

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK YAPILARDA
ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Murat Doğan ÇELİK
502991172**

**Anabilim Dalı: Mimarlık
Programı: Yapı Bilgisi**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Lemi YÜCESOY

MAYIS 2003

**YÜKSEK YAPILARDA
ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Murat Doğan ÇELİK
502991172**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 02 Mayıs 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Mayıs 2003**

**Tez Danışman : Doç. Dr. Lemi YÜCESOY
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Bilge IŞIK (İ.T.Ü.)
Doç. Dr. Canan TAŞDEMİR (İ.T.Ü.)**

MAYIS 2003

ÖNSÖZ

Nasıl bitirebileceğim?, sorusuyla başladığım bu çalışmamda hastalığına rağmen, büyük fedakarlıklarla beni yönlendiren ve tezin ortaya çıkmasında yadsıyamayacağım emekleri bulunan tez danışmanın Sayın Doç. Dr. Lemi Yücesoy'a teşekkür eder, acil şifalar dilerim. Bu sıkıntılı zamanlarında, beni evlerinde ağırlayan tez danışmanımın anne ve babasına da teşekkür ederim.

Bu yoğun çalışmamda zamanını ve bilgilerini benden eksik etmeyen saygıdeğer hocam Sayın Doç. Dr. Bilge Işık'a da teşekkür ederim.

Ayrıca, uzun süreli bu çalışmalarım sırasında bana gösterdiği samimi destek ve tezimin bu hale gelmesinde büyük katkısı olan sevgili arkadaşım ve meslektaşım Mimar Hasan Ünver'e, bana katlandıkları ve kaprislerime gösterdikleri sabır için dostlarım, Av. Hakan Dal'a, öğretmen Yalkın Polat'a, kimyager Volkan Abak'a, ortağım Yalçın Polat'a, ingilizce çevirilerde büyük yardımı olan Ömer Bezci'ye, meslektaşlarım Kaan Çilingiroğlu, Fikret Tokiçin, Selman Geçim'e ve emeği geçen herkese ne kadar teşekkür etsem azdır.

Ama sanırım, en özel teşekkürü aileme etmek gerekiyor. En zor anlarımda bile yanımda oldukları için anneme, babama, ağabeyime ve kız kardeşime en içten teşekkürlerimle...

MAYIS 2003

MURAT DOĞAN ÇELİK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	3
1.2. Kapsam	3
1.3. Yöntem	4
2. YÜKSEK YAPILAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	5
2.1. Tanım	5
2.2. Dünyadaki Yüksek Yapıların Gelişimi	6
2.3. Türkiye’deki Yüksek Yapıların Gelişimi	8
3. ÇELİK VE ÇELİK TAŞIYICILAR	10
3.1. Çeliğin Malzeme Özellikleri	10
3.1.1. Malzeme Olarak Çelik	10
3.1.2. Çeliğin Yapısı	11
3.1.3. Çeliğin Üretimi	11
3.2. Çelik Yapı Bileşenleri	12
3.2.1. Hadde Ürünleri	12
3.2.1.1. Profiller	12
3.2.1.2. Lamalar	13
3.2.1.3. Levhalar	13
3.2.2. Döküm Ürünleri	13
3.3. Çelik Bağlantı Elamanları	14
3.3.1. Perçinli Birleşimler	14
3.3.2. Bulonlu (Civatalı) Birleşimler	15
3.3.3. Kaynaklı Birleşimler	16

3.4. Çelik Taşıyıcı Elamanlar	17
3.4.1. Kolonlar	18
3.4.2. Kirişler	18
3.4.3. Döşemeler	19
4. YÜKSEK YAPILARDA ÇELİK KULLANIMI	21
4.1. Yüksek Yapılarda Çelik Kullanımının Tarihçesi	21
4.2. Yüksek Yapılarda Çelik Kullanımının Avantajları	23
4.2.1. Çeliğin Planlama Açısından Avantajları	23
4.2.2. Çeliğin Taşıyıcılık Açısından Avantajları	24
4.2.3. Çeliğin Uygulama Açısından Avantajları	25
4.3. Yüksek Yapılarda Çelik Kullanımının Dezavantajları	26
5. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER	28
5.1. Çerçeve Sistemler	29
5.1.1. Rijitleştirilmiş Çerçeveler	30
5.1.1.1. Moment Dayanımlı Rijit Çerçeve	31
5.1.1.2. Çaprazlı Çerçeve	33
5.1.2. Çerçevelerin Düzenlenmesi	35
5.1.3. Duvar-Kiriş-Çerçeve Sistemler	37
5.1.3.1. Üst Üste Duvar - Kirişli Sistem	38
5.1.3.2. Şaşırtmalı Duvar - Kirişli Sistem	38
5.1.4. Çerçeve Sistemlere İlişkin Proje Örneği ve Açıklaması	39
5.2. Çerçeve ve Perdeli Sistemler	41
5.2.1. Rijit Çerçeve ve Çekirdek Sistemler	43
5.2.2. Düşey Kafes Kirişli Sistemler	44
5.2.3. Yatay Kafes Kirişli Çerçeve ve Çekirdekli Sistemler	45
5.2.3.1. Yatay Kafes Kiriş Elemanlarının Sağladığı Avantajlar	47
5.2.4. Çerçeve ve Perde Duvarlarının Yapıda Birlikte Çalışması	48
5.2.5. Çerçeve-Perde Duvarlı Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları	49
5.3. Çekirdekli Sistemler	52
5.3.1. Çekirdeklerin Düzenlenmesi ve Çalışma Şekilleri	53
5.3.2. Merkezi Çekirdekli Sistemler	54
5.3.2.1. Çekirdek ve Konsol Döşemeli Sistem	54
5.3.2.2. Çekirdek ve Asma Sistem	55
5.3.3. Çekirdekli Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları	58
5.4. Tübüler Sistemler	60
5.4.1. Tüplerin Düzenlenmesi ve Çalışma Şekli	62
5.4.1.1. Boş Tüpler	62
5.4.1.2. İç Bağlantılı Tüpler	65
5.4.2. Tübüler Kompozit Yapı	69
5.4.3. Tübüler Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları	72

5.5. Hibrid Sistemler	82
5.5.1. Hibrid Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları	83
5.6. Döşeme Sistemleri	89
5.6.1. Tek Yönde Kiriş Döşeme Sistemi	90
5.6.2. İki Yönde Kiriş Döşeme Sistemi	91
5.6.3. Üç Yönde Kiriş Döşeme Sistemi	91
5.6.4. Döşeme Sistemlerine İlişkin Proje Örneği ve Açıklaması	93
6. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN RİJİTLİK AÇISINDAN İRDELENMESİ	95
6.1. Rijitleştirme İlkeleri	95
6.1.1. Çerçeve Açısından Rijitleştirme İlkeleri	95
6.1.2. Eleman Açısından Rijitleştirme İlkeleri	96
6.1.3. Sistem Açısından Rijitleştirme İlkeleri	97
7. SONUÇLAR	101
KAYNAKLAR	102
ÖZGEÇMİŞ	105

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 6.1.	Çelik taşıyıcı sistemlerde rijitleştirme ilkeleri.....	99
-------------------	--	----

