruşmasına engel olur. Sonuç olarak; çelik levha, kat kesme kuvvetlerine kesme akmasıyla karşı koyar. Çelik levhanın kesme kuvvetlerinden dolayı akma kapasitesi, diyagonal gerilme alanının akmasıyla kesme kuvvetlerine karşı koyma kapasitesinden büyüktür. İlave olarak, betonarme perde duvar ses ve ısı yalıtımı sağlamasının yanında çelik perde duvarların yangına dayanıklılığını da artırır.

Orta şiddetli bir deprem sonrasında, çelik levha perde duvarlarda buruşmalar, betonarme perde duvarlarda çatlamlar gözlenebilir ve birtakım onarımlara ihtiyaç duyulabilir. Bu tür onarımlar maliyetli olmalarının yanında, deprem sonrası kullanımı da engellediğinden çok zor olmaktadır. Deprem yönetmeliklerinde önerilen yenilikçi sistemler kullanılırsa, hasar çelik levhaların kesme kuvvetlerinden dolayı akmasıyla sınırlı tutulabilir ve sistemin diğer elemanlarında ve betonarme duvarda herhangi bir çatlak gözlenmez. Bu durum çok istenen bir durumdur, çünkü bina deprem sonrasında bütün fonksiyonelliğini devam ettirebilmektedir [13].

#### 3.5.5.1. Kompozit Çelik Levha Perde Duvarların Temel Bileşenleri

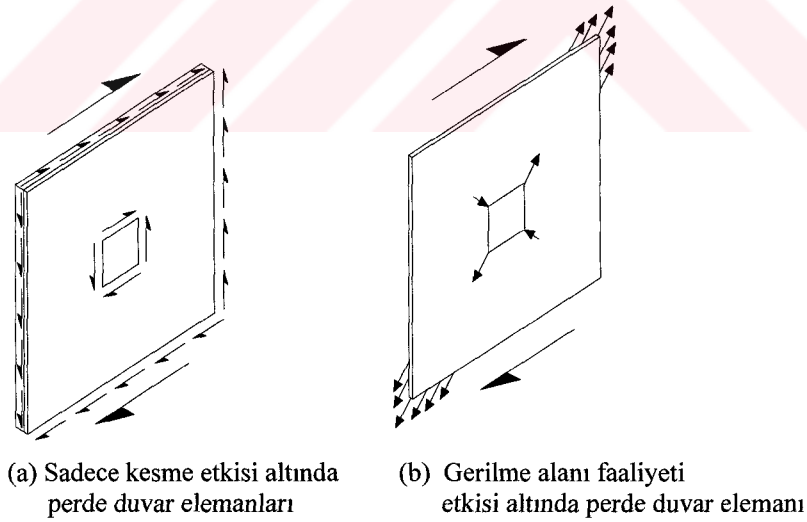
Kompozit çelik levha perde duvarların temel bileşenleri; çelik levha perde duvar, betonarme perde duvar, kesme bağlayıcıları, başlık kolonları, başlık kirişleri, çelik duvarın başlık kolonlarına ve kirişlerine bağlantıları ve kolon-kiriş bağlantılarıdır (Şekil 3.46).



Şekil 3.46 Tipik kompozit çelik levha perde duvarın temel bileşenleri [13]

### a) Çelik Levha Perde Duvar

Bu eleman her zaman göreceli olarak ince çelik levhadır. 9.5 mm'den daha ince levhalar, üretim ve inşaat süresince kolaylıkla kullanılamadıklarından dolayı tavsiye edilmezler. Bu tür ince levhalarda; levha akmadan önce levhanın buruşmasını önlemek/ertelemek için daha fazla sayıda kesme bağlayıcısına ihtiyaç duyulabilir. Kompozit çelik levha perde duvarda, çelik levhanın temel görevi kesme dayanımı, rijitlik ve kesme sünekliği sağlamaktır. Ayrıca çelik levha sınırlı olarak devrilme momentine de karşı koyar. Şekil 3.47a, kompozit çelik levha perde duvardaki çelik levha tarafından karşılanan kuvvetleri göstermektedir. Kompozit çelik levha perde duvarlarda, çelik levha kat kesme kuvvetlerine kesme akmasıyla karşı koyar. Çelik levha perde duvarların bir avantajı, Şekil 3.47b'de gösterildiği gibi kat kesme kuvvetlerine diyagonal gerilme alanı faaliyeti aracılığıyla karşı koymalarıdır. Kompozit çelik levha perde duvarlarda, betonarme duvar çelik levhaya destek olarak çelik levhanın akma noktasına ulaşmadan buruşmasını engeller. Yani, betonarme duvar rijitleştirici gibi görev yaparak çelik levhanın buruşmasını önler. Betonarme duvar, diyagonal basınç alanı oluşturarak kat kesme kuvvetlerinin bir kısmını karşılar.

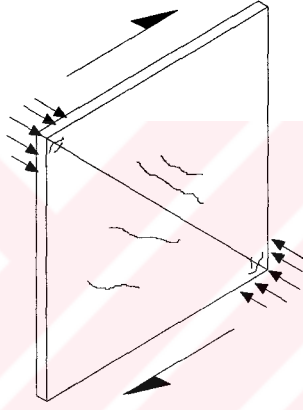


Şekil 3.47 Çelik levhanın kesme kuvvetlerine karşı koyması/kesme dayanımı  
(a) Kompozit perde duvarda (b) Çelik perde duvarda [13]

### b) Betonarme Perde Duvar

Betonarme perde duvarlar; çelik levha perde duvarın bir yanına (Şekil 3.45a) veya her iki yanına (Şekil 3.45b, Şekil 3.45c) bağlanabilir/yerleştirilebilir veya betonarme

perde duvar, iki çelik levha perde duvar arasına (Şekil 3.45d) yerleştirilebilir (sandviç perde duvar). Her durumda betonarme perde duvar, Şekil 3.48’de gösterilen diyagonal basınç alanının vasıtasıyla kesme dayanımı ve rijitlik sağlar. Ayrıca betonarme perde duvar devrilme momentine karşı koyulmasına da yardımcı olur. Betonarme perde duvar şantiyede yapılabilir veya prekast olabilir. Betonarme perde duvarın en önemli görevlerinden biri, çelik levha duvarın buruşmasını engellemektir. Çelik levha duvarın buruşmasını engellemek için, çelik levha duvar betonarme perde duvara kesme bağlayıcılarıyla bağlanmalıdır. Betonarme perde duvar çelik levhanın her iki yanına da yerleştirilmişse betonarme duvar minimum 10 cm kalınlığında ve sadece tek tarafına yerleştirilmişse minimum 20 cm kalınlığında olmalıdır [13].



Şekil 3.48 Betonun diyagonal basınç alanıyla kesme kuvvetlerine karşı koyması [13]

### c) Kesme Bağlayıcıları

Kesme bağlayıcıları, kompozit duvarın çelik elemanlarının betona bağlanmasında kullanılırlar. Yerinde dökme betonlar için her zaman kaynaklı iri başlı kesme çivileri kullanılır. C-profil parçaları gibi kesme bağlayıcıları da kaynaklı iri başlı kesme çivileri kadar ekonomik olmasalar da kullanılabilirler. Ön-yapım betonarme duvarlarda, betonarme duvarların çelik levha duvarlara bağlanmasında bulonlar kullanılabilir. Testler; kompozit perde duvarlarda kesme çivilerinin sadece kesme kuvvetlerine maruz kalmadıklarını, çelik levhanın yerel olarak buruşmasından dolayı önemli miktarlarda çekme kuvvetlerine de maruz kaldıklarını göstermektedir.

#### **d) Başlık Kolonları**

Kompozit çelik levha perde duvarın her iki ucunda da bulunan kolonlar/başlık kolonları yerçekimi yüklerine ek olarak büyük miktarlarda devrilme momentine de karşı koyarlar. Ayrıca kolonlar, çelik levhanın gerilme alanı faaliyeti için ankraj noktası olarak ve beton duvarın diyagonal basınç alanı için taşıyıcı eleman olarak görev yaparlar. Göreceli olarak daha büyük boyutlu kolonların kullanıldığı binalarda, kolonlar önemli miktarlarda kat kesme kuvvetlerini de transfer edebilirler.

#### **e) Başlık Kirişleri**

Kompozit çelik levha perde duvarlardaki alt ve üst kirişler/başlık kirişleri, çelik levhanın gerilme alanı faaliyeti için ankraj olarak, beton duvarın diyagonal basınç alanı için taşıyıcı eleman olarak görev yaparlar. Buna ilave olarak kiriş, döşemeden gelen kendine bağlı yerçekimi yüküne karşı koyar. Devrilme momentinden dolayı kirişler, uçlarında göreceli olarak büyük kesme kuvveti akışına maruz kalırlar.

#### **f) Çelik Levha Perde Duvarın Başlık Elemanlarına Bağlantıları**

Çelik levha perde duvar; başlık kolonlarına ve kirişlerine bulonlar veya kaynaklar aracılığıyla bağlanmalıdır. Bu bağlantıların temel görevi, kesme ve çekme kuvvetlerini transfer etmektir. Betonarme perde duvarlar da başlık elemanlarına mekanik bağlayıcılar kullanılarak bağlanabilir. Bu bağlantılar, duvarın içindeki donatılar tarafından karşılanan kesme kuvvetlerini transfer ederler.

#### **g) Kolon-Kiriş Bağlantıları**

Bu bağlantılar, duvarların performansında çok büyük rol oynarlar. Çelik çerçevenin kompozit çelik levha perde duvarlar için destek sistem olduğu ikili sistemlerde bağlantılar, moment aktaracak şekilde olmalıdır.

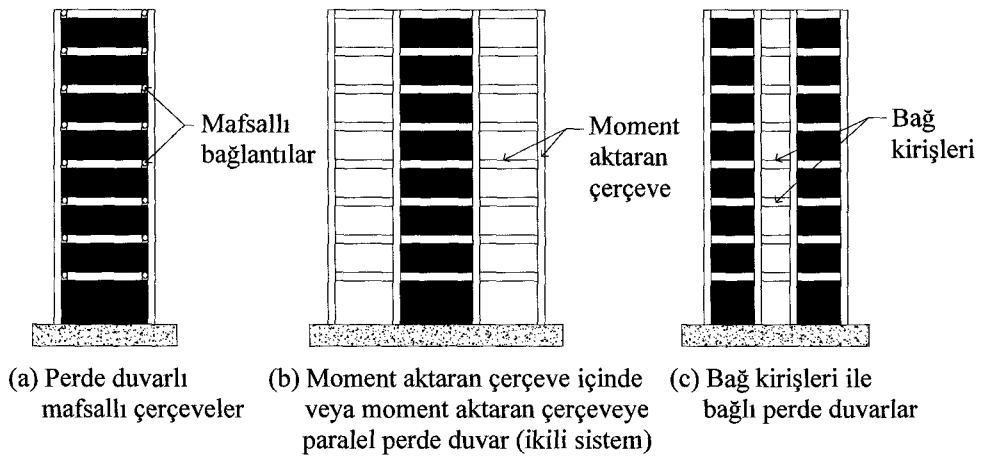
### **3.5.5.2. Kompozit Çelik Levha Perde Duvarların Kullanıldığı Yapısal Sistemler**

Şekil 3.49'da, kompozit çelik levha perde duvarlı tipik yapısal çelik sistemler gösterilmektedir. Betonarme ve çelik perdelerde olduğu gibi, kompozit çelik levha perde duvarlar yatay yüklere karşı koymak için kullanılmaktadır. Şekil 3.49a, mafsallı bağlantılı çelik çerçevelerde kompozit çelik levha perde duvarların kullanıldığı sistemi göstermektedir. Bu sistemde, kompozit çelik levha perde bütün kat kesme kuvvetini karşılayacak şekilde tasarlanır. Kompozit duvar; betonun basınçta ezilmesi, betonarme perde duvarın içindeki donatıların ve çelik perde

duvarın akması vasıtasıyla büyük miktarlarda kesme kuvvetinin karşılanmasını ve sünekliğin artmasını sağlar. Ayrıca kompozit duvar, devrilme momentini karşılayan düşey konsol kirişinin gövdesi gibi davranır. Bu konsol kirişin başlıkları ise başlık kolonlarıdır.

Şekil 3.49b’de gösterilen sistem, perde duvarın moment aktaran çerçevenin ya içinde olduğu ya da moment aktaran çerçeveye paralel olduğu “İkili” sistemlerdir. Gerçekte, perde duvarın ve moment aktaran çerçevenin yatay yüklere birlikte karşı koydukları bilinmesine rağmen, uygulamada perde duvar bütün yatay yüklere karşı koyacak şekilde tasarlanırken moment aktaran çerçeve yatay yüklerin 1/4’üne karşı koyacak şekilde destek sistem olarak tasarlanır. Bu sistemdeki moment aktaran çerçeve, özel/sünek moment aktaran çerçeve değildir. Perde duvarların varlığından dolayı bu sistemdeki moment bağlantılarının dönme kapasitesi perde duvar ciddi şekilde hasar görene kadar azdır. Perde duvar ağır şekilde hasar gördükten sonra, çelik levhanın moment bağlantılarının altında ve üstünde bulunan düğüm noktası bağlantı levhasına benzer köşe parçalarının varlığı nedeniyle bağlantılar büyük dönmelere maruz kalmazlar.

Şekil 3.49c’deki sistem de, iki kompozit perde duvarın göreceli olarak kısa bir bağ kirişiyle bağlandığı “İkili” sistemdir. Bağ kirişlerinin eğilme ve kesme dayanımlarını ayarlamakla tasarımcı sistemi, bağ kirişi süneklik sigortası olacak şekilde ve bağ kirişi sadece dayanım ve rijitlik sağlayacak şekilde değil, ayrıca önemli miktarlarda süneklik ve enerji sönmüleme kapasitesi sağlayacak şekilde tasarlamalıdır [13].

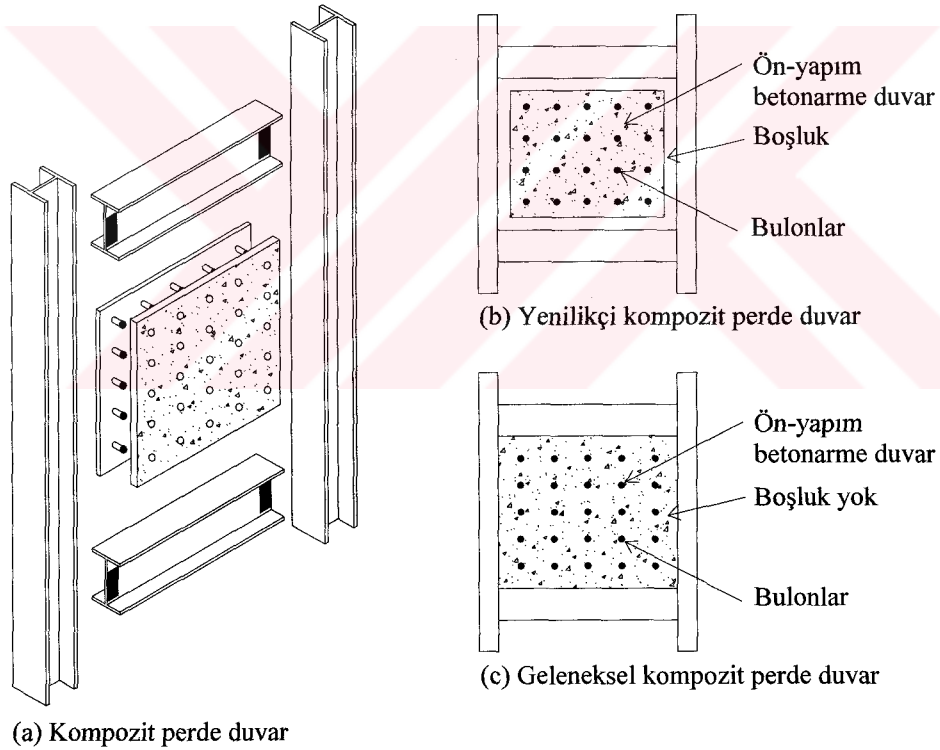


Şekil 3.49 Kompozit çelik levha perde duvarlı tipik yapısal çelik sistemler [13]

### 3.5.5.3. Geleneksel ve Yenilikçi Kompozit Çelik Levha Perde Duvarlar

Şekil 3.50’de geleneksel ve yenilikçi kompozit çelik levha perde duvarlar gösterilmektedir. Hem geleneksel hem de yenilikçi kompozit perde duvarlar, moment aktaran çerçevelerin içine kompozit perde duvarlar yerleştirilen “İkili” sistemlerdir (Şekil 3.50a).

Geleneksel sistem ile yenilikçi sistem arasındaki tek farklılık, yenilikçi sistemde betonarme duvar ile başlık kolonları ve kirişleri arasında boşluk bulunmasıdır (Şekil 3.50b). Geleneksel perde duvarda betonarme duvar ile başlık kolonları ve kirişleri arasında boşluk bulunmaz, betonarme duvar başlık kolonlarına ve kirişlerine direkt bağlanır (Şekil 3.50c). Yenilikçi sistemin kullanılması, yatay yüklerin etkisi altında sünekliğin artmasına ve hasarın azalmasına neden olur.