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1.	Kolon kesitleri.....	18
Şekil 3.2.	Kiriş-kiriş birleşimleri.....	19
Şekil 3.3.	Çeşitli döşeme biçimleri.....	20
Şekil 5.1.	Çerçeve yapı.....	29
Şekil 5.2.	Çelik çerçevelerde rijitleştirme.....	31
Şekil 5.3.	Eğilme altında davranış.....	32
Şekil 5.4.	Ortak merkezli çaprazlamalar.....	34
Şekil 5.5.	Ayrık merkezli çaprazlamalar.....	34
Şekil 5.6.	Çaprazlı çerçeve bağlantı detayları.....	35
Şekil 5.7.	Çerçevesel yapı sistemleri.....	36
Şekil 5.8.	Duvar-kiriş çerçeve sistemi.....	37
Şekil 5.9.	Duvar kirişli sistemler.....	39
Şekil 5.10.	US Steel Binası, Pittsburg.....	40
Şekil 5.11.	US Steel Binası çerçeve kesiti.....	41
Şekil 5.12.	Rijit çerçevesel ve perde duvarlı sistem.....	42
Şekil 5.13.	Çerçeve ve perde duvarlı sistemlerde perde duvarların farklı düzenlenmeleri.....	43
Şekil 5.14.	Rijit çerçeve.....	44
Şekil 5.15.	Düşey ve yatay kafeslerin bir arada kullanıldığı yatay yük altında davranış.....	45
Şekil 5.16.	Düşey kafes kirişli yapı.....	45
Şekil 5.17.	Birden fazla yatay kirişin yapının farklı yerlerinde kullanılması, Bond Binası, Sydney, Avustralya.....	46
Şekil 5.18.	Perde ve çerçevesel sistemlerin şekil değiştirme modları.....	49
Şekil 5.19.	One Liberty Center, Philadelphia.....	50
Şekil 5.20.	World Trade Center, Osaka.....	51
Şekil 5.21.	World Trade Center çerçeve şeması.....	52
Şekil 5.22.	Çekirdeğin yeri.....	53

Şekil 5.23.	Merkezi çekirdekli sistemler.....	54
Şekil 5.24.	Konsol yapı.....	55
Şekil 5.25.	Asma sistem.....	57
Şekil 5.26.	Konsol ve asma sistem.....	57
Şekil 5.27.	Grollo Tower, Melbourne.....	58
Şekil 5.28.	Commerzbank, Frankfurt.....	59
Şekil 5.29.	Tüp sistem.....	60
Şekil 5.30.	Tübüler sistemlere ilişkin uygun plan formları.....	61
Şekil 5.31.	Çerçevesi boş tüp ve yatay yük altında gerilme dağılımı.....	63
Şekil 5.32.	Kafesli tüp çeşitleri.....	64
Şekil 5.33.	Çeşitli modüler tüpler.....	67
Şekil 5.34.	Değişik formlarda demet tüpler.....	68
Şekil 5.35.	Sears Tower’da modüler biçimlenme.....	69
Şekil 5.36.	Tübüler kompozit yapı.....	70
Şekil 5.37.	Çelik boru kolonlu kompozit sistem elamanları.....	71
Şekil 5.38.	Çelik cephe kirişli kompozit tüp sistem.....	72
Şekil 5.39.	John Hancock Center, Chicago.....	73
Şekil 5.40.	World Trade Center, New York.....	75
Şekil 5.41.	Amoco Binası, Chicago.....	77
Şekil 5.42.	Sears Tower, Chicago.....	78
Şekil 5.43.	AT&T Corporate Center, Chicago.....	79
Şekil 5.44.	Bank of China, Hong Kong.....	80
Şekil 5.45.	Landmark Tower, Yokohama.....	81
Şekil 5.46.	First Bank Place, Minneapolis.....	83
Şekil 5.47.	Hong Kong Bank, Hong Kong.....	84
Şekil 5.48.	Overseas Union Bank, Singapore.....	85
Şekil 5.49.	First Interstate World Center, Los Angeles.....	86
Şekil 5.50.	First Interstate World Center, tüp ve çekirdek şeması.....	87
Şekil 5.51.	Two Union Center, Washington.....	88
Şekil 5.52.	Jin Mao Binası, Shangai.....	89
Şekil 5.53.	Çelik çerçevesi döşeme.....	90
Şekil 5.54.	Tek yönde kiriş sistemi.....	90
Şekil 5.55.	İki yönde kiriş sistemi.....	91
Şekil 5.56.	Üç yönde kiriş sistemi.....	92

Şekil 5.57.	Döşemelerin altından tesisatın geçirilmesi.....	92
Şekil 5.58.	Citicorp Center, New York.....	93
Şekil 5.59.	Citicorp Center döşeme çerçevesi.....	94

YÜKSEK YAPILARDA ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER

ÖZET

Yapıların yükselmeye başladığı dönemleri izleyen süreçte, sanayi devrimiyle ortaya çıkan çeliğin hafif olması, yapımının kolay ve hızlı olması, daha küçük kesitli taşıyıcılara olanak vermesi sonucu yüksek yapı inşasında kullanılagelmiştir. Bu çalışmada, dünyadaki yüksek yapıların gelişimi ile inşasında kullanılan çelik malzeme ve yüksek yapıların iskeletini oluşturan çeşitli şekillerdeki çelik taşıyıcı sistemler ve bu sistemlerin rijitlik açısından irdelenmesi konuları hakkında araştırma yapılmıştır.

Tezin birinci bölümünde, araştırma yapılan konunun amacı, kapsamı ve bu çalışmada kullanılan yöntem tanımlanmıştır.

İkinci bölümde, yüksek yapı tanımlaması yapılarak ortaya çıkış nedenleri, dünya üzerindeki gelişmeleri anlatılarak bunun Türkiye'deki yansıması örneklerle verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çeliğin malzeme özellikleri tanıtılarak, çeliğin yapı malzemesi olarak üretilmesi, çeşitleri, şekilleri, yapıda kullanılabilmesi için gereken bağlantı elemanları ve taşıyıcı sistemi oluşturan kolon, kiriş, ve döşeme elemanları anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, çeliğin yüksek yapılardaki tarihçesi anlatılarak, yapıda kullanılan çeliğin planlama, taşıyıcılık, uygulama açısından avantajları ve dezavantajları ortaya konmuştur.

Beşinci bölümde, yüksek yapıda kullanılan çelik taşıyıcı sistemlerin uygulama alanları, çalışma şekilleri ve özellikleriyle tanıtılarak, her bir sisteme özgü uygulanmış ve kavramsal proje örneklerine yer verilmiştir.

Altıncı bölümde, çeşitli tipteki çelik taşıyıcı sistemlerde rijitleştirme ilkelerinin düzenlenmesi ve bu ilkelerin “çerçeve”, “eleman” ve “sistem” açısından irdelenerek seçilmesi açıklanmıştır.