Şekil 3.50 Geleneksel ve yenilikçi kompozit perde duvarlar [13]

Önerilen yenilikçi kompozit duvar sistemi davranışın iki evresini göstermek için geliştirilmiştir:

- **Daha Sık Düşük ve Orta Şiddetli Depremler Esnasındaki Davranış**

Daha sık düşük ve orta şiddetli depremler esnasında, kompozit perde duvarla başlık kolonları ve kirişleri arasındaki boşluk sebebiyle, kompozit perde duvar çerçeve ile temas edemez. Bu sistemde çelik perde duvar; kat ötelenmelerini kontrol etmek için kesme kuvvetlerine karşı koyan ve çok büyük miktarlarda kesme rijitliği sağlayan temel elemandır. Bu tür düşük ve orta şiddetli depremler için, sadece çelik levhanın dayanımı ve rijitliği, kesme kuvvetlerine karşı koymak ve kat ötelenmelerini kabul edilebilir seviyelerde tutmak ve sınırlamak için gereğinden fazladır. Bu durumda; betonarme duvar, başlık elemanlarıyla temas etmediği için kesme kuvvetlerini karşılamaya yardım etmez. Bundan dolayı betonarme duvarın hasar görmemesi veya az hasar görmesi beklenir. Yenilikçi perde duvarın, “çelik perde duvar” evresinin davranışı süresince, betonarme duvarın temel görevi çelik levhaya destek olmaktır ve çelik levhanın akmadan önce buruşmasını engellemektir.

- **Çok Şiddetli Depremler Esnasındaki Davranış**

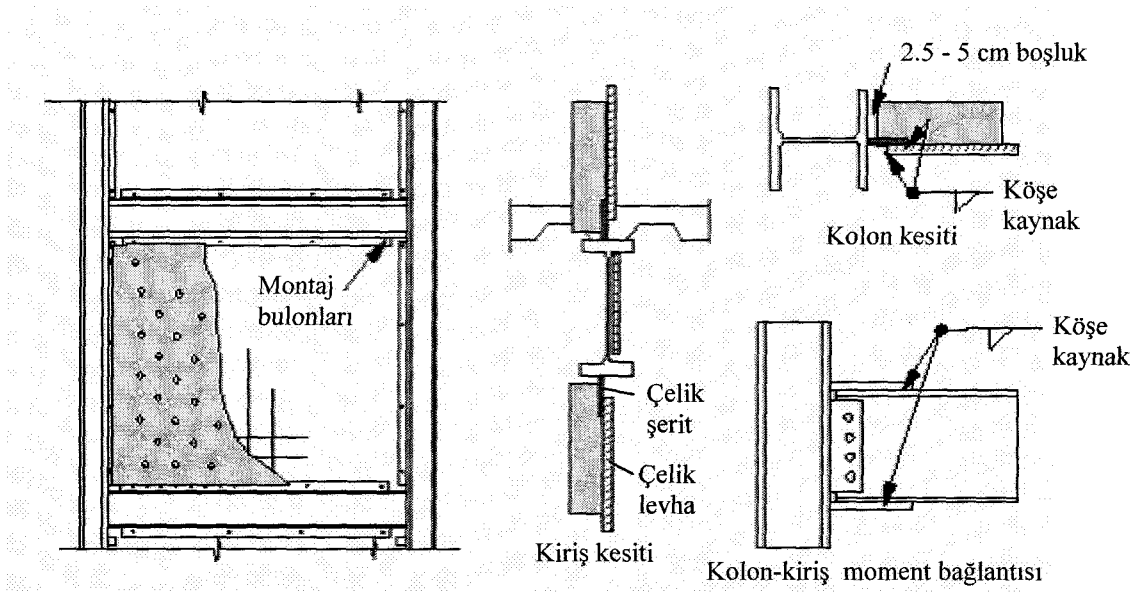
Kat kesme kuvvetlerinin ve kat ötelenmelerinin büyük olmasının beklendiği büyük fakat sık olmayan depremlerde, yenilikçi sistemdeki betonarme duvar ile başlık kolonları ve kirişleri arasındaki boşluklar kapanır ve betonarme duvar kesme kuvvetlerini karşılamaya ve kesme rijitliği sağlanmasına yardımcı olur. Çerçeve ile bütünleşmiş betonarme duvarın kesme dayanımı sistemin kesme dayanımına eklenir ve çerçeve ile bütünleşmiş betonarme duvarın rijitliği katlar arası kesme rijitliğine eklenir, bu da katlar arası ötelenmelerin azalmasına yardım eder.

#### **3.5.5.4. Önerilen Kompozit Çelik Levha Perde Duvar Sistemleri**

Kompozit çelik levha perde duvarlar, kat kesme yüklerinin büyük olduğu yerlerde ve gerekli geleneksel perde duvar kalınlığının çok fazla olduğu yerlerde etkili olarak kullanılabilirler. Çelik levha ile başlık elemanları/başlık kolonları ve kirişleri arasındaki bağlantılar levhanın tam akma gerilmesini geliştirecek şekilde tasarlanmalıdır. Düzlem-dışı yüklerin ve tersinir tekrarlı yüklemenin etkisi altında duvarın bütünlüğünün sağlanması için beton kesit içinde minimum donatı sağlanmalıdır.

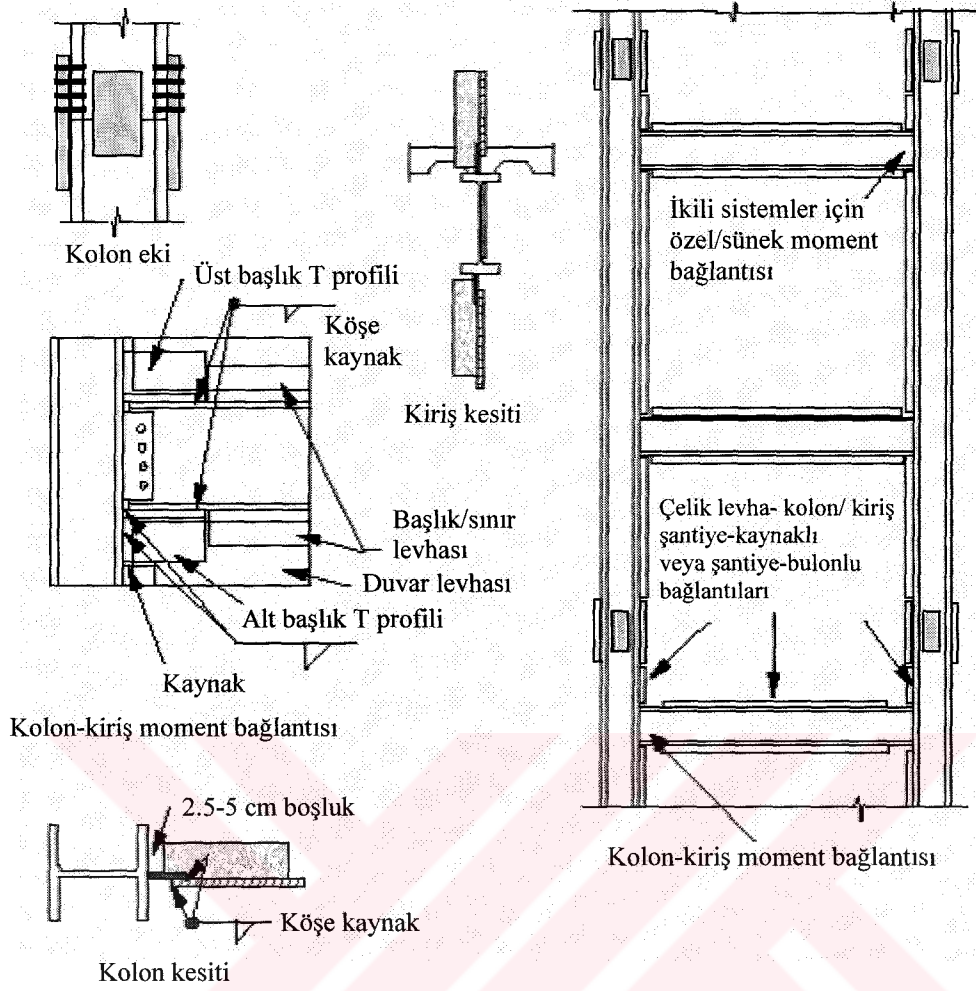
Şekil 3.51 ve Şekil 3.52’de kompozit çelik levha perde duvarları için önerilen düzenlemeler gösterilmektedir. Bu önerilen sistemler istenen performansı ve yüksek

sünekliği, ekonomi ve kolay inşa edilebilirlik kriterlerini göz önüne alarak sağlamak amacıyla [13].



Şekil 3.51 Önerilen kompozit çelik levha perde duvar sistemi [13]

Her iki önerilen sistemde de, betonarme perde duvar çelik levhanın bir yanında veya her iki yanında da bulunabilir ve yerinde-yapım veya ön-yapım olabilir. Şekil 3.51'deki sistemde, çelik levhanın bir yanına prekast/ön-yapım betonarme perde duvar bulonlanmıştır.



Şekil 3.52 Fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu kompozit çelik levha perde duvar [13]

#### 4. DEPREME DAYANIKLI HAFİF ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER

Sac çeliğin soğuk şekillendirilmesiyle elde edilen hafif çelik elemanlarla oluşturulan taşıyıcı strüktürler çok hafif olmalarının yanında, çok kısa sürede inşa edilebildiklerinden dolayı son yıllarda, özellikle deprem bölgelerinde geniş uygulama alanı bulmuştur. Hafif çelik elemanların eksenel yük taşıma kapasiteleri, basınç ve çekme dayanımları çelik profil elemanların eksenel yük taşıma kapasitelerinden, basınç ve çekme dayanımlarından az olduğu için yönetmelikler, iki kattan fazla olmayan hafif çelik çerçeveli konutların yapım kurallarını ve uygulanabilirlik limitlerini içermektedir [14].

Son yıllarda ülkemizde uygulama alanı bulan hafif çelik konut teknolojileri genellikle yabancı firmalar tarafından uygulanmaktadır. Bunun yanında; bazı Türk firmaları, yabancı firmalardan veya üreticilerden hafif çelik yapı sistemlerinin lisanslarını alarak ülkemizde bu yapı sistemlerini uygulamaktadırlar.

Bu sistemlerde yapı karkası, özel bükümlü galvanizli sac profillerle oluşturulduğundan hafif ve güvenli bir strüktür elde edilmektedir. Hafif çelik elemanlarla meydana getirilen ve taşıyıcı dikmelerle oluşturulan bu taşıyıcı sistemler çok hafif olduklarından, daha az deprem yüküne maruz kalırlar. Normal hafif çelik taşıyıcı sistemlerde; temel ve subasman/zemin kat dışında betonarme kullanılmamaktadır, tüm üst yapıda galvanizli sac profillerden elde edilen çelik karkas ve çatı makasları kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, standart boyutlara sahip hafif çelik yapı elemanları belli kurallar çerçevesinde kullanıldığından, bu sistemler modüler konstrüksiyon için oldukça uygundur. Hafif çelik yapı sistemlerinin modüler olması ve bağlantılarının kolay yapılabilmesi inşaat sürelerini oldukça azaltmaktadır [15].

Hafif çelik yapı elemanlarını korozyona karşı korumanın en etkili yolu, bu elemanları galvanizle kaplamaktır. Galvaniz uygulaması, paslanmayı önlemesinin yanında boya işçiliğini de ortadan kaldırmaktadır. Hafif çelik karkaslar, alçı panel kutular içine alınarak yangına karşı dayanıklı olmaları sağlanır [16].

Galvanizli hafif çelik yapılarda, çeşitli dış cephe kaplamaları kullanılmaktadır. Yapının cephesi, 11 mm kalınlığında ahşap lifli levha (OSB) ile kaplandıktan sonra bu kaplama üzerine yapının iklim bölgesine göre 2-4 cm kalınlığında yüksek yoğunluklu ve mukavemetli özel ekstrude polistren levhalar kaplanmaktadır. Daha sonra özel yapıştırma harcı ile tüm yüzeye polyester file uygulanarak bu filenin üzeri 2-3 mm kalınlığında özel sıva harcı ile sıvanmaktadır. Sıvanın üzerine astar, akrilik ya da silikon esaslı dış cephe boyası veya dokulu hazır cephe kaplamaları uygulanmaktadır. Aynı şekilde, polistren levha üzerindeki kanallara özel yapıştırma harcı ile ince kesitli klinker tuğla da kaplanabilmektedir ve bu hafif tuğla kaplamanın derzleri özel bir derz harcı ile doldurulmaktadır. Bu şekilde, deprem bölgelerinde yapının ağırlığını artırmadan pres tuğla dokusu ve etkisi sağlanmaktadır. Yapının hareketi esnasında oluşan enerjiyi polistren levha aldığından çatlama riski azdır. Ayrıca; dış cephe kaplaması olarak, Amerikan vinil, dolu kesitli elyafli çimento plaka, çimentolu yonga levha gibi değişik malzemelerden üretilen, dekoratif yalı baskısı kaplamalar da kullanılmaktadır.

Hafif çelik yapılarda iç duvarlar ve tavanlar, hafif çelik duvar ve tavan/döşeme strüktürlerinin alçıpan (kartonlu alçı plaka) levhalarla kaplanmasıyla oluşturulurlar. Karkasın boşluklarındaki tesisat işleri tamamlanınca, gerekli ısı ve ses izolasyonu/cam yünü boşluklara yerleştirilerek buhar kesici katman uygulanır ve bunların dışına 12.5 mm kalınlığındaki alçıpan levhalar özel vidalarla kaplanır. Dış duvar iç yüzeyleri ve tavanlar için ayrıca bir karkas oluşturmak gerekmemektedir. Alçıpan plakaların ek yerleri özel polyester file bantlar ile kaplanarak alçı ile sıvanır ve eksiz, pürüzsüz, boyaya/kaplamaya hazır yüzeyler elde edilir. Bitiş malzemesi olarak plastik boya, yağlı boya, duvar kağıdı, lambri ve seramik gibi malzemeler kullanılabilir.

Hafif çelik yapılarda döşemeler, hafif çelik döşeme karkaslarının üzerine birbirine geçmeli ahşap lifli döşeme levhaları kaplanarak elde edilirler. OSB döşeme kaplamasının üzerine beton gibi ağırlık yapmayan ve katlar arası darbe sesinin geçirimsizliğini sağlayan özel çimento-alçı karışımı bir katman veya alçı plaka kaplaması uygulanmaktadır. Islak hacimlerde, özel bohçalama teknikleri ile su yalıtımı yapılır, koruyucu katmandan sonra istenen kaplama uygulanır. Kaplama malzemesi olarak ahşap masif parke, rabıta, halı, homojen/heterojen PVC, linolyum, ince karo mermer ve ince karo granit gibi hafif malzemeler kullanılabilir. Yapının

zemin ve bodrum kat döşemeleri betonarme olduğundan, buralarda her türlü klasik döşeme kaplama malzemesi kullanılabilir.

Hafif çelik yapılarda çatı strüktürü, özel galvanizli hafif çelik profillerden elde edilen makas, düz kafes kiriş ya da eğimli panellerle oluşturulmaktadır. Çatı makaslarının/merteklerin üst yüzeyi ahşap lifli levha (OSB) ile kaplandıktan sonra, ısı ve su yalıtımı uygulanır ve çatı yüzeyi asfalt bazlı shingle çatı kaplama malzemesi ile kaplanır. Bu malzeme, yapılarda deprem için çok büyük tehlike oluşturan ağır kiremitlerin aksine, son derece hafif, elastik, uzun ömürlü ve dekoratif bir malzemedir. Doku, renk ve şekil seçenekleri olan shingle çatı kaplama malzemesi, her türlü kompleks çatıda kolaylıkla ve süratle uygulanabilmektedir. Hafif çelik konutların çatılarında kullanılabilecek diğer bir çatı kaplama malzemesi ise; özel kaplamalı ve renkli, kiremit görünümlü hafif metal levha örtülerdir. Çatılarda, eğimli çatı makasları yerine yatay tavan kirişleriyle oluşturulan düz/teras çatı uygulamaları da yapılabilmektedir. Bu tür çatılarda, kat döşemelerine benzer şekilde özel yalıtım katmanları/malzemeleri uygulanmaktadır. Hafif çelik yapılarda, özellikle çatıya gereksiz ve tehlikeli boyutlarda yük getiren geleneksel kiremit türleri kullanılmamalıdır.

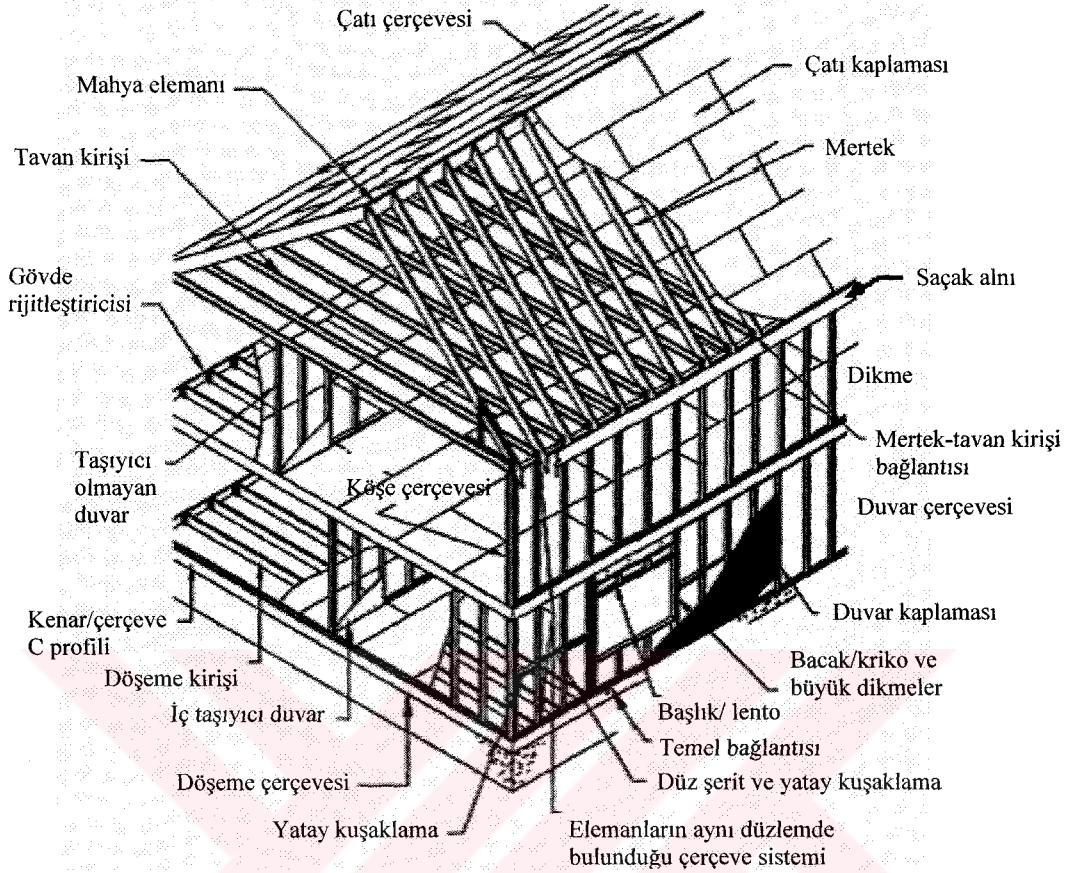
Hafif çelik yapıların en büyük avantajlarından biri, taşıyıcı çelik karkastaki boşluklara her türlü tesisatın kolaylıkla yerleştirilebilmesidir. Bu sayede, herhangi bir arızada tesisata müdahale oldukça kolay olmaktadır [15].

Çok katlı binalarda uygulama alanı bulamayan hafif çelik taşıyıcı sistemler genel olarak iki grupta toplanmaktadır:

- Normal hafif çelik taşıyıcı sistemler
- Betonarme ile kompozit hafif çelik taşıyıcı sistemler/SteelCrete taşıyıcı sistemler

#### **4.1. Normal Hafif Çelik Taşıyıcı Sistemler**

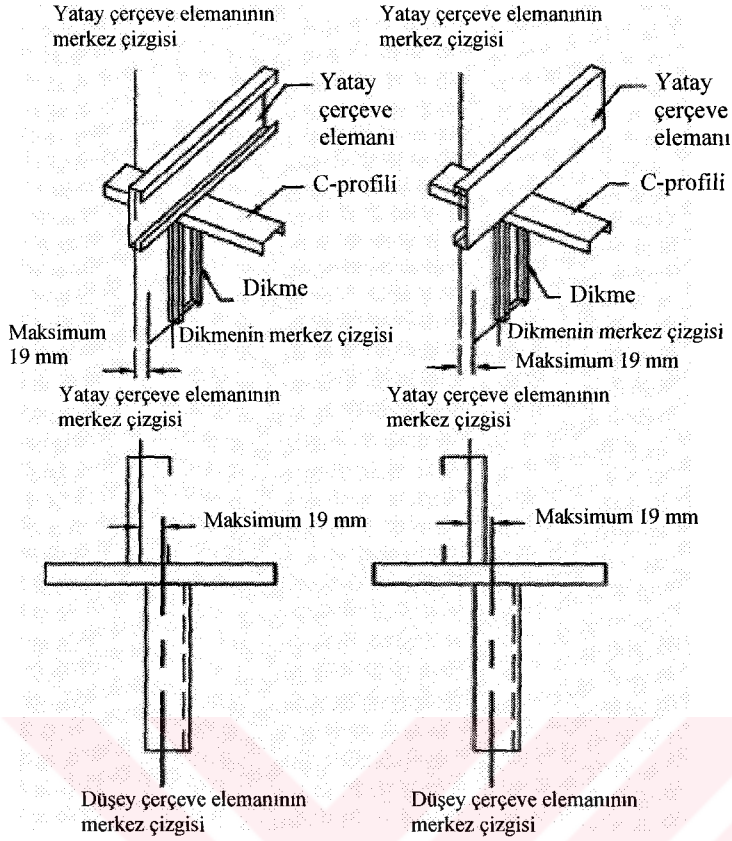
Normal hafif çelik taşıyıcı sistemler, hafif çelik taşıyıcı elemanlarla oluşturulan çerçeve sistemleridir. Bu sistemler; hafif çelik döşeme, duvar ve çatı çerçeve sistemlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.1) [14].



Şekil 4.1 Tipik hafif çelik çerçeveli binanın şematik gösterimi [14]

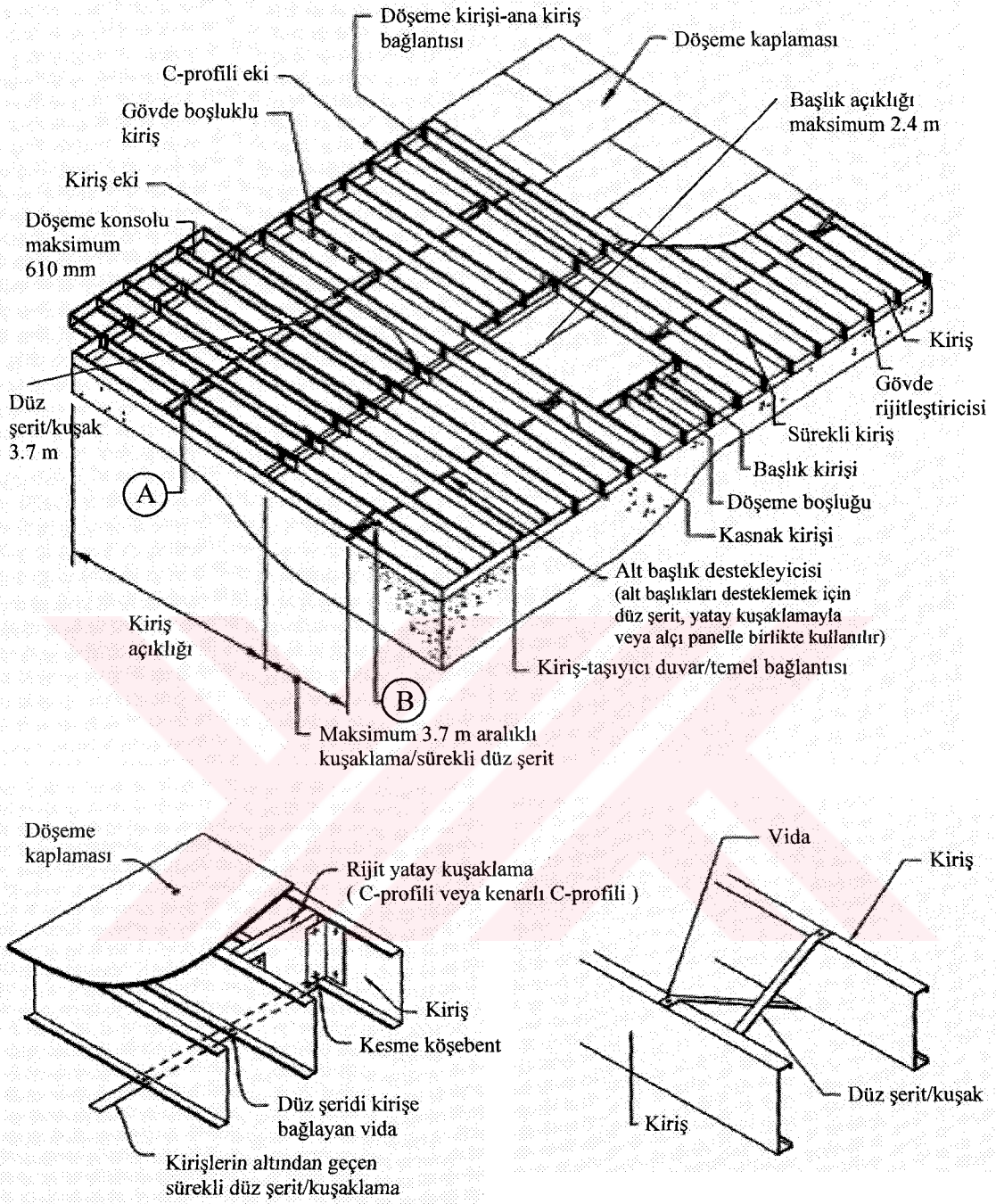
#### 4.1.1. Hafif Çelik Döşeme Çerçeve Sistemi

Taşıyıcı hafif çelik döşeme çerçeve sistemi, taşıyıcı çerçeve elemanlarıyla aynı düzlemde olmalıdır. Düşey doğrultuda düzenlenen elemanların merkez çizgileri arasındaki maksimum tolerans 19 mm olmalıdır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Elemanların aynı düzlemde bulunduğu çerçeve sistemi detayı [14]

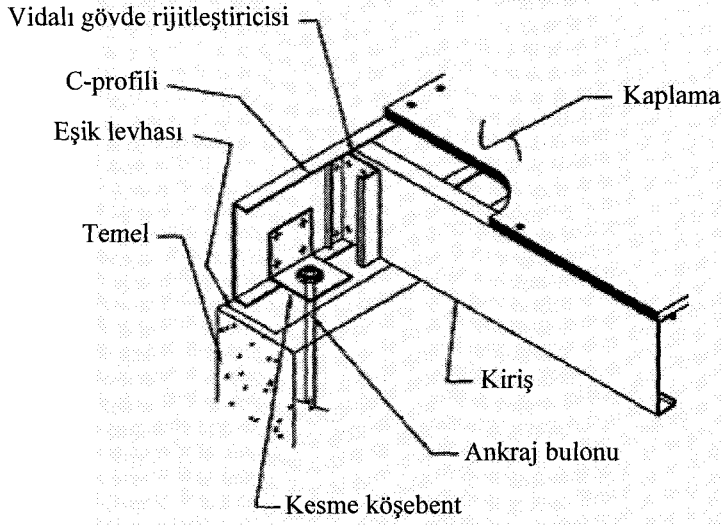
Sürekli kiriş elemanları kullanıldığında, kiriş açıklığı boyunca 60 cm’de bir taşıyıcı dikmeler kullanılmalıdır. C-profilleri, döşeme başlık kirişinin veya kasnak kirişinin bir bölümü olarak kullanılmasının dışında, en az 0.84 mm kalınlığında olmalıdır. Şekil 4.3’den Şekil 4.6’ya kadar hafif çelik döşeme çerçeve sistemi ile ilgili detaylar gösterilmektedir.



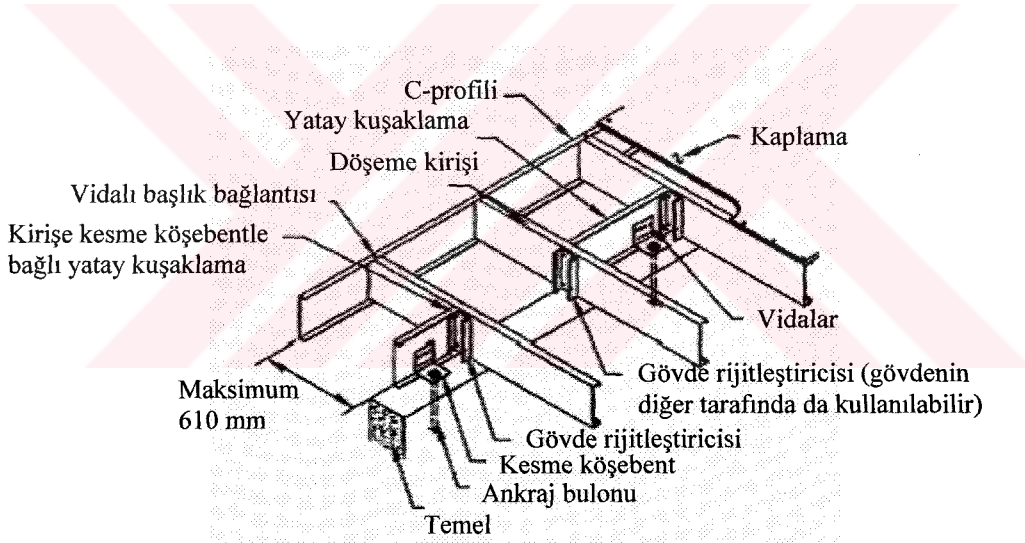
A- Yatay kuşaklama detayı

B- X-destekleme/çapraz kuşaklama detayı

Şekil 4.3 Hafif çelik döşeme konstrüksiyonu [14]



Şekil 4.4 Döşeme-temel bağlantısı [14]

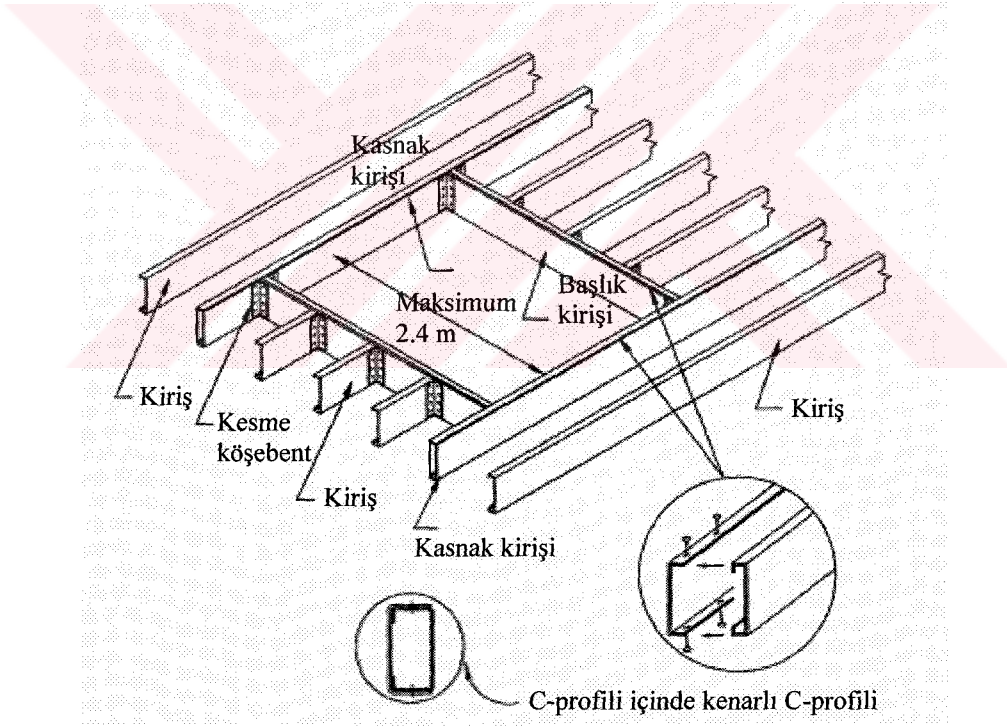


Şekil 4.5 Konsol döşeme-temel bağlantısı [14]

Döşeme kirişi elemanlarının üst başlıkları döşeme kaplamasına bağlanarak yatay olarak desteklenmelidir. Açıklıkları 3.7 m'yi aşan döşeme kirişlerinin alt başlıkları, alçı panellerle veya Şekil 4.3'e uygun olarak sürekli kuşaklama/çapraz kuşaklama ile yatay olarak desteklenmelidir. Çelik kuşaklar/şeritler en az 38 mm genişliğinde ve 0.84 mm kalınlığında olmalıdır. Yatay kuşaklama veya çapraz destekleme kiriş doğrultusuna dik ve sürekli kuşaklama boyunca kırışler arasında maksimum 3.7 m

aralıkla kullanılmalıdır. Yatay kuşaklama bütün şeritlerin uçlarında bulunmalıdır (Şekil 4.3) [14].