Sonuç bölümünde ise yüksek yapı taşıyıcı sisteminde kullanılacak olan elik malzeme konusunda mimar ve mühendislerin göz önünde bulundurması gereken öneriler ve yüksek yapıdaki elik taşıyıcı sistemin farklı eşitleri, uygulama alanları, çalışma şekilleri ve rijitleştirme ilkeleri konuları irdelenerek yüksek katlı elik yapıların tasarlanması ve uygulanmasına katkı sağlanmak istenmiştir.

STEEL STRUCTURAL SYSTEMS AT HIGH RISE BUILDINGS

SUMMARY

A production of the Industrial Revolution, steel, has been widely used in the high-rise buildings since the buildings started to rise; it was light; easy and fast to construct; and flexible enough for small scale structures. This study analysed steel, which is used worldwide in construction and development of the buildings, as a construction material and stability of the systems which are pointed is examined.

The first chapter defined the purpose, scope, and the method used in the research.

The second chapter defined and explained the rationale behind the emergence and development of the skyscrapers worldwide, and their reflections in Turkey via some examples.

The third chapter explained steel's properties, production process, types and forms of steel as a construction material, and steel as a connection element such as column, beam and floor components.

The fourth chapter presented the history of steel construction in skyscrapers, and then discussed the advantages and disadvantages of steel in construction in terms of planning, strength, and application.

The fifth chapter introduced the application areas of steel structural systems in skyscrapers, application methods and characteristics by referring to examples and conceptual projects of each system.

At the sixth chapter, the principles of stabilizing of steel construction systems and selecting the principles with examining the points of “frame”, “element” and “system” are explained.

The conclusion part proposed some ideas to the architects and engineers about steel as an effective material in high-rise buildings; and pointed out that, designing the high rise steel buildings with examining subject of stabilization principles, contribute a great deal to the design and construction of steel buildings.

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun yaşamını sürdürebilmek için karşılamak zorunda olduğu temel gereksinimlerden bir tanesi barınma ihtiyacıdır. Tarihin ilk dönemlerinden beri insanoğlu barınma ihtiyacı ve buna paralel olarak gelişen diğer ihtiyaçları için yapılar yapmış ve teknolojik gelişmelerden faydalanarak günümüze kadar gelinmiştir.

Günümüzde dünya nüfusunun artmasıyla beraber kentlerdeki inşaat alanları azalmış ve sınırlı sayıdaki bu alanlardan maksimum derecede yarar sağlamak zorunluluğu, yerleşim yoğunluğunu yüksek binayla karşılama olgusunu ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla, insanoğlunun teknolojiyi kullanmaya başladığı ilk dönemlerde, belirli bir yüksekliği geçmeyen yapılar, 19. yüzyıl sonlarında düşey sirkülasyon kapasitesini arttıran asansörlerin icadı, çeliğin yapının taşıyıcı sistemlerinde kullanılabilmesi, giydirme cephe sistemlerinde sağlanan gelişmeler gibi, malzemelerde ve ekipman sistemlerinde sağlanan gelişmeler ile yükselmeye başlamış ve 1930'larda 100 kata kadar ulaşmıştır. Yapı üretim teknolojisindeki bu ve benzer gelişmeler ile ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında ABD'de başlayan yüksek yapıların inşası kısa süre içinde dünyada pek çok yerde yaygınlaşmıştır.

Yüksek binaların gelişmesinde yerleşim zorunlulukları ve teknolojik gelişmelerin sağladığı kolaylıklar dışında bir diğer önemli etken de ekonomideki gelişme olmuştur. Ekonomik gücün artması sonucu büyük firmalar ülke iş hayatıyla global iş hayatını birleştirme ihtiyacı hissetmişlerdir. Ayrıca firmaların kendini ifade etme ve reklam yapma isteği sonucu yüksek yapıların biçimleri sayesinde belirleyici ve referans verici olmalarından dolayı prestij unsuru olarak da inşa edilmesine başlanmıştır. Ekonomik gücün ifade edilebilmesi ve reklam amaçlı kullanımın gereği olarak planlamada, taşıyıcı sistemde ve yapı malzemesinde sürekli yenilik arayışları içerisine girilmiş ve fonksiyonun yanında orijinallik ve estetiğe de önem verilmesi gündeme gelmiştir [Özer, 1989].

Sanayi devrimi, toplumsal hayatın her alanında olduğu gibi teknolojik alanda da önemli atılımlara sebep olmuştur. Demirin dökülmeye başlaması ve geçen süre

içinde niteliğinin iyileştirilmesi inşaat sektöründe çelik kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Çeliğin inşaat sektörüne girmesiyle yapılarda yükselme arzusu hız kazanmış ve böylece çeşitli taşıyıcı sistem tipleri geliştirilmiştir. İleri ki bölümlerde ayrıntılarıyla anlatılacak olan bu çelik malzemeli taşıyıcı sistem daha önceden de belirtildiği gibi yapıların yükselmesine ivme kazandırmıştır. Çeliğin yüksek yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılması ise;

- Kaynak tekniklerindeki gelişmeler,
- Sürtünmeye dayanıklı birleşim bulonlarındaki gelişmeler,
- Yüksek dayanımlı çeliğin ekonomik olarak üretilmesi,
- Çelik elamanlardaki form zenginliği ve çelik türleri,
- Tasarım yöntemlerindeki gelişmeler,
- Ön yapım ve inşa yöntemlerindeki gelişmeler,
- Hafif iç ve dış duvarların yapılarda kullanılmaya başlaması,
- Yangına dayanıklı hafif malzemelerdeki gelişmelerle sağlanmıştır.

Çeliğin uygulamada getirdiği kolaylıkların, endüstriyel bir malzeme olmasının ve ön üretim olanağı saplamasının gerektirdiği avantajların, hafif olmasından dolayı deprem yüklerine karşı mukavemetinin diğer yapı bileşenleriyle ilişkisinin uyumluluğunun anlatılması ve gerçek anlamda bir fayda değer analizinin yapılmasıyla inşaat sektöründeki uygulamacıların bu malzemeyi kullanması teşvik edilebilir.

Dünyada çelik taşıyıcılı sistemlerle yükselen yapıların zamanla artış göstermesine karşın Türkiye’de 1950’li yıllardan itibaren artış göstermekte ve yükselen bu yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak betonarme kullanılmaktaydı. Günümüze kadar ilerleyen süreçte de bu seçimde bir değişme olmadığı gözlemlenmektedir. Bugünün şartlarında ülkemizde yüksek yapıların inşasında ekonomik görülmeyen çelik taşıyıcı sistemin kullanılmamasının sebebi ise, hammadde çıkışının azlığı ve çelik yapının ihtiyacı olan taşıyıcı profillerin gerekli çeşitlilikte üretilmemesidir. Dolayısı ile, ülkemizde bunlar üretilmediği için dışardan ithal yoluna gidilmekte ve çeliğin inşaat sektöründe kullanımını pahalı hale getirmektedir.

Ülkemizde yukarıda değinilen sebeplerden çeliğin inşaat sektöründe ve yüksek yapı inşasında fazla yer teşkil edememesi, mühendis ve mimarları bu malzemeyi kullanarak öğrenmenin dışına itmiştir. Bu konuda yeterli bilgi birikim ve deneyimine sahip kalifiye uzman yönetici ve işgücünün az sayıda yetişmesi sonucunu doğurmuştur. Üniversitelerde de bu sebeplerden çelik taşıyıcılı yapı konusunda verilen bilgi akışı zayıf kalmış, zamanla sektöre geçiş yapacak olan genç mimar ve mühendisleri bu konudan yoksun bırakmıştır.