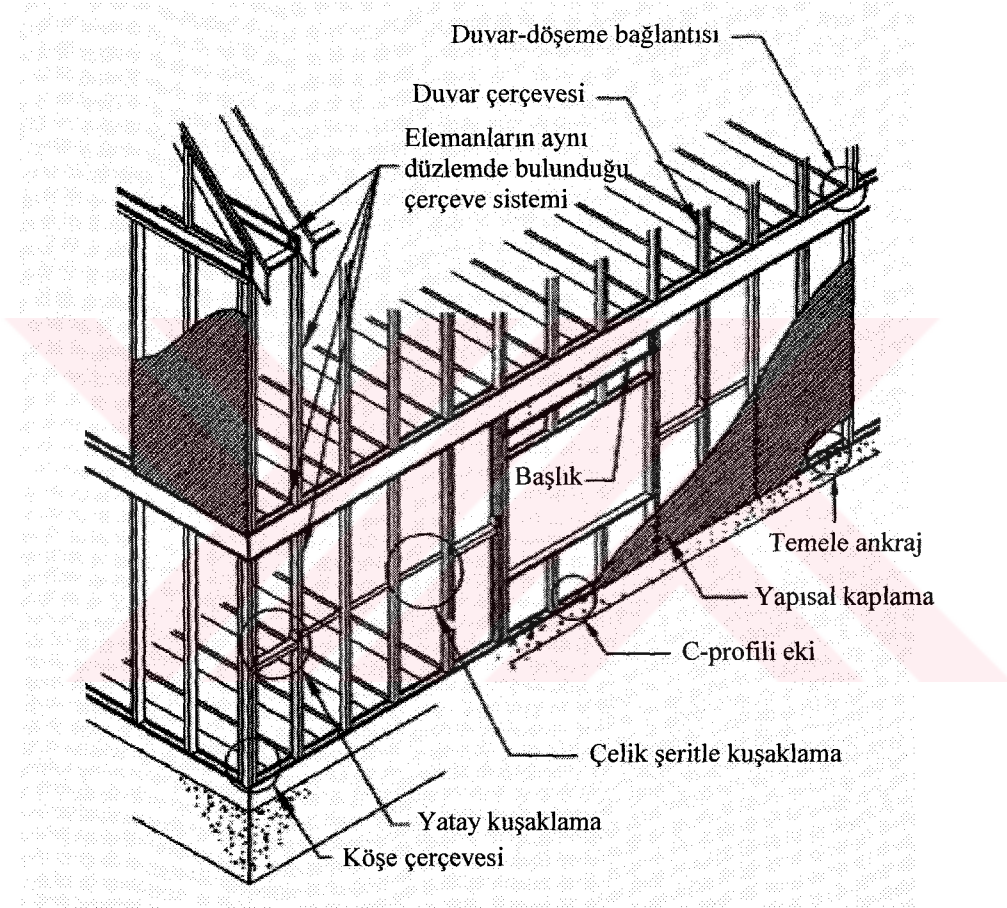
İki katlı bir yapının ikinci katının döşeme konsolları veya tek katlı bir yapının döşeme konsolları 610 mm'yi geçmemelidir (Şekil 4.5). Konsol döşeme kirişleri çatı yüklerine ilave olarak sadece iç döşeme yüklerini taşımalıdır. 610 mm'yi geçmeyen ve iki katı ve çatıyı taşıyan konsolların kirişleri çiftli/iç içe veya sırt sırta düşünülmelidir. Çiftli konsol kirişler içeriye doğru minimum 1830 mm devam etmelidir. Döşemelerdeki boşluklar, başlık ve kasnak kirişleriyle desteklenmelidir. Başlık kirişi açıklıkları 2.4 m'yi geçmemelidir. Başlık ve kasnak kirişleri, minimum komşu döşeme kirişleri boyutunda ve kalınlığında C-profillerinden üretilmelidirler ve Şekil 4.6'ya uygun olarak düzenlenmelidirler. Her başlık kirişi, kasnak kirişine minimum iki adet 51 mm×51 mm kesme köşebentle bağlanmalıdır. Kesme köşebentlerin et kalınlıkları, döşeme kirişlerinin et kalınlıklarından az olmamalıdır.



Şekil 4.6 Döşeme boşluğu detayı [14]

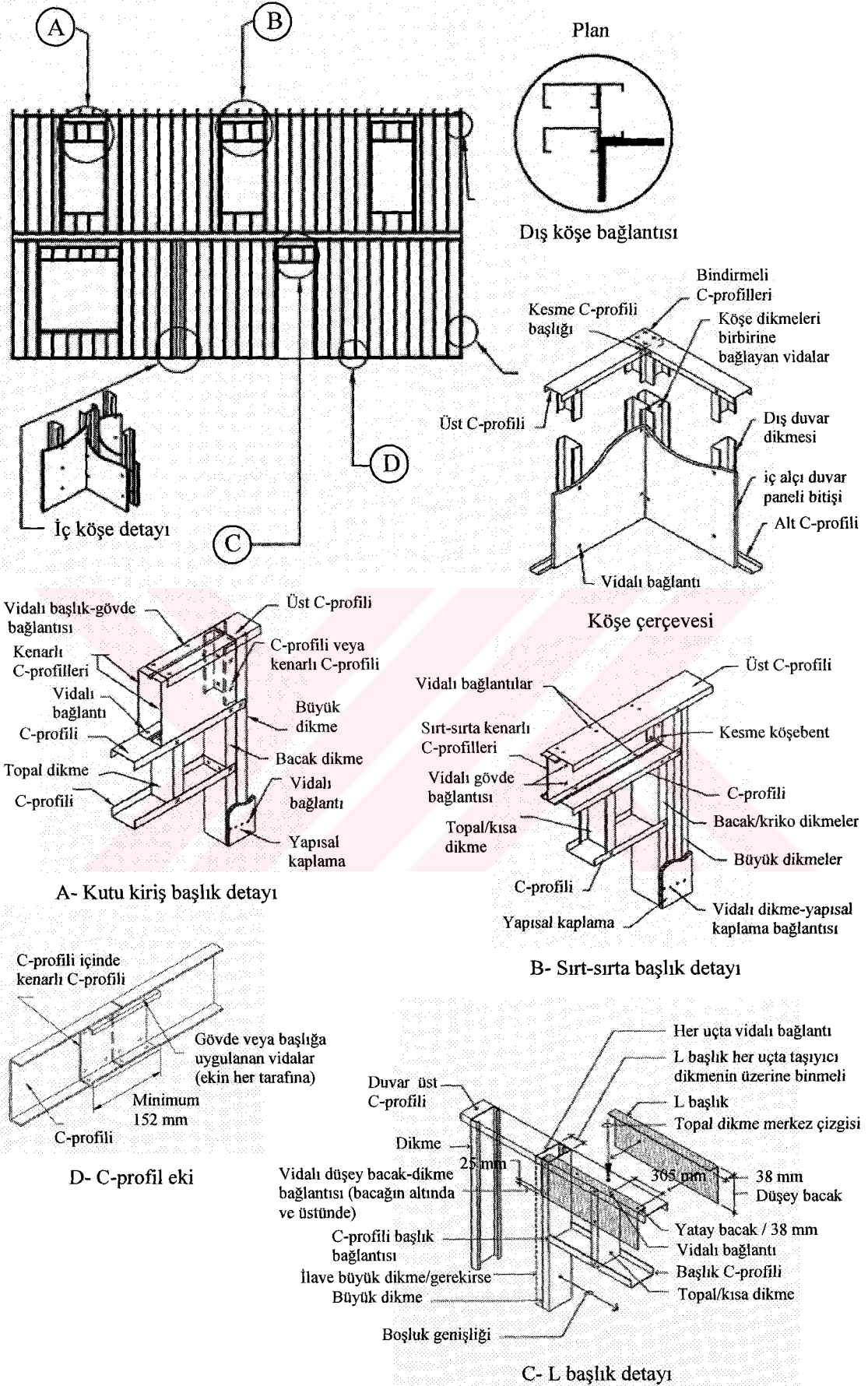
#### 4.1.2. Taşıyıcı Hafif Çelik Duvar Çerçeve Sistemi

İç ve dış hafif çelik dikme taşıyıcı duvarlar; kirişlerle, çatı makaslarıyla veya merteklerle merkez çizgileri arasındaki maksimum tolerans 19 mm olacak şekilde aynı düzlemde düzenlenmelidirler (Şekil 4.2). İç hafif çelik taşıyıcı duvarlar, temel üzerine veya direkt olarak taşıyıcı duvar veya kiriş üzerine yerleştirilmelidir. Hafif çelik taşıyıcı duvarlar, Şekil 4.7'ye ve Şekil 4.8'e uygun olarak inşa edilmelidir.

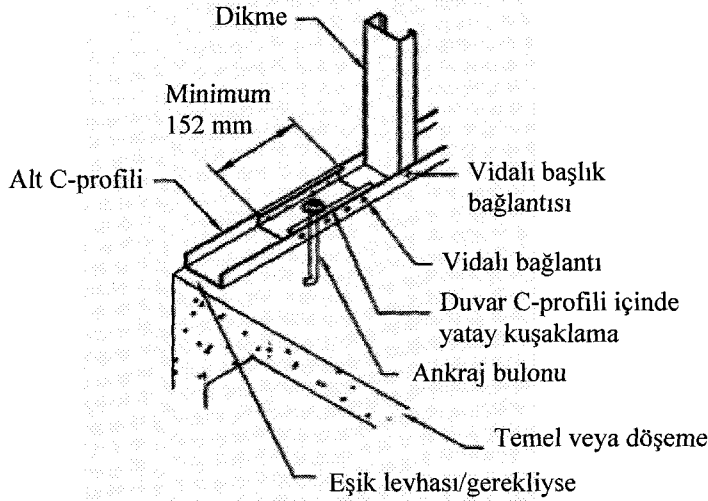


Şekil 4.7 Hafif çelik duvar konstrüksiyonu [14]

Hafif çelik çerçeveli duvarlar, temellere veya döşemelere Şekil 4.9'a uygun olarak ankrajlanmalıdırlar/bağlanmalıdırlar [14].



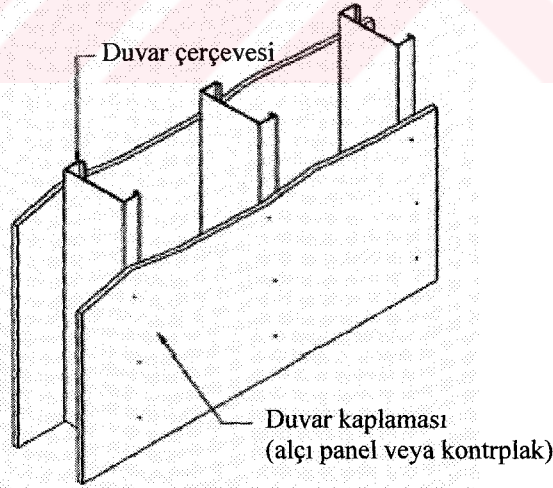
Şekil 4.8 Tipik taşıyıcı duvar detayı [14]



Şekil 4.9 Temel-duvar karkası bağlantısı [14]

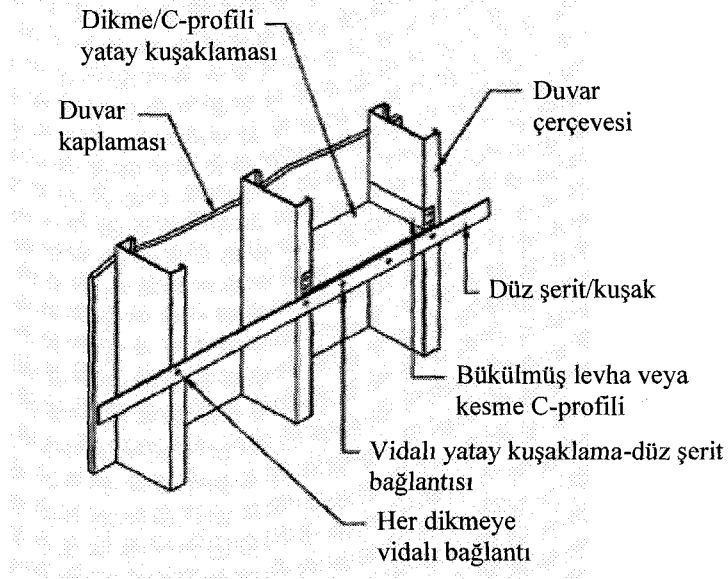
Duvar alt ve üst C-profillerinin et kalınlıkları, duvar dikmelerinin et kalınlıklarına eşit veya onlardan daha fazla olmalıdır. Taşıyıcı hafif çelik dikmelerin başlıkları aşağıdaki yöntemlerden biriyle yatay olarak desteklenmelidir:

1. Taşıyıcı duvarın her iki kenarında da alçı duvar paneli veya yapısal kaplama kullanılması (Şekil 4.10),



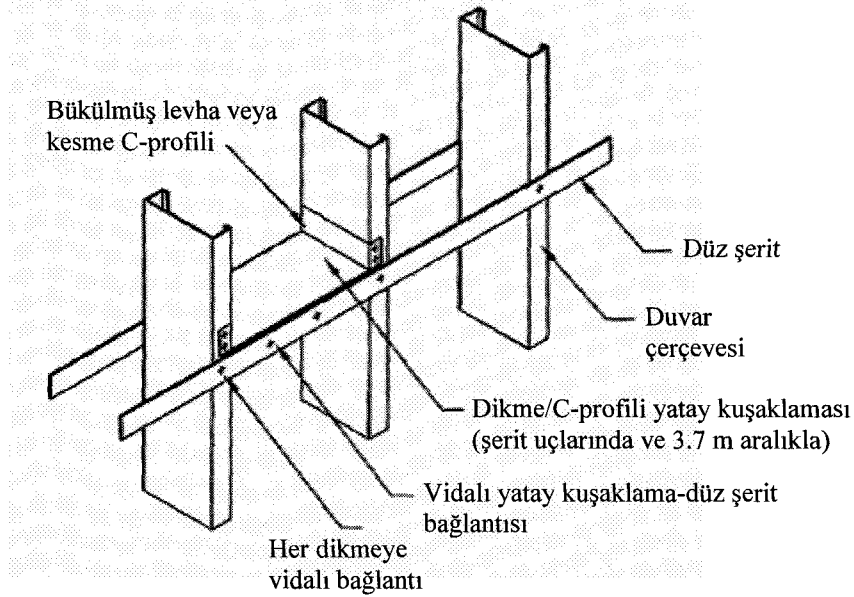
Şekil 4.10 Sadece kaplama malzemesiyle dikme desteği oluşturulması [14]

2. Taşıyıcı duvarın bir kenarında alçı duvar paneli veya yapısal kaplama, diğer kenarında yatay çelik şerit kullanılması (Şekil 4.11),



Şekil 4.11 Şerit ve kaplama malzemesiyle dikme desteği oluşturulması [14]

3. Taşıyıcı duvarın her iki kenarında da yatay çelik şerit kullanılması (Şekil 4.12). Yatay çelik şeritler/lamalar; en az 38 mm genişliğinde, 0.84 mm kalınlığında olmalıdırlar. Dikmeler arasında şeritlerle aynı hizada ve şerit boyunca 3.7 m aralıkla şeritlerin uçlarında yatay kuşaklama kullanılmalıdır. Bununla birlikte, inşaat süresince yeterli geçici veya sürekli dikme destekleri yükleri karşılamak için kullanılmalıdır.



Şekil 4.12 Sadece şeritle dikme desteği oluşturulması [17]

Dikmeler ve diğer yapısal elemanlar kabul edilmiş tasarım kurallarına uyulmadan birbirine eklenmemelidir. C-profilleri, Şekil 4.8'e uygun olarak birbirine eklenmelidir. Köşe dikmeleri ve üst C-profilleri Şekil 4.8'e uygun olarak düzenlenmelidir [14].

Tüm iç ve dış taşıyıcı duvar boşluklarının üzerinde/kapı ve pencere boşluklarının üzerinde kutu kiriş, sırt-sırta veya L başlıkları kullanılmalıdır. Taşıyıcı olmayan iç duvarlardaki boşluklarda başlıkların kullanılmasına gerek yoktur.

Kutu kiriş başlıkları, Şekil 4.8'e uygun olarak düzenlenmelidir. Başlıklar; iki adet eşit boyutlu, kenarlı C-profilinden elde edilmelidir. Başlıkları oluşturan C-profillerinin minimum et kalınlıkları 0.84 mm olmalıdır. Kenarlı C-profil veya C-profil et kalınlıkları duvar dikmelerinin et kalınlığından az olmamalı, en azından eşit olmalıdır [14].

Sırt-sırta başlıkları, Şekil 4.8'e uygun olarak düzenlenmelidir. Başlıklar, iki adet eşit boyutlu, kenarlı C-profilinden elde edilmelidir. Başlıkları oluşturan C-profillerinin minimum et kalınlıkları 0.84 mm olmalıdır. Sırt-sırta başlık büyük dikmeye minimum 51 mm×51 mm kesme köşebent kullanılarak bağlanmalıdır. Kesme köşebentin et kalınlığı duvar dikmelerinin et kalınlığından az olmamalı, en azından eşit olmalıdır.

L başlıkları, Şekil 4.8'e uygun olarak düzenlenmelidir. L başlığı, üst C-profilinin üzerine binen kısa bacadan ve pencere veya kapı boşluğu üzerindeki duvara uzanan/sarkan uzun bacadan oluşan hafif çelik bir köşebenttir. L köşebent, duvar açıklığının her iki kenarına da yerleştirilerek çift köşebentli L başlığı elde edilir. L-başlık köşebentinin uzun bacağı her büyük dikmeye ve toplam/kısa dikmeye alttan ve üstten bağlanmalıdır (Şekil 4.8).