1.1. Amaç

Çelik yapım sistemi içinde önemli bir yer teşkil eden taşıyıcı sistemin kurulma yollarının anlatıldığı bu çalışmayla bu alanda taşıyıcı sistem seçimi ve bu sistemlerinin uygulama alanları, çalışma şekilleri hakkında bilgilendirme amaçlı bir katkı sağlanmaya çalışılacaktır.

Yüksek yapı üzerine etkiyen düşey ve yatay yüklerin zemine güvenle aktarılması için, Beşinci Bölümde ayrıntılarıyla anlatılacak olan çeşitli tipteki çelik taşıyıcı sistemlerde rijitleştirme ilkelerinin düzenlenmesi ve bu ilkelerin “çerçeve”, “eleman” ve “sistem” açısından irdelenerek seçilmesi, istenen çelik taşıyıcı sisteme ulaşılması bu çalışmanın amacını oluşturmuştur.

1.2. Kapsam

Belirtilen amaçlara yönelik olarak çalışmanın ikinci, üçüncü ve dördüncü bölümlerinde dünya üzerinde yapılan yüksek yapılar ve onların inşaatında önemli yer tutan çeliğin malzeme özelliklerinin tanıtılması, çeliğin yapı malzemesi olarak üretilmesi, çeşitleri, şekilleri, yapıda kullanılabilmesi için gereken bağlantı ve taşıyıcı elemanlarının anlatılması, planlama, taşıyıcılık, uygulamadaki avantajları ve dezavantajları hakkında bilgiler verecektir.

Beşinci bölümde, yüksek yapıda kullanılan çelik taşıyıcı sistemlerin uygulama alanları, çalışma şekilleri ve özellikleriyle tanıtılarak, her bir sisteme özgü uygulanmış ve kavramsal proje örneklerine yer verilmiştir.

Altıncı bölümde ise, çalışmanın başından itibaren işlenen konular çerçevesinde çeşitli tipteki çelik taşıyıcı sistemlerde rijitleştirme ilkelerinin düzenlenmesi yapılmış ve bu ilkeler “çerçeve”, “eleman” ve “sistem” açısından irdelenmiştir.

1.3. Yöntem

Çalışmada kullanılan yöntem, teorik alanda literatür taraması yapılması, uygulanmakta olan sistemler hakkında bilgiler edinilmesi ve edinilen bu bilgilerin çalışma hayatında içinde bulunulan bazı uygulamalarının fotoğrafları ile desteklenmesidir.

2. YÜKSEK YAPILAR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Tanım

Tarihte önceleri insanlar korunmak, barınmak ve tapınmak amacıyla yapılar inşa edilen yapılar giderek artan insan nüfusu ve gelişen teknolojiye paralel olarak çeşitlilik arz etmeye başlamıştır. Öte yandan, tarih boyunca “büyüklük” peşinde koşan insanlar gökyüzüne doğru Tanrı katına ulaşmayı hedefleyerek anıtsal, simgesel nitelikte ve çoğu kez dini amaçlarla yüksek yapılar, kuleler inşa etmişlerdir. Putperest toplumlar totemleriyle, Mısırlılar piramitleriyle (M.Ö. 2600, yükseklik 146 m), Mezopotamyalılar ziguratlarıyla ve Babil Kulesi (M.Ö. 600, yükseklik 90 m) ile, Çin, Japon, Koreliler pagodaları, Grekler İskenderiye Feneri (M.Ö. 282 yükseklik 140 m) ile, Himalaya’daki Yakushi Pagodası (M.S. 680, yükseklik 34 m) ile, Hristiyanlar katedralleriyle, Müslümanlar minareleriyle [Piroğlu, 2001].

Zamanla dinsel simgeler yerlerini tümüyle kapitalist dünyanın geçerli ve değerli simgelerine bırakmışlardır. Yükseklik üstünlüğün bir ifadesi olmuş ve artık yükseklik, kişilerin ekonomik güçlerini yansıtmak için kullanılan bir araç haline gelmiştir. Böylece gökdelenler için geliştirilen çözümler kapitalizmin işlevsel gereksinimiyle örtüşmüştür.

Şehircilik ve mimarlık alanında genellikle kabul edilen sınıflamaya göre, on katın üzerindeki yapılar çok katlı yapı sınıfına girer. Nüfus yoğunluğuna, arsa azlığına ve yükselen arsa fiyatlarına bir çözüm olarak görülen çok katlı yapılar, şehir yapısı ile yakından ilgilidir.

Ticari ve yönetim organizasyonları, ticari gelişme sağlama, varlık ve önemlerini topluma duyurabilme gibi amaçlarla giderek artan sayı ve çeşitte reklama yönelmektedir. Yüksek binalar, bu organizasyonlar için bir reklam aracı olma konusunda gerekli nitelikleri öteden beri taşımaktadır. Yükseklik reklam ve prestij için önemli bir faktör olarak görülmektedir.

Yüksek yapının kütlesi, tasarımcının çevre dokusu ile yapının işlevi arasında kuracağı bağ ile ortaya çıkmalıdır. Bir çok katlı yapı, ince uzun ya da yatay ve

kütlesel tek bir yapı olabileceği gibi büyük bir yapı bloğu oluşturacak şekilde diğer çok katlı yapılara bitişik de yapılabilir. Her iki yaklaşımda da yapı ayrı bir obje olarak ele alınır. Çok katlı yapı, birçok yapının ya da yapı bölümlerinin düşey sirkülasyon sistemleri ile birbirine bağlandığı büyük bir yapı organizmasıdır.

Yapının yüksekliğine ya da kütlesine karar vermek için karmaşık bir planlama işlemi gerekir. Yapıya ve kullanıcılarına uygun gerekli servislerin düzenlenmesi, yapının çevresel ya da şehir görüntüsündeki karakteri önemlidir. Dikkate alınması gereken en önemli faktör arsanın müşteri isteklerine göre kullanılması ve yapının çevre dokusuna uygunluğudur.

Yapı tasarımında mimar, yapıyı ve taşıyıcı sistemi bir bütün olarak ele almalıdır. Taşıyıcı sistem, yapı mühendislerinin sonradan düzenleyeceği yapıdan ayrı bir ek gibi düşünülemez. Bu tasarım yaklaşımı her yapı için önemli olmakla birlikte, fiziksel ve çevresel kuvvetlerin tasarım kararlarında çok etkili olduğu karmaşık taşıyıcı sistemli yüksek yapı ölçeğinde bir zorunluluktur [Özer, 1989].

Yapı, yerçekiminden kaynaklanan düşey kuvvetleri, rüzgar ve deprem gibi etkilerle oluşan yatay kuvvetleri karşılamalıdır. Yapı dış yüzeyi, iç ve dış ısı, hava basıncı ve nem farklılıklarına uyum göstermelidir. Yapı taşıyıcı elemanları tüm bu kuvvetleri karşılamalı, emniyetli olarak zemine iletecek şekilde düzenlenmeli ve birleştirilmelidir. Bu kuvvetleri, bunların kaynaklarını ve taşıyıcı sistem özelliklerini bilen mimar ön tasarım evresinde daha rasyonel bir yapı tasarlayabilir.

2.2. Dünyadaki Yüksek Yapıların Gelişimi

Dünya üzerinde yaşanan hızlı şehirleşmeye paralel olarak hızla artış gösteren nüfus yoğunluğu, yapım alanlarında hissedilir bir yetersizliğe neden olur. Bu yetersizlik arsa spekülasyonunu ve arsa fiyatlarındaki aşırı yükselmeyi de beraberinde getirir. Buna karşı geliştirilen çözüm ise dikey gelişmedir. Böylece yerleşim alanları çoğaltılırken arsa maliyeti de değerlendirilecektir. Başlangıçta bu nedenlerle yükselen yapılar, daha sonraları prestij sembolü de olmuşlardır. Bu sayede de fonksiyonun yanında orijinallik ve estetiğe de önem verilmesi gündeme gelmiştir.

Çeliğin ve tasarım yöntemlerinin gelişmesi yapıların düşey doğrultuda yükselmesini sağlamıştır. Çok katlı binaların 19. yüzyılın sonlarına doğru ortaya çıkmaları sosyal, kültürel ve teknolojik alanlardaki olgulara dayanmaktadır. Asansörün icadı, taşıyıcı

sistem, yapım yöntemi, konstrüksiyon, hesap yöntemlerinin gelişimi, yangına karşı korumadaki yenilikler, klima ve aydınlatma tekniklerinin gelişmesi, sismik tasarımın ileri seviyelere ulaşması, inşaat kalitesindeki artış yapıların yükselmesinde büyük etkenlerdir.

Endüstri Devrimi ile birlikte yüksek mukavemetli çelik ve betonun sağladığı olanaklar, cephede taşıyıcı elamanların açıkça gösterilmesi ve yapım sistemlerinin gelişmesi, daha sonraları daha geniş ve yüksek açıklıklarda da kullanılmaya başlanmıştır. Yığma duvarlar, yerlerini çelik çerçevelere ve hafif cephe strüktürlerine bırakmıştır.

Duvarların taşıyıcı özelliği olmadan belirli bir yüksekliğin üzerine çıkamayan ve çelik iskelet systemsiz olarak yapılan son yüksek yapı Chicago'daki on altı katlı Madnock Binası (1891)'dir. Burnham ve Root tarafından planlanmış olan bu yapının, giriş kat duvarları 183 cm kalınlığındadır. Bu yapıdan da anlaşılacağı gibi klasik yöntemlerle yükselmeye devam etmek, binaları giriş katında iç mekandan yoksun kılacaktır.

Yüksek yapılar gelişimlerini Chicagolu iki mimara borçludur. Bu mimarlardan ilki, yüksek yapıda çelik-iskelet sistemini ilk defa kullanan William Le Baron Jenney'dir. Jenney tarafından 1883-85 yılları arasında Chicago'da yapılan Home Insurance Binası on katlı bir yapıda çelik-iskelet sisteminin nasıl kullanılacağını başarıyla göstermiştir. Diğer bir Chicagolu mimar olan Louis II. Sullivan ise, yüksek yapılarda kullanılan mimari dili geliştiren ilk kişi olmuştur. Yapıyı üç ana bölümde inceleyen Sullivan, her yüksek yapının giriş bölümünü oluşturan bir kaidesi, düşey hareket belirten bir gövdesi ve tek defaya özgü bir çatı dizaynı olması gerektiğini savunmuştur. Sullivan, bu düşüncesini ilk defa St. Louis'teki Wainwright Binası'nda (1890-91) uygulamıştır [Özer, 1989].

Bütün dünyada 1950-60 yılları arasında yapılan gökdelenler için tek geçerli çözüm birbirine benzeyen kutulardan meydana gelmekteydi. Böylece bütün dünya şehirleri birbirine benzemeye başlayacaktı. Bu anlayışı günümüze kadar getiren sayısız örnek bulunmaktadır. Bunlar arasında Skidmore, Owings ve Merrill tarafından 1972 yılında Saubot ve Julien ile birlikte Paris'in Defense bölgesinde yaptıkları Fiat Binası, Yamasaki'nin 1974 yılında New Yorkta'ki 410 m yükseklikteki iki kuleli World

Trade Kuleleri ile Pei'nin Houston'da gerçekleştirdiği iki ayrı irtifada yapıdan meydana gelen Commerce Kulesi yer almaktadır.

Skidmore, Owings ve Merrill tarafından 1969'da Chicago'da yapılan, 100 katlı John Hancock Center, 343 m yüksekliği ile 1984 yılında dünyanın en yüksek gökdeleni ve yapıya fonksiyonel elemanlarından dolayı objektif bir form kazandıran dönemin Brütalizm akımının en iyi örneklerinden biridir.

Günümüzde dünyanın en yüksek yapısı, Malezya'da yapılan ve Cesar Pelli tarafından tasarlanan 450 m yüksekliğindeki 98 katlı Petronas Kuleleri'dir.

Avrupa'da, Amerika'daki gibi bir yükseklik yarışı görülmemiş, dünyanın en yüksek 100 yapısı arasına Varşova'daki Palace Culture and Science Binası (1955) ve Paris'teki Maine Montparnass Büro Binası girebilmiştir [Öke, 1991]. Asma sistemle yapılmış Münih'teki 100 m yüksekliğindeki BMW Binası, 180 m yüksekliğindeki Londra Posta İdaresi ve 205 m yüksekliğindeki Paris Tour Fiat Binası, Avrupa'nın önemli yüksek yapıları arasında sayılabilir.

Dünyanın en yüksek çelik gökdelenleri arasında; Adler ve Sullivan'ın 41 m yüksekliği ile 1891'de tasarladıkları Wainwright Building, William Van Allen'ın 319 m yüksekliği ile 1930'da tasarladıkları Chrysler Building, Shreve, Lamb ve Harinon'un 381 m yüksekliği ile 1931'de tasarladıkları Empire State Building, Mies Van Der Rohe'nin 160 m yüksekliği ile 1958'de tasarladığı Seagram Building, Skidmore, Owings ve Merrill'in 344 m yüksekliği ile 1969'de tasarladığı John Hancock Center, M. Yamasaki, Emery Roth ve Sons'un 417 m yüksekliği ile 1972'de tasarladığı World Trade Center, Skidmore, Owings ve Merrill'in 443.5 m yüksekliği ile 1974'de tasarladığı Sears Tower sayılabilir.

2.3. Türkiye'deki Yüksek Yapıların Gelişimi

Türkiye'nin yaşadığı hızlı şehirleşme olayı 1950'den sonra, şehirlerin yayılmasına ve yoğunlaşmasına neden olmakla kalmamış, aynı zamanda şehirlerin dokusu da değişikliğe uğramıştır. Türkiye'deki yüksek yapılara duyulan ilgi 1950'li yıllara doğru gündeme gelmiştir. Geç yıllarda gündeme gelmesinde Türkiye'nin deprem kuşağında olmasının yeri vardır. Zamanla artan gereksinimler, gelişen yapıım teknolojileri ve arsa değerlerinin yükselmesi yüksek yapılara olan ilgiyi artırmıştır [Öke, 1991].