Dış duvarlar, yapısal ahşap kaplama panelleri veya diğer onaylanmış malzemelerle kaplanmalıdır. Yapısal ahşap kaplama panelleri merkezden merkeze 610 mm aralıklarla çerçeveye bağlanmalıdır yani 61 cm genişliğinde paneller kullanılmalıdır. Yapısal ahşap kaplama panelleri en az 15 mm kalınlığında olmalıdır. Dış duvarların iç kısımlarında 12 mm kalınlığında alçı duvar panelleri kullanılmalıdır [14].

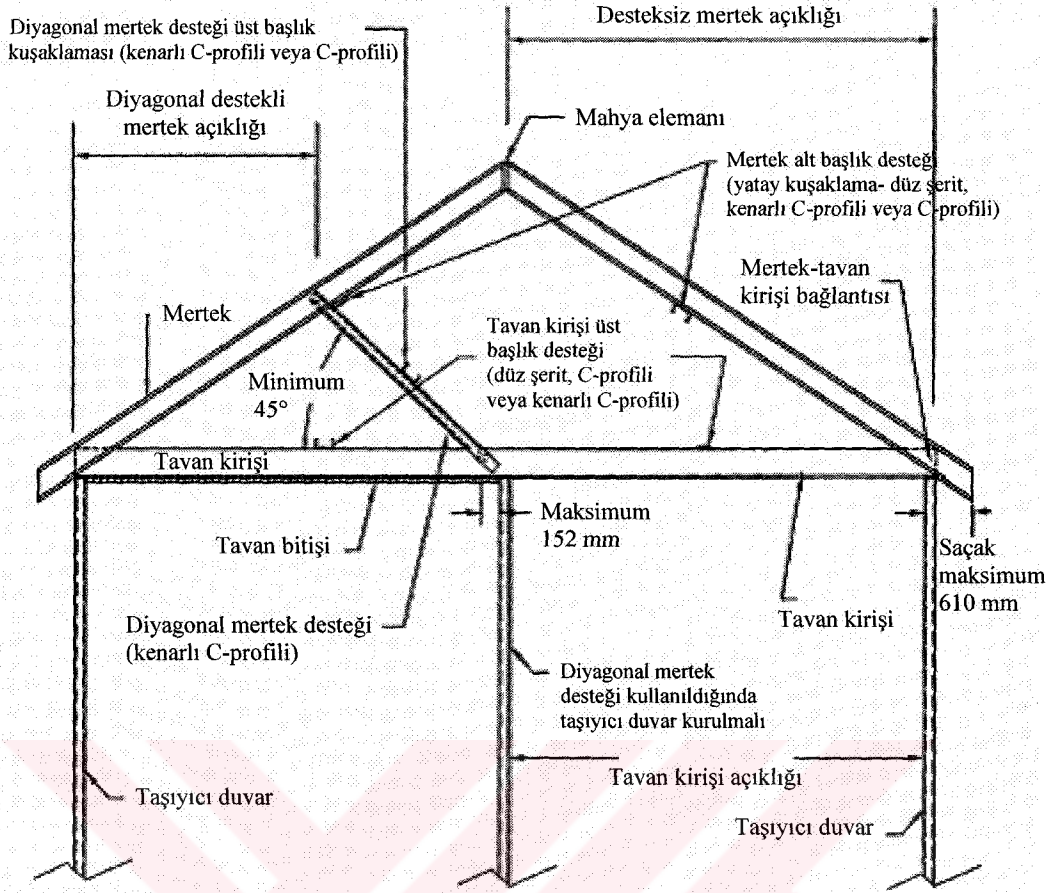
#### 4.1.3. Taşıyıcı Olmayan Hafif Çelik Duvar Çerçeve Sistemi

Taşıyıcı olmayan hafif çelik çerçeve elemanları en az 0.45 mm kalınlığında olmalıdır.

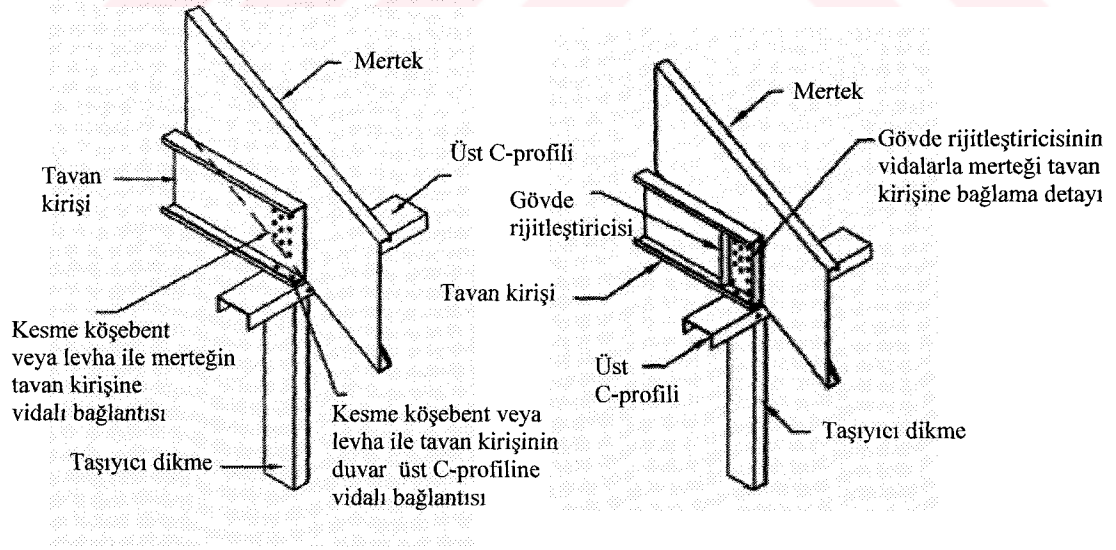
#### 4.1.4. Hafif Çelik Çatı Çerçeve Sistemi

Hafif çelik çatı sistemleri, tavan kirişleri ve merteklerden oluşmalı ve Şekil 4.13'den Şekil 4.16'ya kadarki detaylara uygun olmalıdır. Tavan kirişleri taşıyıcı dikmelerle; dikme merkez çizgisi ile tavan kirişi merkez çizgisi arasındaki maksimum tolerans 19 mm olacak şekilde aynı düzlemde bulunmalıdır. Tavan kirişleri en az 38 mm derinliğe sahip olmalıdır ve Şekil 4.14'e uygun olarak merteklere bağlanmalıdır. Hafif çelik tavan kirişlerinin alt başlıkları, kiriş doğrultusuna dik olarak yerleştirilen alçı paneller veya sürekli çelik şeritle yatay olarak desteklenmelidir. 38 mm×0.84 mm'lik çelik şerit en fazla 120 cm aralıkla yerleştirilmelidir. Yatay kuşaklama veya X-destekleme, kiriş doğrultusuna dik sürekli şerit çizgisi boyunca kirişler ile sürekli düz şerit arasında en fazla 370 cm aralıkla yerleştirilmelidir. Yatay kuşaklama veya X-destekleme tüm şeritlerin uçlarında bulunmalıdır. Hafif çelik tavan kirişlerinin üst başlıkları; minimum 0.84 mm kalınlığındaki C-profilile, 0.84 mm kalınlığındaki kenarlı C-profilile veya 38 mm×0.84 mm'lik sürekli çelik şeritle yatay olarak desteklenmelidir. Yatay kuşaklama, Şekil 4.13'de görüldüğü gibi tavan kirişi doğrultusuna dik olarak yerleştirilmelidir [14].

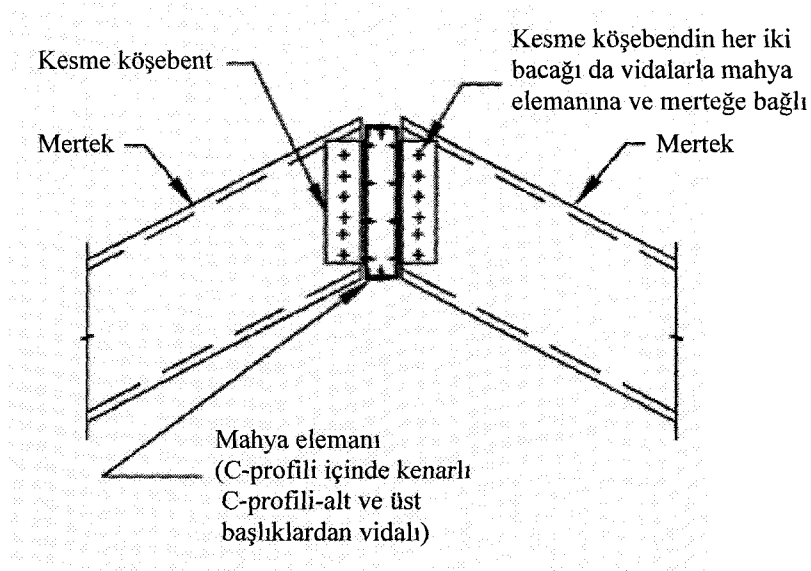
Mertekler, Şekil 4.13'e ve Şekil 4.14'e uygun olarak dış duvarlar arasında sürekli bağlantı oluşturmak için paralel tavan kirişlerine bağlanmalıdır. Ayrıca mertekler, mahya elemanına minimum 51 mm×51 mm'lik kesme köşebentle bağlanmalıdır (Şekil 4.15). Kesme köşebent et kalınlığı mertek et kalınlığına en azından eşit olmalıdır ve kesme köşebent mertek elemanı derinliği boyunca devam etmelidir. Mahya elemanı, kenarlı C-profilinden veya C-profilinden üretilmelidir. Mahya elemanı komşu merteklerin minimum boyutlarına ve kalınlıklarına sahip olmalı ve Şekil 4.15'e uygun olarak yerleştirilmelidir. Çatı saçakları, Şekil 4.13'e uygun olarak 610 mm'yi geçmemelidir.



Şekil 4.13 Hafif çelik çatı konstrüksiyonu [14]



Şekil 4.14 Tavan kirişi-mertek bağlantısı [14]

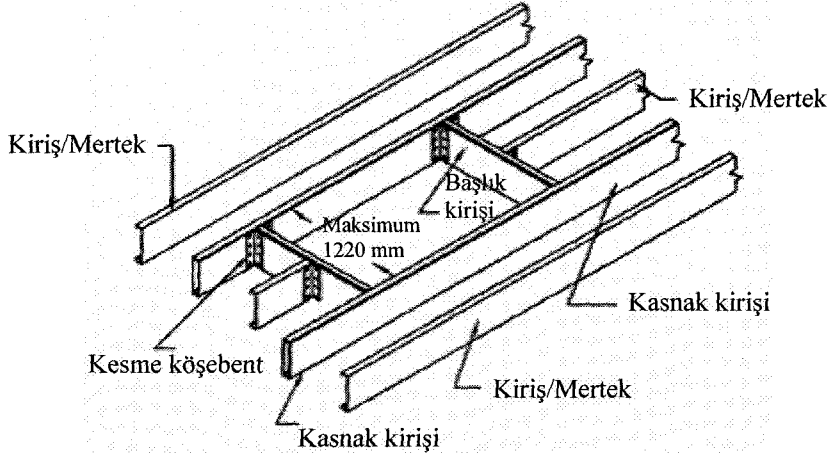


Şekil 4.15 Mahya elemanı bağlantısı [14]

Çelik merteklerin alt başlıkları, en az 0.84 mm kalınlığındaki kenarlı C-profilile, 0.84 mm kalınlığındaki C-profilile veya 38 mm×0.84 mm’lik çelik şeritle merteklere paralel olarak ölçülen en fazla 240 cm aralıkla sürekli biçimde desteklenmelidir. Destekleme/kuşaklama Şekil 4.13’e uygun olarak yapılmalıdır. Yatay kuşaklama veya X-destekleme, sürekli destekleme ile aynı düzlemdeki mertekler arasına merteklere dik olarak ölçülen en fazla 3.7 m aralıkla ve tüm şeritlerin uçlarına yerleştirilmelidir.

Tavan kirişleri dışında, mertekler ve diğer yapısal elemanlar onaylanmış tasarım kurallarına uyulmadan uç uca eklenmemelidirler. Tavan kirişlerindeki eklere sadece iç taşıyıcı noktalarda izin verilmelidir.

Çatı ve tavan çerçevesindeki boşluklar, tavan kirişleri veya mertekler arasında başlıklar ve kasnak kirişleri tarafından desteklenmelidir. Başlık kirişi açıklığı 1220 mm’yi geçmemelidir. Başlık ve kasnak kirişleri, komşu tavan kirişleri veya merteklerin boyutlarına ve kalınlıklarına sahip olan kiriş ve C-profil elemanlarından elde edilmelidir ve Şekil 4.16’ya uygun olarak düzenlenmelidir. Her başlık kirişi, kasnak kirişine en az dört adet 51 mm×51 mm’lik kesme köşebentle bağlanmalıdır. Kesme köşebentlerin çelik et kalınlıkları tavan kirişi veya mertek çelik et kalınlıklarından az olmamalıdır [14].



Şekil 4.16 Çatı veya tavan boşluğu [14]

#### 4.2. Betonarme ile Kompozit Hafif Çelik Taşıyıcı Sistemler

SteelCrete, Tony Ruiz tarafından tasarlanan ve uygulanan, patentli, kompozit bir yapım sistemidir. Bu sistem inşaat için; katı betondan, beton bloktan veya herhangi bir geleneksel yapım yöntemiyle üretilen panellerden daha dayanıklı fakat daha hafif panelleri oluşturmak maksadıyla, kalınlığı az olan betona (4~5 cm) gömülü hafif çelik dikmeleri kullanır. Betonla hafif çelik elemanların/dikmelerin aderansı çok yüksek olmaktadır. Beton ile hafif çelik elemanların birlikte kullanıldığı zaman gösterdikleri performans, ayrı ayrı kullanıldıkları zaman gösterdikleri performanstan çok daha iyidir. SteelCrete, diğer yapım sistemlerinden ve geleneksel yapım sistemlerinden daha hızlı, daha dayanıklı ve daha düşük maliyetli bir yapım sistemidir [17].

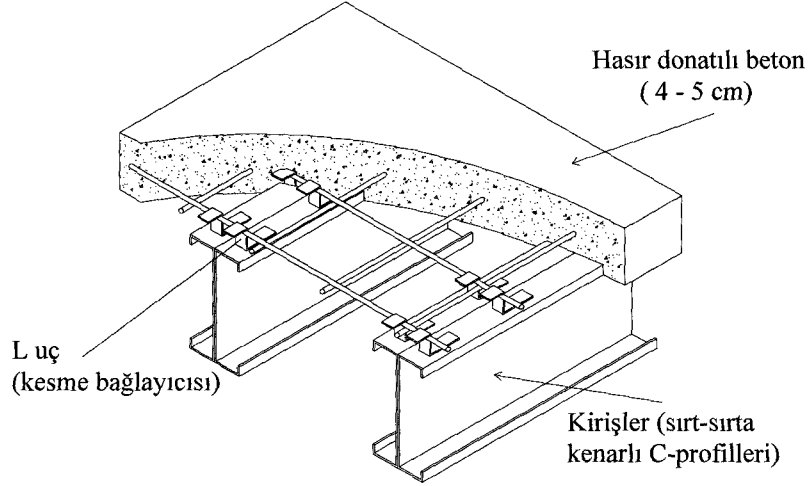
Günümüzde testlere ve onaylamalara ihtiyaç duyan birçok hafif yapı iskeletli beton yapım sistemleri bulunmaktadır. SteelCrete bu sistemleri bir araya toplayan ve ince, standart betonu hafif çelik elemanlarla birleştiren en dayanıklı yapım yöntemidir. Bu sistem, betona daha başka yapısal eleman eklenmesine gerek olmadığından ucuz bir sistemdir ve betonun hafif çelik elemanlara yapışması bağlayıcıların kullanılmasına veya sürtünmeye bağlı olmadığından dayanıklı bir sistemdir. Herhangi bir hadde ürünü kullanılabildiği için, bu sistemle çalışmak kolaydır. Fakat bu sistemin en büyük avantajı; herhangi bir özel teste, ön onaylamaya veya ruhsata ihtiyaç olmamasıdır. SteelCrete sadece uzun zamandan beri var olan basit mühendislik

kurallarını kullandığından ilgili meslek odalarının ve belediyelerin daha kolay onayını almaktadır.

SteelCrete; dış taşıyıcı duvarlar, döşemeler, çatı ve bunların birleşimlerinden oluşmaktadır. Bu sistemde, yerinde üretim veya ön yapım yöntemleri kullanılarak binalar inşa edilir. Öncelikle hafif paneller kurulur; sonra elektrik tesisatı, su tesisatı, havalandırma, izolasyon, iç duvarların yapılması, kapıların ve pencerelerin montajı gibi diğer işler geleneksel olarak yapılır. Döşeme, çatı ve duvar panelleri farklı yük gerekliliklerine uymak için dikme boyutları ve aralıklar düzenlenerek tasarlanabilir. Bu, tasarımcıya büyük bir esneklik sağlamaktadır.