1970'lerin ortalarına kadar da 25 katı geçmeyen binalar yapıldı. Ankara'daki 13 katlı Ulus İşhanı, 24 katlı Kızılay Emek İşhanı, 20 katlı Stad Oteli, İstanbul'daki 12 katlı Karayolları 17.Bölge Müdürlüğü, 23 katlı Ceylan Inter-Continental Oteli, 17 katlı Marmara Oteli, 21 katlı Odakule İş Merkezi örnek olarak sayılabilir.

1975-1985 yılları arasındaki dönemde, yüksek yapıların kat adetlerinde artışlar gözlenmiş fakat zamanın ekonomik ve politik sebepleri fazla bina yapılmamasında etkili olmuştur. Ankara'da 29 katlı Türkiye İş Bankası, İstanbul'da 28 katlı Harbiye Orduevi gibi binalarla yükseklik sınırı giderek artmaya başlamıştır.

1985'de yüksek bina yapımında kullanılan teknolojinin kullanılmaya başlamasıyla, yapılan binalarda yükseklik olarak artış görülmüştür. 19 katlı İstanbul Princess Oteli, 26 katlı Maya-Akar İş Merkezi, 20 katlı 3 bloktan oluşan Yapı Kredi Plaza, 34 ve 39 katlı 2 bloktan oluşan Sabancı İş Merkezi, 22 katlı Ankara Sheraton Oteli, 17, 19 ve 21 katlı Akmerkez, 6 bloktan oluşan en yüksek bloğu 42 katlı olan İş Bankası Genel Müdürlüğü, 1985'den sonra kullanılan teknolojik örneklerdir. Ayrıca, Mersin Ticaret Merkezi, 52 katı ve 175.70 m yüksekliği ile Türkiye'nin en yüksek binasıdır.

3. ÇELİK VE ÇELİK TAŞIYICILAR

3.1. Çeliğin Malzeme Özellikleri

Bir yapı malzemesini istenen yerde ve doğru bir şekilde kullanabilmek için, kullanılan malzemenin karakteristik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bilinmesi gerekir. Endüstri Devrimi ile birlikte çelik üretiminin yaygınlaşması sonucu çelik, inşaat sektöründe ana yapı elemanı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu bölümde genel olarak çeliğin özellikleri, üretim biçimleri, bağlantı elemanları ve yapı iskeletini oluşturan çelik taşıyıcılar hakkında bilgiler verilecektir.

3.1.1. Malzeme Olarak Çelik

Mekanik olarak işlenebilen, preslenerek, haddeden geçirilerek şekil alabilen, demir alaşımlara “çelik” denir [Hasol, 1995]. Çelik bünyesinde demirden başka %0,16-0.20 kadar karbon bulunur. Karbon miktarı arttıkça, bünyesine su verilerek ve başka madenlerle birleştirilerek çelik sert bir hale sokulabilir. Demirden çok daha sert ve daha hafif olup, daha iyi işlenebilir. Çelik alaşımında bundan başka fosfor, azot, silisyum, manganez, bakır gibi elemanlar vardır. Bu elementlerin çeliğin bünyesinde belirli oranların üstünde bulunmaması gerekir. Çelik alaşımına krom, nikel, vanadyum, molibden gibi maddeler katılarak yüksek kaliteli çelikler elde edilebilir. Ayrıca çelikler, elde edilişleri bakımından Siemens Martin çeliği, Bessemer çeliği, Thomas çeliği ve Elektro çeliği olarak gruplandırılabilirler.

Yapısal çeliği, malzeme kalitesini göre normal ve yüksek dayanımlı yapı çeliği olarak ikiye ayırabiliriz. Yapı işlerinde ve özellikle betonarmede Alman normuna göre ST 37 olara tanımlanan Thomas çeliği kullanılır. Normal yapı çeliği de diyebileceğimiz ST 37, haddeden geçmiş, genel olarak yuvarlak çubuk halindeki yumuşak çeliktir. Bu çeliğin kırılma dayanımı $3700-4200 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Akma dayanımı sınırı $2000-2600 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Elastisite modülü $2.100.000 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Yüksek dayanımlı çelikler akma sınırı 3000 kg/cm^2 ve daha yukarı olan çeliklerdir ve St 50 (3000 kg/cm^2) ile St 52 (3600 kg/cm^2) olarak tanınırlar [Deren, 1995].

Çelik kesiti homojen ve ince taneli olmalı, karınca, çapak, boşluk ve yarık bulunmamalıdır.

3.1.2. Çeliğin Yapısı

Demir cevherinden yüksek fırınlarda kok kömürü yakılarak ergitilmesiyle ham demir elde edilir. Ham demirde %5 kadar karbon bulunur. Diğer bütün metaller gibi çelik de doğal maden cevherlerinden elde edilir. Demir cevheri doğada oksit, hidroksit veya karbonat halinde diğer maddelerle karışık olarak bulunur. Karışımında bulunan zararlı maddelerin (fazla karbon, kükürt, fosfor, arsen, bakır, silisyum, azot) belirli bir yüzdeye kadar uzaklaştırılması ve bazı maddelerin de (krom, bakır, mangan, silisyum, molibden) ilave edilmeleri gerekmektedir. İlave edilen bu maddeler çeliğin mukavemetini artırdığı gibi sıcakta işlenmesini de kolaylaştırır.

Karbonun, çeliğin mukavemetine etkisi fazladır. Karbon miktarı ağırlık olarak 17/1000'den fazla olursa, çeliğin işlenmesi mümkün olmaz. Diğer zararlı maddelerin ve karbonun, yüksek fırınlarda yüzde miktarlarının azaltılmasına çalışılır. Zararı dokunan maddelerin en başında fosfor gelir. Fosfor, çeliğin çok gevrek olmasına ve çabuk kırılmasına yol açar. %2 fosfor içeren bir çelik yere düşerse cam gibi kırılır ve parçalanır. İkinci zararlı madde olarak kükürt gelir. Kükürt çeliğin yüksek sıcaklıkta gevremesine ve kırılmasına sebebiyet verir [Deren, 1995].

3.1.3. Çeliğin Üretimi

Çelik, demir cevherinden iki aşamada elde edilir. Birinci aşamada demir cevherinden ham demir, ikinci aşamada ham demirden çelik elde edilir.

Özel fırınlarda ham demire hurda demir ve diğer katkı maddeleri karıştırılarak font (pik) elde edilir. Pik demirde % 4 kadar karbon bulunduğu için işlenebilme özelliği yoktur ve çekme mukavemeti çok azdır. Demir cevherinin, Thomas konvertörü, Siemens-Martin fırını, elektrik fırını gibi yüksek fırınlarda, kok kömürü yakılarak ergitilmesi ve çeşitli katkıların yapılması sonucunda çelik malzeme elde edilir. Bu fırınlardan sıvı halinde çıkan çelik ingot kalıplarına dökülür. Kütük denilen prizma şeklindeki dökme çelik bloklar haddelenmek suretiyle, çeşitli şekillerde olmak üzere, çelik ürünleri elde edilmiş olur.