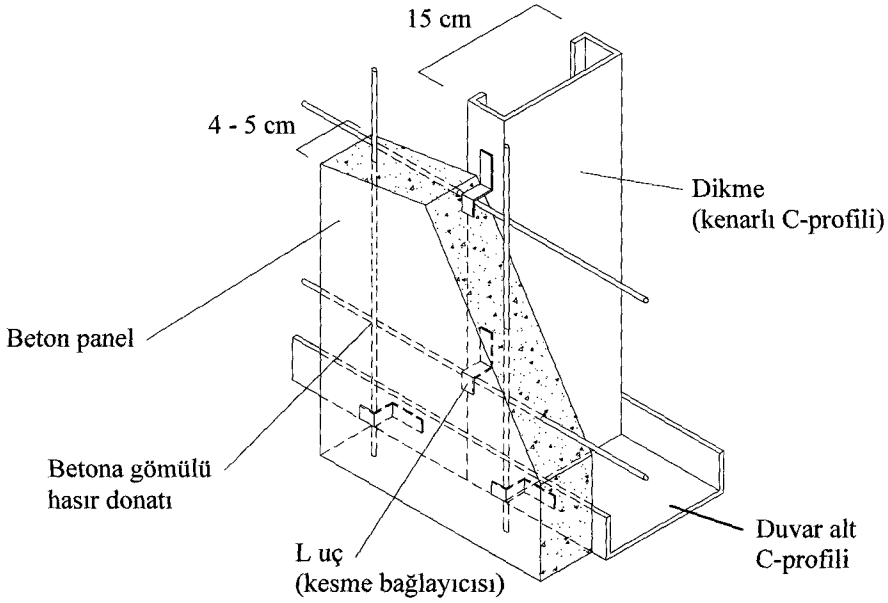
SteelCrete, hızlı ve ucuz bir yapım sistemidir. Çünkü bu sistemde, nitelikli işgücüne veya kapsamlı kalite kontrolüne ihtiyaç yoktur ve standart malzemeler kullanılmaktadır. SteelCrete, yangına karşı normal hafif çelik taşıyıcı sistemlerden daha dayanıklıdır. Bu sistem, düşük bakım/onarım maliyetine sahiptir ve kolay öğrenilebilmektedir. Bu sistemin döşeme kalıbına ihtiyacı olmaması, daha az yapım aşamasına sahip olması ve şantiyede daha az denetim gerektirmesi önemli avantajlar sağlamaktadır. SteelCrete, hafif bir yapım sistemi olduğundan daha küçük boyutlu temellere sahip olur. Ayrıca, rüzgara karşı dayanıklı olarak tasarlanan bu sistemde çürüme olayı ve küf oluşumu gözlenmemektedir.

SteelCrete yapım sisteminde kullanılan elemanlar, hafif çelik iskeletli beton panellerde betona gömülen özel kesme bağlayıcılarına sahip olan en yeni hafif çelik çerçeve elemanlarıdır (Şekil 4.17). Çerçeve elemanları, ön-yapım veya yerinde-yapım olabilmektedir [17].



Şekil 4.17 SteelCrete döşeme/çatı sistemi [17]

Duvar panelleri, hafif çelik dikmelerden/kenarlı C-profillerinden oluşur (Şekil 4.18). Duvarlar; fabrikada üretilebilirler veya binanın döşemesi üzerinde, yerinde yapılabilirler. SteelCrete panelin beton dış katmanı 4-5 cm kalınlığındadır. Dikmeler ve levhalar genellikle, 15×0.15 cm hafif çelik elemanlardır. Hafif çelik eleman betona, dikmelerin veya levhaların yan başlıklarına bağlanan L uçlar/kesme bağlayıcıları ile bağlanır. Kesme bağlayıcıları, geleneksel kalıplama yöntemlerine benzer şekilde binanın döşemesini kalıp yatağı olarak kullanarak betonun içine gömülür. Panellerde düz donatılar yerine hasır çelik donatılar kullanılır. Sonuç ürünü, bitmiş dış yüzeye ve dikmeli iç yüzeye sahip hafif duvar panelidir. Standart iç duvarlar dikmelere bağlanmadan önce bu düzen içerde; elektrik, su tesisatının ve yalıtımın geleneksel olarak kolaylıkla yerleştirilmesine olanak sağlamaktadır. Duvarın dış yüzeyine dekoratif bir şekil verilebilmektedir [17].



Şekil 4.18 SteelCrete duvar sistemi [17]

#### 4.2.1. SteelCrete ile Geleneksel Yapım Sisteminin Karşılaştırılması

SteelCrete beton panelleri 4~5 cm iken, geleneksel yapım sisteminde beton panelleri 15~20 cm kalınlığındadır. Geleneksel yapım sistemlerinde çok fazla miktarlarda beton ve donatı kullanılması sonucu ölü yükler artar. Fazla miktarda donatının kullanılması zaman alıcı bir iştir ve ekonomik değildir. SteelCrete yapım sisteminde çok daha az beton ve donatı kullanıldığından bina çok hafif olmaktadır ve buna bağlı olarak olası bir depremde binanın deprem yüklerine daha az maruz kalması sağlanabilmektedir.

Geleneksel yapım sisteminde beton içinde donatıların doğru yerleştirildiğinden emin olabilmek için yüksek derecede mühendislik bilgisine ve denetime ihtiyaç vardır. SteelCrete sisteminde beton, döşeme kalınlığının küçük bir bölümünü oluşturmasına rağmen; hafif çelik çerçeve sistemi, geleneksel yapım sistemindeki donatının aldığı çekme kuvvetinin aynısını veya daha fazlasını alır. Diğer bir deyişle, bu sistemde hafif çelik çerçeve donatının yerini alırken aynı anda bu sistem beton duvar arkasında bulunan geleneksel çerçeve elemanından oluşur. Kompozit olarak çalıştıklarında beton ve hafif çelik çerçeve, tek başlarına kullanıldıkları zamanki performanslarından daha iyi performans gösterirler ve birbirlerinin eksikliklerini giderirler. Hafif çelik çerçeve çekme kuvvetlerini alırken, beton katman basınç kuvvetlerini almaktadır. Hafif çelik çerçeve basınçta, beton ise çekmede iyi değildir.

Fakat, ikisi birlikte çalışarak her birinden ayrı ayrı beklenen özelliklerden daha üstün farklı özellikler gösterirler.

SteelCrete duvarlar; kalıplara, büyük temellere veya ağır iş makinelerine ihtiyaç duymazlar ve çok kolay taşınabilirler. SteelCrete duvarların geleneksel duvarlardan her konuda daha avantajlı olduğu bir gerçektir. Yapılan maliyet analizleri, SteelCrete yapım sisteminin geleneksel yapım sistemlerine göre yaklaşık %25'lik bir tasarruf sağladığını göstermektedir.

SteelCrete duvar paneli boyanabilir, orta ağırlıkta veya ağır cephe kaplama malzemeleriyle kaplanabilir. İç hafif çelik çerçeve; tesisatların, yalıtımın ve iç duvarların yerleştirilmesine olanak sağlar. Geleneksel yapım yöntemiyle inşa edilmiş bir binada içinde yaşanılabilir/oturmaya elverişli bir mekana ihtiyaç duyulduğunda, bazı problemler ve maliyetler ortaya çıkmaktadır. Bitmiş bir duvar her zaman elektrik, su tesisatlarının ve yalıtımın gizlenmesine ihtiyaç duyar. Bu da bina içinde başka bir bina inşa etmek demektir. Fakat bu durum SteelCrete yapım sisteminde problem yaratmamaktadır, çünkü hafif çelik dikme çerçevesinin içine tesisatlar ve yalıtım ekonomik geleneksel yöntemlerle gizlenebilmektedir [17].

## **5. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN VE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERLE İLGİLİ YÖNETMELİKLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Geçen bölümlerde anlatılan depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemler farklı özelliklere sahip olduklarından deprem yüklerinin etkisi altında farklı performans gösterirler. Bundan dolayı; binanın taşıyıcı sistemine karar verilirken, alternatif taşıyıcı sistemler arasında depreme karşı dayanıklılık, maliyet ve kolay uygulanabilirlik gibi kriterler göz önüne alınarak kapsamlı bir karşılaştırma yapılmalı ve bu karşılaştırmanın sonucunda en avantajlı taşıyıcı sisteme karar verilmelidir.

### **5.1. Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması**

Moment aktaran çerçeveler ile merkezi çaprazlı ve dışmerkezi çaprazlı çerçeveler arasındaki temel farklılıklar, depreme dayanıklı yapının yerine getirmekle yükümlü olduğu bazı gerekliliklerle özetlenebilir. Bu gereklilikler; küçük dönüş periyoduna sahip orta dereceli yer hareketlerine karşı dayanım ve rijitlik ve büyük dönüş periyoduna sahip şiddetli depremlere karşı dayanım, süneklik ve enerji sönümleme kapasitesinin yeterli seviyede sağlanmasıdır.

Rijitlik gerekliliği ele alındığında, orta şiddetli sismik hareketlerin etkisi altında, katlar arası ötelenmenin sınırlandırılması gerekiyken bu duruma moment aktaran çerçeveler elverişli değildir. Bundan dolayı moment aktaran çerçeveler orta ve az katlı binalar için seçilebilirler. Bu eksiklik; yani katlar arası ötelenmenin sınırlandırılmaması, diyagonal elemanların ve moment aktaran çerçevelerin deforme olabilirdiği ile merkezi çaprazlı çelik çerçevelerin rijitliği arasında bir ara davranışa olanak sağlayan dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelerde büyük oranda giderilmiştir.

Enerji sönümleme kapasiteleri göz önüne alındığında, deprem enerjisinin elastik olmayan tekrarlı eğilme vasıtasıyla sönümlendiği moment aktaran çerçevelerin enerji sönümleyici bölgeleri, eleman uçlarında oluşan plastik mafsallar tarafından meydana getirilir. Diğer tarafta, dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelerde enerji sönümleyici

davranış, elastik olmayan tekrarlı kesme ve eğilmenin olduğu bağlantı kirişleri tarafından geliştirilir.

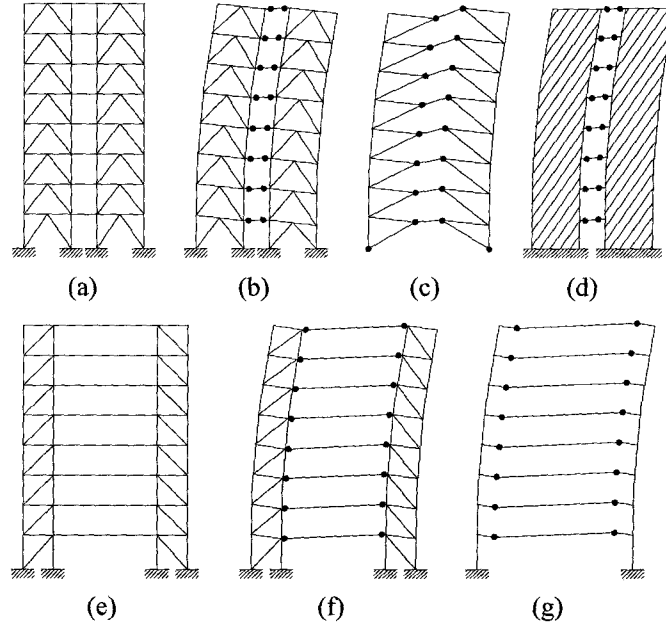
Merkezi çaprazlı çelik çerçeveler, özellikle çekme diyagonallerinin tekrarlı aksenal deformasyonu vasıtasıyla deprem enerjisini sönümlerler. Bu durumda, tekrar sayısı arttıkça burkulma hali hem rijitlikte hem de enerji sönümleme kapasitesinde büyük bir azalmaya neden olur.

Moment aktaran çerçevelerin elastik olmayan davranışı bir taraftan moment aktaran çerçevelerin merkezi çaprazlı çelik çerçevelere nazaran şiddetli deprem etkileri altında daha iyi performans göstermesini sağlamakta, diğer taraftan; moment aktaran çerçeveler çok fazla sayıda bulunan enerji sönümleyici bölgelerinden dolayı dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelerle eşit seviyede süneklige ve enerji sönümleme kapasitesine sahip olurlar. Moment aktaran çerçevelerin sadece salınım rijitlikleri hem merkezi çaprazlı hem de dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelerin salınım rijitliklerinden küçüktür [3].

#### **5.1.1. Yenilikçi Yapısal Sistemler**

Klasik yapısal sistemlerin dışında, eğilmede enerji sönümleyebilen bazı yeni yapısal merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemleri tasarlanabilir (Şekil 5.1).

Şekil 5.1a'daki sistem, dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelerde (Şekil 5.1c) yaygın olarak kullanılan “güçlü kolon-daha az güçlü kiriş” prensibine dayanmaktadır. Aynı prensip, merkezi çaprazlı çelik çerçevelerde “rijit çaprazlı çerçeve-daha az rijit bağ kirişi” (Şekil 5.1b) şeklinde uygulanabilir. Şekil 5.1a'daki sistem, elastik bağ kirişli ve rijit diyaframlı betonarme yapılara (Şekil 5.1d) benzer şekilde tasarlanan bir sistemdir. Şekil 5.1e'deki yapısal sistem de, genellikle moment aktaran çerçevelerde (Şekil 5.1f ve Şekil 5.1g) kullanılan “güçlü kolon-daha az güçlü kiriş” prensibiyle tasarlanır. Enerjiyi sistemin içinde sönümleyen moment aktaran çerçevelerle (Şekil 5.1g) ve dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelerle (Şekil 5.1c) karşılaştırıldıklarında, merkezi çaprazlı çelik çerçeveler için önerilen yapılar enerjiyi çaprazlı sistemin dışında sönümlerler (Şekil 5.1b ve Şekil 5.1f) [3].

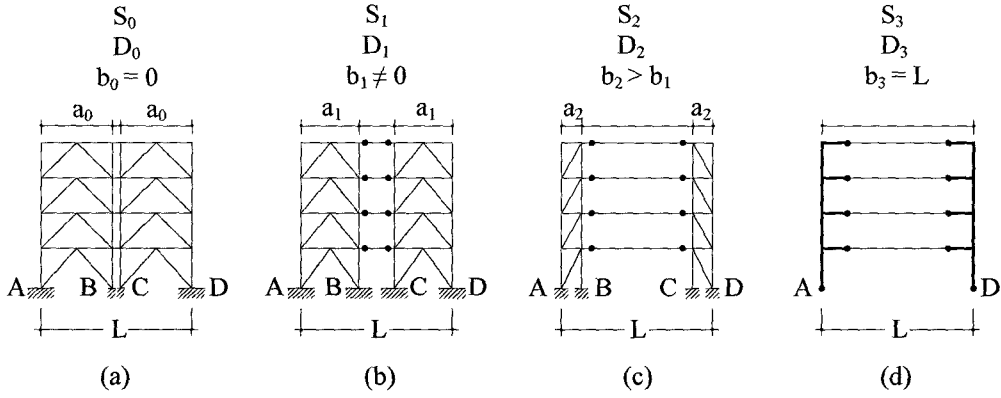


Şekil 5.1 Yenilikçi yapısal sistemler [3]

Şekil 5.1a'daki taşıyıcı sistem dışmerkezi çaprazlı çelik çerçevelere benzer biçimde fakat plastik bölgede orta seviyede bir düzensizlikle davranırlar. Bu tip taşıyıcı sistemler, şiddetli yer hareketleri esnasında çok fazla rijitlik gösterirler, bu da yapısal olmayan elemanların hasar riskini azaltır. Eurocode 8 orta şiddetli depremlerde  $0,004 h$ 'a eşit ötelenmeye izin vermektedir. Bu gereklilik, çok şiddetli yer hareketlerinde bile Şekil 5.1a'daki taşıyıcı sistem tarafından kolaylıkla yerine getirilebilir.

Ara kirişleri basit/mafsallı bağlantılı olan Şekil 5.1a'daki yapısal sistem, orta düzeyde enerji sönümleme kapasitesine sahip olmasına rağmen, klasik çözümden çok daha gelişmiş bir sistemdir. Çünkü, binanın en üst katındaki maksimum yer değiştirme ile birlikte binanın en alt katındaki çaprazlara ve kolonlara etkileyen maksimum eksenel kuvvetler azalmaktadır. Şekil 5.1e'deki yapısal sistem, moment aktaran çerçevelere benzer şekilde davranır ve Şekil 5.1a'daki yapısal sistemle karşılaştırıldığında bu sistem, şiddetli deprem etkileri altında makul şekilde artan yüksek enlemesine deforme olabilme özelliğine sahiptir. Fakat bu sistem, orta şiddetli deprem etkileri altında yeterli rijitlik sağlayabilmektedir [3].

Yukarıdaki sonuçlardan yola çıkılarak; çeşitli değerlerde rijitlik ve sünekliğe sahip, klasik merkezi çaprazlı çelik çerçeveler ile moment aktaran çerçeveler arasında farklı davranışlara ve özelliklere sahip yeni taşıyıcı sistem tipolojileri/ara tipolojiler tanımlanabilir. Farklı sismik özelliklere sahip bu yapısal sistemler, orta kolonlar B ve C arasındaki mesafe ( $b$  mesafesi) değiştirilerek elde edilebilir (Şekil 5.2).