Sıvı halindeki çeliğin donması sırasında, içinde bulunan monoksitten dolayı, çelik bünyesinde gaz kabarcıkları oluşur. Bu tür çeliğe "gazlı alınmamış çelik" denir.

Çeliğin bünyesine silisyum, manganez, alüminyum ve kalsiyum gibi elamanlar ilave edilerek ergimiş çelikteki oksijen bağlanarak kabarcıkların oluşması önlenmiş olur. Böyle çeliğe de "gazı alınmış çelik" denir.

Ayrıca mangan, fosfor, kükürt gibi elemanların ilave edilmesi de kaynaklanma, yorulma ve bükülebilme bakımından çeliğe mukavemet katar [Deren, 1995].

3.2. Çelik Yapı Bileşenleri

3.2.1. Hadde Ürünleri

Madenleri tel, çubuk demir ya da profil haline getirmek için çeşitli ebat ve şekillerde delikleri olan alete "hadde" denir [Hasol, 1995]. Bu deliklerden çekilerek şekillendirilen madenler sıcak çekme ve soğuk çekme olarak iki şekilde yapılırlar. Sıcak çekmede çelik ısıtıldıktan sonra, soğuk çekmede deliklerden geçirilerek tel ya da profil haline getirilir.

Çelik yapılarda kullanılan hadde ürünleri şu şekilde gruplandırılır:

3.2.1.1. Profiller

Bir yapıda belli bir profilin kullanılması, o profilin piyasada bulunup bulunmamasına bağlıdır. Profiller açık ve kapalı profil olmak üzere iki şekilde gruplandırılabilirler:

a) Açık Profiller:

- **I Profiller:**

Normal I Profiller, dar başlıklı eğimli profillerdir

IPE Profiller, orta genişlikte paralel başlıklı Avrupa profilleridir.

IPBL Profiller, geniş ve paralel başlıklı hafif profillerdir.

IPBV Profiller, geniş ve paralel başlıklı-kalın başlıklı profillerdir.

- [Profiller, tek simetri eksenlidirler. Bu yüzden iki profil simetrik bir kesit oluşturacak şekilde kullanılırlar.

- L Profiller, köşebent çelikleridir. Genellikle basınç ve çekme çubuğu olarak kullanılırlar. Eşit kollu ve farklı kollu olmak üzere iki çeşittirler.

- T Profiller, küçük açıklıklarda cam mertegi olarak kullanıldığı gibi kafes kirişlerde alt ve üst başlık olarak da kullanılabilirler.

b) Kapalı Profiller: Kutu ve boru profiller olmak üzere iki çeşittirler. Kutu profiller, dikdörtgen kesitli, içi boş çelik profillerdir. Kenar uzunluk ve et kalınlığı değerlerinin yalın aralıklarla üretilmesi kutu profillere artı bir avantaj sağlar. Boru profiller ise daire kesitli çelik elamanlardır.

Kapalı profiller, hafif olması ve de korozyona karşı kullanılan koruma malzemesinin az kullanılması nedeniyle açık profillere nazaran kazançlıdır [Erşen, 1996].

3.2.1.2. Lamalar

Dikdörtgen çelikler olarak da tanımlanırlar. Uzun, ensiz, yassı ve dikdörtgen kesitli çeliklere "lamba çeliği" denir [Hasol, 1995].

- Yassı lama çelikleri, genişlik $b = 8\sim 150$ mm, kalınlık $t = 3\sim 100$ mm.
- İnce lama çelikleri, genişlik $b = 10\sim 500$ mm, kalınlık $t = 0.75\sim 5$ mm.
- Geniş lama çelikleri, genişlik $b = 150\sim 1200$ mm, kalınlık $t > 5$ mm.

3.2.1.3. Levhalar

Enine ve boyuna göre kalınlığı az olan, 10 mm'den ince gereçlere "levha" denir [Hasol, 1995].

- Düz Levhalar üç grupta incelenirler.

Kaba levhalar, $t \geq 5$ mm olan levhalardır.

Orta levhalar $3 < t < 5$ mm olan levhalardır.

İnce levhalar $t < 3$ mm olan levhalardır.

- Kubbeli Levhalar: Bu levhaların kesiti her iki doğrultuda da kemer şeklindedir. Plandaki şekilleri serbesttir.
- Silindirik Levhalar: Bu levhaların orta kısımları silindir, ise yukarı kıvrılmış olduğundan bütün kenarları aynı seviyede olmalıdır.
- Oluklu Levhalar: Yassı oluklu saçlar ve kirişli oluklu saçlar olmak üzere iki çeşidi mevcuttur.

3.2.2. Döküm Ürünleri

Köprü mesnetleri gibi bazı karışık şekilli yapı kısımları, çelik atölyelerinde döküm yoluyla üretilir. Kullanılan döküm malzemeleri şunlardır:

- Çelik Font: Kalıplara dökülmek suretiyle istenilen parça elde edilir. Mesnet levhası olarak kullanılır. Çelik fontun özellikleri St.52'ninkine benzer.
- Su Çeliği : (C 3) mesnet ruloları ve mafsallarda kullanılırlar.
- Gri Font : (GG14) özel mesnet levhası olarak kullanılır [Erşen, 1996].

3.3. Çelik Bağlantı Elamanları

Çelik yapılar, çeşitli hadde ürünlerinin projelerindeki boyutlarına göre kesilip birleştirilmesi suretiyle tamamlanır. Yapıyı oluşturacak olan çelik parçaları, statik ve mukavemet bakımından beraber çalışan yapı kısımları halinde birleştiren araçlara "çelik bağlantı" elamanları denir. Birleşim elemanlarının görevi, birleştirdikleri parçaların birlikte çalışmalarını sağlamaktır. Bunun içinde birleştirilen münferit parçalar arasında oluşabilecek gerilmelerin birleşim elemanları yardımıyla güvenli bir şekilde aktarılmaları gerekir. Bu birleşim araçları :

- Perçin
- Bulon (cıvata)
- Kaynak

olmak üzere üç başlık altında toplanır.

3.3.1. Perçinli Birleşimler

Silindirik gövdeli, makaslamaya ve delik çevresindeki ezilmeye göre hesaplanan parçalarda açılan deliklere vurulmak suretiyle yerleştirilen çelik birleşim araçlarına "perçin" denir. Perçin iki yada daha çok maden levhayı birbirine bağlar. Perçin sıcak veya soğuk olarak deliğe sokulup dövülmesine göre "sıcak perçin" veya "soğuk perçin" adını alır [Hasol, 1995].