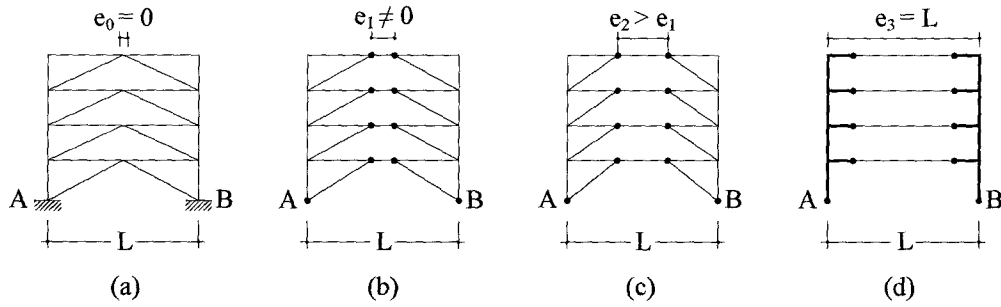


Şekil 5.2 İki merkezi çaprazlı çelik çerçeveden yola çıkılarak  $b$  mesafesinin değiştirilmesiyle elde edilen yapısal sistemler [3]

$b_0 = 0$  durumu büyük rijitliğe ( $S_0$ ) ve çok zayıf yapısal sünekliğe ( $D_0$ ) sahip klasik rijit merkezi çaprazlı çelik çerçeveye (Şekil 5.2a) karşılık gelmektedir. Orta kolonlar B ve C arasında belli bir mesafe ( $b_1 \neq 0$ ) bırakılarak elde edilen Şekil 5.2b'deki sistem iyi rijitlik ( $S_1 < S_0$ ) ve orta süneklik ( $D_1 > D_0$ ) sağlar. Şekil 5.2c'deki  $b_2 > b_1$  durumunda ise rijitlik azalır ( $S_2 < S_1$ ) ve süneklik artar ( $D_2 > D_1$ ). Sonuç olarak,  $b_3 = L$  olduğunda Şekil 5.2d'deki orta rijitliğe ( $S_3 < S_2$ ) ve daha iyi sünekliğe ( $D_3 > D_2$ ) sahip moment aktaran çerçeve sistemi elde edilir. Şekil 5.2'deki yapısal sistemlerin değişimi göz önüne alındığında, aşağıdaki özellikler üzerinde durulabilir:

- Merkezi çaprazlı çelik çerçevenin zayıf sünekliğinin rasyonel biçimde geliştirilmesi, sistemin kendisinin sünekleştirilmesiyle sağlanamaz, bu ancak Şekil 5.2b ve Şekil 5.2c'de olduğu gibi kolonlardan daha az güçlü kirişlerle bağlanan ve yapıya süneklik kazandıran iki veya daha fazla rijit merkezi çaprazlı çelik çerçeve alt sistemiyle sağlanabilir.
- Şekil 5.2'de önerilen yapısal sistemlerin elde edilmesi, çok rijit merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden (Şekil 5.2a), çok sünek moment aktaran çerçevelere (Şekil 5.2d) kadar çok büyük yapısal çeşitlilik olanağı sağlar.

Aynı değişim, tek açıklıklı klasik ters V merkezi çaprazlı çelik çerçeveden yola çıkılarak gözlenebilir (Şekil 5.3). Şekil 5.3’de görüldüğü gibi tek açıklıklı merkezi çaprazlı çerçeve (Şekil 5.3a), dışmerkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemlerinden (Şekil 5.3b ve Şekil 5.3c) geçerek, moment aktaran çerçeveye (Şekil 5.3d) dönüşmektedir.



Şekil 5.3 Bir ters V çaprazlı çerçeveden yola çıkılarak e mesafesinin değiştirilmesiyle elde edilen yapısal sistemler [3]

Sonuç olarak, rasyonel olarak dengelenmiş rijitlik ve süneklığe sahip hem merkezi çaprazlı hem de dışmerkezi çaprazlı çelik çerçeve alt sistemleri klasik tipolojilerin yerine karma sistemler şeklinde kullanılabilirler.

## 5.2. Çelik Taşıyıcı Sistemlerle İlgili Yönetmeliklerin Karşılaştırılması

Son yüzyılda, deprem bölgelerinde bulunan ülkeler kendi deprem yönetmeliklerini hazırladığı için, çok fazla sayıda deprem yönetmeliği geliştirilmiştir.

Depreme dayanıklı çelik yapılar için üç ana coğrafi alanda deprem yönetmelikleri bulunmaktadır:

- Avrupa (ECCS Tavsiyeleri ve Eurocode 8)
- Amerika (AISC-LRFD ve UBC)
- Asya (AIJ-Japon Yönetmeliği)

Bu yönetmelikler arasında kapsamlı bir karşılaştırma yapmak kolay olmamakla birlikte bazı özel durumları belirtmek mümkündür. Moment aktaran çerçeveler ele alındığında, Amerikan ve Avrupa yönetmelikleri arasındaki en temel fark Amerikan yönetmeliğinde moment aktaran çerçevelerin sıradan moment aktaran çerçeveler ve özel moment aktaran çerçeveler diye iki gruba ayrılarak sınıflandırılmasıdır. Özel

moment aktaran çerçeveler; göçme modunu, yapısal sünekliği ve enerji sönmleme kapasitesini kontrol altına almak amacıyla bazı sınırlayıcı boyutlandırma ve detaylandırma kuralları göz önüne alınarak tasarlanırlar. Avrupa yönetmeliklerinde ise, moment aktaran çerçeveler herhangi bir sınıflandırmaya tabi tutulmamıştır.

Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü'nün/Taban Kesme Kuvveti'nin hesaplanmasında kullanılan taşıyıcı sistem davranış katsayılarının, taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeyi göz önüne alınarak yönetmeliklerde farklı değerlerde göz önüne alınması yönetmelikler arasında göreceli bir karşılaştırma yapma olanağı sağlamaktadır [3].

1998 Türk Deprem Yönetmeliği'nde (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü ( $V_t$ ), Denklem (5.1), Denklem (5.2), ve Denklem (5.3) ile belirlenmektedir [10]:

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \quad (5.1)$$

$$0 \leq T \leq T_A \quad R_a(T) = 1.5 + (R-1.5) T / T_A \quad (5.2)$$

$$T > T_A \quad R_a(T) = R \quad (5.3)$$

$V_t$  = Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü/Taban Kesme Kuvveti

$W$  = Binanın, hareketli yük katılım sayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı

$A(T)$  = Spektral İvme Katsayısı

$R_a(T)$  = Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

$R$  = Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı

$T$  = Bina doğal titreşim periyodu [s]

$T_A$  = Spektrum karakteristik periyodu [s]

Diğer yönetmeliklerde ise taban kesme kuvveti ( $V$ ), Denklem (5.4) ile belirlenmektedir:

$$V = W S / q \quad (5.4)$$

$V$  = En son limit durumu için taban kesme kuvveti

$S$  = Maksimum elastik spektral ivme katsayısı

$q$  = Sünek moment aktaran çerçeveler için yapı davranış katsayısı

$W$  = Ölü ve kısmi hareketli yük

Tablo 5.1’de farklı yönetmeliklerdeki tasarım parametreleri arasındaki karşılaştırma gösterilmiştir. Taban kesme kuvvetleri arasındaki farkın en şiddetli deprem etkileri için elastik spektral ivme katsayıları arasındaki farklılıklardan çok az etkilendiği görülmektedir (en fazla 0.875 ile 1.120 arasında değişir). Bu yüzden taban kesme kuvvetlerini en fazla binanın ağırlığı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı etkilemektedir. Sonuç olarak; binanın ağırlığı arttıkça, Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü/Taban Kesme Kuvveti artmaktadır [3].

Tablo 5.1 Farklı yönetmeliklerdeki tasarım parametreleri arasındaki karşılaştırma [3]

| Yönetmelik | V/W   | S/g   | q    |
|------------|-------|-------|------|
| ECCS       | 0.131 | 1.050 | 8    |
| Eurocode 8 | 0.146 | 0.875 | 6    |
| AISC       | 0.141 | 1.120 | 7.96 |
| UBC        | 0.138 | 1.100 | 8    |
| AIJ        | 0.250 | 1.000 | 4    |

Bu farklılığın temel nedeni yapı davranış katsayısı  $q$  ile ilgili parametreler için kullanılan değerlerdir. Yapı davranış katsayıları arasındaki ilişkiler, sırasıyla AISC-LRFD, UBC ve Japon Yönetmeliğinde (AIJ) kullanılan benzer katsayılar ( $K$ ,  $R_w$  ve  $D_s$ ) vasıtasıyla sağlanabilmektedir:

$$q = 5.33 / K \quad (\text{AISC-LRFD için}) \quad (5.5)$$

$$q = R_w / 1.5 \quad (\text{UBC için}) \quad (5.6)$$

$$q = 1 / D_s \quad (\text{AIJ-Japon Yönetmeliği için}) \quad (5.7)$$

$K = 0.67$ ,  $R_w = 12$  ve  $D_s = 0.25$  katsayıları sırasıyla LRFD, UBC ve AIJ için 7.96, 8 ve 4  $q$  değerlerini vermektedir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ( $R$  ve  $q$ ) artınca, deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T_1)$  de artmaktadır ve bu durumda  $V_t$  azalmaktadır. Taban kesme kuvveti/eşdeğer deprem yükü  $V_t$  azalınca boyutlandırma daha az deprem yüküne göre yapılmış olur. Japon Yönetmeliği’nde daha küçük yapı davranış katsayısı ( $q = 4$ ) kullanıldığından, diğer yönetmeliklerdeki spektral ivme katsayılarına yakın değerler alındığında, Japon Yönetmeliği’nde daha büyük taban kesme kuvvetleri/toplam eşdeğer deprem yükleri elde edilir [3]. Türk Deprem Yönetmeliği’nde sünek moment aktaran çerçeveler için  $R$  değerleri verilmemiştir.

Ancak, süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveli binalar/sistemler için verilen R değerleri 6 ile 8'dir. Bunun yanında, deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T)$ 'nin değeri, Denklem (5.2) ve Denklem (5.3)'de gösterildiği gibi T ve  $T_A$ 'ya bağlı olarak değişmektedir. Diğer yönetmeliklerdeki q değerine karşılık gelen  $R_a(T)$ 'nin değeri ancak  $T > T_A$  durumunda 6 ile 8 olmaktadır. Bu anlamda, AIJ Japon Yönetmeliği en güvenli ve en tutucu yönetmeliktir. Diğer yönetmeliklerdeki q değerleri (Türk Deprem Yönetmeliği'ndeki R değerleri) Japon Yönetmeliği'ndeki q değerlerine göre büyük olduklarından yapıya etkileyen eşdeğer deprem yükü Japon Yönetmeliği'ne göre az çıkmaktadır ve bu durumda boyutlandırma daha az deprem yüküne göre yapıldığından Japon Yönetmeliği'ne göre daha güvensiz ve emniyetsiz bir durum ortaya çıkmaktadır. Tablo 5.2'de Türk Deprem Yönetmeliği'nde çelik binalar için kullanılması öngörülen taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) yer almaktadır.

Tablo 5.2 Çelik binalar için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları (R) [10]

| ÇELİK BİNALAR                                                                                                                                     | Süneklik Düzeyi Normal Sistemler | Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| (1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....                                                                               | 5                                | 8                                |
| (2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....                         | 4                                | 6                                |
| (3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar                              |                                  |                                  |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu.....                                                                                                        | 3                                | -                                |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....                                                                                                      | -                                | 7                                |
| (c) Betonarme perde durumu.....                                                                                                                   | 4                                | 6                                |
| (4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar |                                  |                                  |
| (a) Çaprazların merkezi olması durumu.....                                                                                                        | 4                                | -                                |
| (b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....                                                                                                      | -                                | 8                                |
| (c) Betonarme perde durumu.....                                                                                                                   | 4                                | 7                                |

Bu farklılıklar göz önüne alındığında, yapı davranış katsayısı (R ve q) değerlerinin sadece mühendislik muhakemesiyle değil, maliyet-yarar kriterlerine göre de belirlenmesi gerektiği kaçınılmaz bir gerçektir. Sonuç olarak, Japonya'daki depreme dayanıklı çelik binalar, Avrupa ve Amerika'dakilerle karşılaştırıldıklarında daha ağır olmalarına rağmen depremlere karşı daha güvenli ve dayanıklıdır [3].

## 6. DEPREME DAYANIKLI ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM ÖNERİLERİ

Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemler seçilirken kolay uygulanabilirlik, maliyet /ekonomi, hafiflik ve deprem bölgelerine uygunluk gibi kriterler göz önüne alınmaktadır. Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistemler konusunda yeterli alt yapıya (kalifiye iş gücü, ekonomik çelik kesitlerin üretildiği fabrikalar, teknik bilgi) sahip olmayan ülkemizde bu sistemler seçilirken/değerlendirilirken yukarıdaki kriterler, özellikle de maliyet kriteri göz önüne alınmalıdır. Çünkü ülkemizde, çelik taşıyıcı sistemlerin çok maliyetli olduğu ön yargısı mal sahiplerinin ve uygulamacıların çelik taşıyıcı sistemleri kullanmalarını olumsuz yönde etkileyen en önemli nedenlerin başında gelmektedir. Bu nedenle; maliyeti en az olan, kolay uygulanabilen/fazla işçilik gerektirmeyen ve en hafif olan depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistem, ülkemiz koşullarına en uygun çelik taşıyıcı sistem olacağından binalarda/konutlarda kullanılabilir.

Moment aktaran çerçeveler, sahip oldukları çok sayıda enerji sönümleyici bölge /eleman uçlarında oluşan plastik mafsallar tarafından oluşturulan bölgeler sayesinde yeterli enerji sönümleme mekanizmasına sahiptirler. Ayrıca bu çerçevelerin, depreme karşı yeterli dayanıma ve mükemmel süneklığe sahip oldukları bilinmektedir. Moment aktaran çerçeveler çok sünek olduklarından çok az rijitliğe sahiptirler, bu yüzden yatay yüklerin etkisi altında moment aktaran çerçevelerde katlar arası ötelenmeler fazla olmaktadır. Özellikle yüksek binalarda, katlar arası ötelenmelerin sınırlandırılması/azaltılması için gerekli olan rijitliğin artırılmasının moment aktaran çerçevelerde ekonomik olmadığı bilinmektedir.

Rijit moment aktaran çerçeve bağlantılarının, özellikle de şantiye-kaynaklı uzay moment aktaran çerçeve bağlantıların yapım maliyetleri oldukça yüksek olduğundan yapıda daha az sayıda moment bağlantısının/rijit bağlantının kullanıldığı sadece birkaç rijit açıklıklı veya çevre moment aktaran çerçevelerin kullanılması maliyeti bir ölçüde azaltmaktadır. Fakat; büyük depremler sonucu, çevre ve sadece birkaç rijit açıklıklı moment aktaran çerçevelerde, uzay moment aktaran çerçevelere nazaran daha fazla hasar gözlenmiştir. Bunun yanında, sadece birkaç rijit açıklıklı moment

aktaran çerçevelerin rijit açıklıklarındaki elemanlar ve bağlantılar büyük boyutlu oldukları için taşıyıcı sistem çok ağır olmaktadır.

Özellikle soğuk havalarda, şantiyede kaynak yapılmasının ve şantiye denetiminin çok pahalı ve zor olduğu durumlarda; fabrika-kaynaklı, şantiye-bulonlu kolon-ağacı (column-tree) moment aktaran çerçevelerin kullanılması oldukça ekonomik olmaktadır. Çünkü fabrikada kaynak yapılması, yüksek kaliteli kaynak elde edilmesini sağlamasının yanında denetimin oldukça kolay olmasını sağlamaktadır. Bulonlama işleminin şantiyede yapılması ise, kötü hava koşullarından bağımsız inşaat yapabilme olanağı sağladığından inşaat süresi azalmaktadır ve bunun sonucu olarak maliyetler de azalmaktadır.

Düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçevelerde, düzlem kafes kirişleriyle büyük açıklıklar geçildiğinden, büyük açıklıklarda sehim yapmayacak türden kiriş kesitlerinin kullanılması gerekir. Kirişlerin kolonlardan daha güçlü olduğu/güçlü kiriş-daha az güçlü kolon prensibine göre tasarlanan bu çerçevelerde, düzlem kafes kirişi-kolon bağlantıları büyük momentlere ve yüklere maruz kaldığından bağlantılardaki kaynaklar genellikle kırılmaktadır. Kirişler kolonlardan daha güçlü olduğu için plastik mafsallar kirişlerde oluşmaz, daha çok kolonlarda veya bağlantılarda oluşur. Ayrıca, düzlem kafes kirişleri ve gövde boşluklu kirişler eğilme elemanı olarak etkisiz olduklarından yüksek depremselliğe sahip bölgeler için pek uygun değildir. Binanın ağırlığı arttıkça düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeveler daha fazla yatay yüke maruz kalacağından, kolon-düzlem kafes kiriş bağlantıları daha fazla zorlanır. Bu yüzden, düzlem kafes kirişli moment aktaran çerçeveler çok katlı bina yapımına müsait değildir.

Çelik moment aktaran çerçevelerde; kolonların panel bölgeleri çok büyük momentlere maruz kaldıklarından dolayı bu bölgelerde, gövde rijitleştirici levhaların kullanılması gerekmektedir. Yarı-rijit kolon-kiriş bağlantılarının kullanılması bu gerekliliği ortadan kaldırırsa da yarı-rijit bağlantıların yapılması, esnek/basit bağlantıların yapılmasına göre daha fazla işçilik gerektirdiğinden moment aktaran çerçeveler çok ekonomik olmamaktadır.

Moment aktaran çerçevelerin bağlantılarının moment aktarabilmesi için özel bağlantı elemanları ve detaylar kullanıldığından işçilik oldukça fazla olmaktadır. Ayrıca özel bağlantılarda kullanılan yapısal çelik elemanlardan ve levhalardan (kesme bağlantı

levhaları, gövde rijitleştirici levhalar) dolayı maliyet artmaktadır. Ayrıca, bağlantıların moment aktarabilmesi için çerçeve kolonlarının ve kirişlerinin büyük kesitlere sahip olmaları, moment aktaran çerçevelerin ağır olmalarına neden olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, moment aktaran çerçevelerin ülkemiz koşulları için çok uygun olmadıkları görülmektedir.

Çelik levha perde duvarlı çerçeveler oldukça sünektirler ve büyük enerji sönümleme kapasitesine sahiptirler. Çelik levha perde duvar çok rijit olduğundan, bu sistemde ötelenme az olmaktadır. Bunun yanında; çelik levha perde duvarlarda kapı ve pencere boşluklarının, boşluk etrafı rijitleştirilerek de bırakılabilmesi sistemin rijitliği açısından daha sağlıklı olmaktadır. Fakat, yatay ve düşey rijitleştiricileri/sürekli düz şeritleri boşluklu çelik levha perde duvarlara kaynaklamak maliyetli ve çok işçilik gerektiren bir uygulama olduğu için bu sistemler de ülkemiz koşullarına pek uygun değildir.

Betonarme ile kompozit yapısal çelik çerçeveler de çelik levha perde duvarlı çerçeveler gibi ülkemiz koşullarına uygun değildir, çünkü kompozit bağlantı gereklilikleri ve bağlantılarda kullanılan özel detaylar işçiliği artırdığından maliyeti de oldukça artırmaktadır. Ayrıca, prefabrike elemanların kullanılmadığı durumlarda kalıplamaya ihtiyaç olduğundan işçilik ve inşaat süresi önemli ölçüde artmaktadır. Betonarme elemanlarla yapısal çelik elemanların birlikte kullanılmasından dolayı bu taşıyıcı sistemler, çelik çaprazlı çerçevelere nazaran daha ağır olmaktadır.

Yapısal çelik elemanların beton içine alındığı durumlarda, çelik elemanlarda oluşan hasarların gözlenememesi, betonarme ile kompozit yapısal çelik taşıyıcı sistemlerin en büyük dezavantajıdır. Aynı şekilde, betonla doldurulmuş çelik tüp elemanların kullanıldığı taşıyıcı sistemlerde, çelik sarfiyatı fazla olduğundan maliyet artmaktadır. Ayrıca, çelik tüplerin içinde kalan betonun durumunun bilinememesi, yani oluşan hasarın gözlenememesi, habersiz göçmelere neden olabileceğinden bu sistemlerin kullanılması tavsiye edilmemektedir.

Dışmerkezi çaprazlı çerçevelerde enerji sönümleyen plastik mafsalların sadece bağlantı kirişlerinde oluşması istenmektedir. Bağlantı kirişindeki eğilme ve kesme deformasyonları nedeniyle dışmerkezi çaprazlı çerçevelerde gözlenen deformasyonlar, merkezi çaprazlı çerçevelerde gözlenen deformasyonlardan daha fazla olmasına rağmen, bağlantı kirişinin kısa olması nedeniyle dışmerkezi çaprazlı

çerçevelerde ötelenmeler az olmaktadır. Dışmerkezi çaprazlı çerçeveler moment aktaran çerçevelerden daha hafif, merkezi çaprazlı çerçevelerden daha sünektir. Dışmerkezi çaprazlı çerçeveler; bağlantı kirişleri çok kısa olmadığında, moment aktaran çerçevelerden daha iyi süneklik göstermektedirler. Moment aktaran çerçevelerden ve merkezi çaprazlı çerçevelerden daha fazla enerji sönümleme kapasitesine sahip olan dışmerkezi çaprazlı çerçevelerin bağlantı kirişi gövdelerinin çaprazların birleştiği noktalarda çift taraflı olarak rijitleştirilmesi gerektiğinden işçilik artmaktadır. Ayrıca dışmerkezi çaprazlı çerçevelerin, moment aktaran çerçeveler ile merkezi çaprazlı çerçevelerin birlikte düşünüldüğü çerçeveler olması maliyeti önemli ölçüde artırmaktadır. Bununla birlikte, çaprazlı çerçevelerde pencere ve kapı boşluklarının istenen boyutlarda bırakılamaması, mimari tasarımı olumsuz yönde etkilemektedir.

Merkezi çaprazlı çerçevelerdeki kolon-kiriş bağlantıları mafsallı olarak yapılabildiğinden bağlantılardaki özel detaylar diğer çelik taşıyıcı sistemlere nazaran azalmaktadır, yani merkezi çaprazlı çerçevelerde moment aktaran çerçevelerde kullanılan özel bağlantı elemanlarının kullanılmasına gerek yoktur. Bu durumda, işçilik oldukça azaldığından ve merkezi çaprazlı çerçevelerin kolon ve kirişleri moment aktaran çerçevelerin kolon ve kirişlerinden daha küçük boyutlu olduklarından maliyet önemli oranda azalmaktadır. Daha küçük boyutlu elemanlar kullanılmasından dolayı diğer yapısal çelik taşıyıcı sistemlerden daha hafif olan merkezi çaprazlı çerçeve sistemleri, K merkezi çaprazlı çerçeveler dışında ülkemiz koşullarına en uygun olan çelik taşıyıcı sistemdir.

Çok hafif olduklarından dolayı depreme karşı dayanıklılığı fazla olan hafif çelik taşıyıcı sistemler/hafif çelik konutlar, 2-3 kattan fazla yapılamadıkları için özellikle büyük kentlerdeki nüfus yoğunluğu ve kent merkezlerindeki arsa sıkıntısı göz önüne alındığında ülkemiz için çok uygun değildir. Ayrıca; hafif çelik taşıyıcı sistemlerin yabancı firmalar tarafından uygulanması bu sistemlerin maliyetini artırmaktadır. Bunun yanında depreme karşı dayanıklılığı fazla olan bu taşıyıcı sistemler, şehir dışı yerleşimlerde uygulanabilirler.

Hafif çelik taşıyıcı sistemler, standart elemanlarla tasarlanan modüler sistemler oldukları için bu sistemlerin kullanılması mimari özgürlükleri oldukça kısıtlamaktadır. Bunun yanında, tasarım süreci gerektirmeyen ve uygulanmaya hazır

hafif elik taşıyıcı sistemli konut tipleri, mühendislerimizin ve mimarlarımızın mesleki becerilerini gösterememelerine neden olmaktadır.

Sonuç olarak; merkezi aprazlı elik çerçeveli taşıyıcı sistemler, hafif ve kolay uygulanabilen/diğer sistemlere göre daha az işçilik gerektiren ekonomik sistemler olduklarından ülkemizdeki çok katlı konut uygulamalarında kullanılabilirler. Ayrıca, şehir dışı yerleşimlerde deprem sonrası inşa edilecek kalıcı deprem konutlarında depreme dayanıklı diğer elik taşıyıcı sistemler imkanlar dahilinde kullanılabilirler. Betonarme taşıyıcı sistemler dışında kullanılabilcek bu alternatif taşıyıcı sistemler ülkemiz koşulları göz önüne alınarak değerlendirildikten sonra, en uygun taşıyıcı sisteme karar verilmesi gerekmektedir. Olayın ekonomik boyutu düşünöldüğünde, kalıcı deprem konutlarında bu taşıyıcı sistemlerin yaygın olarak kullanılması ancak devletin desteği ve teşvikiyle mümkün olabilir.



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Marmara Depremi'nde geleneksel yapım sistemleriyle inşa edilmiş çoğu binanın yıkıldığı, yıkılmayanların ise büyük hasarlara maruz kaldıkları görülmüştür. Bunun sonucu olarak, depreme dayanıklı alternatif yapım sistemleri üzerinde durmak ve bu sistemleri kullanmak zorunlu hale gelmiştir.

Günümüzde, modern malzemelerle inşa edilen binaların göçmesi kabul edilemeyecek bir durumdur. Betonarme ile inşa edilen binaların büyük oranda kötü uygulamalardan ve kalitesiz malzemeler kullanılmasından dolayı yıkıldığı veya büyük hasarlara maruz kaldıkları bilinen bir gerçektir. Bilimsel olmayan inşaat teknikleri kullanıldığı sürece binaların yıkılması ve insanların yaşamlarını kaybetmesi kaçınılmazdır. Diğer tarafta, tam göçmenin nadir olarak gözlemlendiği çelik taşıyıcı sistemli binalar betonarme taşıyıcı sistemli binalara göre depreme karşı daha fazla dayanıma sahiptirler. Çelik taşıyıcı sistemler; birkaç istisna dışında, hafifliklerinden ve sünekliklerinden dolayı en şiddetli depremlere, önemli hasarlara uğramaksızın dayanabilmektedirler.

Binaların deprem yüklerine en az seviyede maruz kalmasını sağlamak için alınabilecek en etkili önlemin binayı olabildiğince hafif tasarlamak olduğuna ve çelik taşıyıcı sistemlerin betonarme taşıyıcı sistemlerden daha hafif oldukları için depreme daha dayanıklı olduklarına daha önce değinilmişti. Bunun yanında, çelik taşıyıcı sistemlerin tasarlanmasında kullanılan modern tasarım yaklaşımları/ilkeleri, şiddetli depremlerde çok mal ve can kaybına neden olabilecek tam göçme modunu engelleme ve deprem enerjisini taşıyıcı sistem elemanlarıyla sönmüleme ilkeleri üzerinde durmaktadır. Bu ilkeleri hayata geçirebilmek ve depreme dayanıklı binalar tasarlamak için taşıyıcı sistemlerde kullanılacak en uygun malzemenin çelik olduğu deneysel çalışmalarla ve nitelikli uygulamalarla kanıtlanmıştır.

Ülkemizde çelik; büyük endüstriyel yapılar dışında, konutlarda ve iş merkezlerinde hemen hemen hiç kullanılmamaktadır. Son yıllarda çelik taşıyıcı sistemler/hafif çelik konut teknolojileri sektöre bazı yabancı kökenli firmaların yardımıyla girse de, çelik taşıyıcı sistemler yaygın olarak kullanılmamaktadır. Deprem bölgeleri için en uygun

olan hafif çelik konut teknolojilerinin ve çelik taşıyıcı sistemlerin yaygın olarak kullanılmamasının başlıca nedenleri; eğitim ve bilgi eksikliğinden kaynaklanan çekingenlik, çelik yapım sistemlerinin pahalı olduğu ön yargısına saplanıp kalan mal sahipleri ve uygulamacılar ve binalarda çelik iskelet kullanılmadığı için uygun ekonomik kesitlerde ve boyutlarda yapısal çelik profilleri üretmeyen ve üretmek için yatırım yapmayan çelik üreticileridir.

Çelik yapı elemanları fabrikalarda üretildikleri için, inşaat, olumsuz hava koşullarından çok fazla etkilenmemektedir ve standart yapı elemanları kullanılması sonucu inşaat süresinin yarıdan aza inmesi büyük ekonomi sağlamaktadır. İnşaatın bir an önce bitirilip binadan daha önce yararlanmanın getireceği ekonomik avantajlar ve toplam maliyetin %5'i ile %20'si arasında değişen çelik taşıyıcı sistem maliyeti göz önüne alındığında çelik taşıyıcı sistemlerin düşünüldüğünün aksine ekonomik olduğu görülmektedir.

Tümüyle endüstriyel bir ürün olan çeliğin kalitesi her aşamada kontrol edilerek belgelenmektedir. Ayrıca, beton içine gizlenmeyen çelik taşıyıcı sistemlerin - kompozit uygulamalar hariç - yönetmeliklere ve projeye uygunluğu ve kalitesi her zaman kontrol edilebilmektedir. Deprem sonrasında hasar durumuna göre çelik taşıyıcı sistemlerin deforme olmuş/hasar görmüş elemanları değiştirilerek, binaların yıkılmadan kullanılmaya devam edilebilmesi deprem bölgelerindeki binalarda olması gereken önemli bir özelliktir.

Büyük kentlerde, nüfus yoğunluğu nedeniyle inşa edilen konutlar genelde çok katlı konutlardır. Yeni binaların inşası için arsa bulmanın zor olduğu kent merkezlerinde, elemanlarının eksenel yük taşıma kapasiteleri ve dayanımları en fazla 2-3 kat yapabilmeye müsait olan hafif çelik konutların yaygın olarak inşa edilmeleri düşünülemez. Bu durumda, ömürlerini tamamlamış olan eski binaların yerine yatay yük taşıyıcı sistemlere sahip çok katlı çelik binalar inşa edilmelidir. Yeni yapılacak olan çok katlı binalarda, ülkemiz koşullarına en uygun olan merkezi çaprazlı çelik çerçeveler kullanılabilir. Hafif çelik konutlarsa şehir dışı yerleşimlerde daha kolay inşa edilebilirler.

İnsan hayatının her şeyden önemli olduğu gerçeği göz ardı edilmeksizin ve işin ekonomik boyutuna bakılmaksızın çelik taşıyıcılı binaların inşası devlet tarafından desteklenmelidir. Çeşitli standartlar getirmekle ve fiyat ayarlamalarıyla devlet

müdahalesinin inşaat sektörüne bu konuda önemli artılar kazandıracağı bir gerçektir. Bunun yanında; en önemli sorunlardan biri olan kalifiye eleman yetiştirilmesine önem verilmeli, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın ve meslek odalarının bünyesinde yapılacak, kapsamlı yönetmeliklerin ve yayınların hazırlanması, seminerlerin ve panellerin düzenlenmesi gibi çalışmalarla çelik taşıyıcı sistemler konusunda müteahhitler, mimarlar ve mühendisler bilinçlendirilmeli, eğitilmeli ve teşvik edilmelidir.



## KAYNAKLAR

- [1] <http://www.eqe.com/publications/revf94/steel-side.html>
- [2] **Gürel, S.**, 2000. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik ile Eurocode8'in çelik yapılar için proje uygulamalı karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Mazzolani, F.M.**, 1995. Design of seismic resistant steel structures, *Proceedings 10th European Conference on Earthquake Engineering*, Vienna, Austria, 28 August-2 September, Volume 3, 1551-1559.
- [4] <http://www.geocities.com/awhitecar/systems.html>
- [5] **Whittaker, A.**, 1998. Structures III Lesson Notes, [www.civil.buffalo.edu](http://www.civil.buffalo.edu), University of Buffalo, New York.
- [6] **Astaneh-Asl, A.**, 1995. Seismic design of bolted steel moment-resisting frames, *Steel Tips*, pp. 1-76, Structural Steel Educational Council, California.
- [7] **ANSI/AISC 341-02**, 2002. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction, Inc.*, Chicago.
- [8] **Arun, G.**, 2002. Çelik yapının sismik tasarımı, *mimar.ist*, **5**, 88-94.
- [9] **Astaneh-Asl, A.**, 1998. Seismic behavior and design of gusset plates, *Steel Tips*, pp. 1-3, Structural Steel Educational Council, California.
- [10] **ABYYHY**, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, İzmir.
- [11] **Astaneh-Asl, A.**, 2001. Seismic behavior and design of steel shear walls, *Steel Tips*, pp. 9-70, Structural Steel Educational Council, California.
- [12] **Yamaç, Z.**, 1998. Çok katlı çelik yapılarında döşeme türü kararı etkenleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **Astaneh-Asl, A.**, 2002. Seismic behavior and design of composite steel plate shear walls, *Steel Tips*, pp. 1-44, Structural Steel Educational Council, California.
- [14] **NASFA**, 2000. Prescriptive Method for Residential Cold-Formed Steel Framing, *North American Steel Framing Alliance*, USA.

[15] [www.tepeyp.com.tr](http://www.tepeyp.com.tr)

[16] [www.alfacelik.com](http://www.alfacelik.com)

[17] [www.simplebuilding.com](http://www.simplebuilding.com)



## ÖZGEÇMİŞ

Baran ÇAĞLI, 1978’de Diyarbakır’da doğdu. 1996 yılında İstanbul Kadıköy Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 1997 yılında başladığı İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi’nden 2001 yılında beşincilikle mezun oldu. 2001 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nün Yapı Bilgisi programında yüksek lisansa başladı. Yüksek lisans dönemi boyunca çeşitli bürolarda çalıştı. 2003 yılından beri, Şakarer İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş. bünyesinde birçok şantiyede görev alan Baran ÇAĞLI, aynı şirkette çalışmaya devam etmektedir.