Yerine vurulmamış perçine "ham perçin" denir. Parçalardaki delikler atölyede elektronik komutlu zımba tezgahları kullanılarak matkapla açılır. Perçin, kızıl dereceye kadar ısıtıldıktan sonra hazırlanmış olan deliğe sokulur. Parçalardaki deliklerin karşılıklı gelebilmesi için delikler önce 2-3 mm kadar küçük çaplı olarak açılıp, montaj sırasında parçalar önce civatalarla birbirlerine bağlandıktan sonra, karşılıklı gelen delikler matkapla gerekli çaplarına getirilerek tam bir uyum sağlanır. Delikten taşan kısım dövülerek hem perçin deliğinin tamamıyla dolması, hem de bu

uçta da bir başlık teşkil etmesi sağlanır. Perçin malzemesinin dövülme esnasında, perçin deliğini tamamıyla doldurabilmesi ve ikinci başlık oluşturulması için ham perçin uzunluğunun birleştirilecek parçaların toplam kalınlığından belirli bir miktar daha fazla olması lazımdır. Ham perçinin bir tarafında bulunan başa “nizam başı” denir. Ham perçinin vurulması esnasında gövdesi şişerek deliği tamamen doldurur ve vurulmuş perçinin gövde çapı delik çapına eşit olur. St.37 kullanılan yapılarda perçin çeliği olarak St.34, St.52 kullanılan yapı kısımlarında ise St.44 çeliğinden yapılan perçinler kullanılır [Deren, 1995].

Perçinler; “Yuvarlak Başlı Perçinler” ve “Gömme Başlı Perçinler” olmak üzere iki çeşittir. Çelik yapıda en çok yuvarlak başlı perçinler kullanılır.

3.3.2. Bulonlu (Civatalı) Birleşimler

Bulon silindirik gövdeli, altı köşeli başlıklı, ucunda spiral diş açılmış kısmı bulunan birleşim aracıdır. Deliğe konduktan sonra diş açılmış ucuna, altına pul konularak somun takılır. Bulon başı anahtarla tutularak, diğer bir anahtarla somun döndürülerek kolay bir işçilikle bulonlar sıkılır. Kolay olmasından dolayı da şantiyede olan montaj birleşimlerinin bulonlu olması tercih edilir. Pahalı olduğundan atölye birleşimlerinde bulon kullanılmaz.

Bulon, birleşim tekrar sökülecekse, birleştirilecek parçaların malzemesi, şekli ve boyutları, perçin yapılmasına uygun değilse, birleşim vasıtalarına büyük çekme kuvvetleri de etki ediyorsa, birleştirilecek parçaların kalınlıkları perçin yapılamayacak kadar kalın ise seçilir.

Bulonlar iki çeşittir:

- Normal Bulonlar
- Yüksek Mukavemetli Bulonlar (HV Bulonları)
- Normal Bulonlar: Kuvvet aktarmaları perçinlerinki gibi olan bulonlardır. Normal bulonlarda diş açılmamış gövde kısmı boyunun, birleştirilen elamanların toplam kalınlığından mm olarak fazla olması gerekir. Somunun altına konan pul fazlalığa rağmen sıkılma yönünden bir sakınca oluşturmaz. St 37 çeliği kullanılan yapılarda 4.6 (eski 4D) çeliğinden bulon, St 52 çeliği kullanılan yapılarda 5.6 (eski 5D) çeliğinden bulon kullanılır.

Normal Bulonlar iki çeşittir:

Kaba Bulonlar: St. 38 çeliğinden yapılırlar. Bulon çapı ile yuva çapı arasında 1 mm fark bulunur. Dış açılmış kısmın dışında kalan gövde kısmı işlenmemiştir. En fazla uygulanan bulon çeşididir.

Uygun Bulonlar: Bunların gövdeleri tornalanmış olup deliği iyice doldururlar. St. 38 çeliğinden yapılırlar.

- Yüksek Mukavemetli Bulonlar (HV Bulonlar): Bu bulonlar yüksek mukavemetli çelikten üretilirler. Somunlar özel ayarlı anahtarlar yardımıyla sıkıştırılır. Bu suretle birleştirdikleri elemanların birleşim yüzeylerinde büyük basınç kuvvetleri meydana getirilerek, kuvvetin bir elemandan diğerine sürtünme ile aktarılması sağlanır. Yüksek mukavemetli bulon birleşimlerinde, bulon aralıkları ile kenar uzaklıkları için normal bulonlu birleşimlerdeki şartlar geçerlidir [Erşen, 1996].

Yüksek mukavemetli bulonlar, makaslamaya ve delik çevresindeki ezilmeye göre “Yüksek Mukavemetli Bulonlu Birleşimler” ve “Sürtünme Kuvvetli Birleşimler” olmak üzere iki çeşittir.

3.3.3. Kaynaklı Birleşimler

Aynı veya benzer alaşımlı madenlerin ısı tesiri altında birleştirilmelerine “kaynak” adı verilir. Bu birleştirme esnasında, bazı kaynak yöntemlerinde aynı veya benzer alaşımlı kaynak teli ve kaynak elektrodu kullanılır, bazılarında ise ilave metal kullanılmaz.

Kaynaklı yapıların, perçinli yapılara göre en büyük avantajı, malzeme tasarrufu ve estetik bakımlarındandır. Kaynaklı yapılara, malzeme ve işçilik bakımından perçinli yapılara nazaran çok daha fazla özen göstermek lazımdır.

Kaynaklama için, metaller ya ergime derecesine kadar ısıtılıp sıvı kıvamına getirilir veya kızıl dereceye kadar ısıtılıp plastik kıvama getirilir. Bu durumda iki kaynak çeşidi mevcuttur:

- Ergitme Kaynakları
- Basınç Kaynakları
- Ergitme Kaynakları: Bu kaynak çeşidinde, birleştirilecek parçaların birbirine kaynaklanacak kısımları kaynak teli ve kaynak elektrodu ergime derecesine (3000° ~

5000°) kadar ısıtılır ve ergiyerek birleşen kısımların soğuması sonucunda birleşme sağlanır. Isı kaynağı olarak elektrik enerjisi ve gaz alevi kullanılır.

- Elektrik Arkı Kaynakları: Çelik yapıda en fazla uygulanan bir metottur. Kaynak için gerekli sıcaklık elektrik arkı ile sağlanır. Bu metotta elektrik arkı, esas malzeme ile elektrot adını alan kaynak teli arasında meydana gelir. Sıcaklık 5000 °C dereceye kadar yükselir. Kaynak için gerekli olan 16-40 voltluk gerilim ve 30-250 amperlik akım şiddetli, şehir cereyanından kaynak makinesi yardımıyla elde edilir

Slavianoff metodu (El Kaynağı), Humboldt-Meller metodu ve Ellira metodu olmak üzere çeşitli metotlar kullanılır.

- Basınç Kaynakları: Malzemenin ısıtılarak basınçla birleştirilmesi esasına dayanır. Çelik yapılarda pek fazla kullanım alanı yoktur. Üç türlü basınç kaynağı vardır;

Ateş Kaynağı: Kor haline gelinceye kadar ocakta ısıtılan parçalar, çekiçe dövülerek birleştirilir. Çelik yapılarda uygulanmaz.

Su Gazı Kaynağı: Malzemenin ısıtılmasında su gazı kullanılır. Genellikle çelik boru imalatında kullanılır.

Direnç Kaynağı: Elektrik akımı kullanılarak ve basınç uygulanarak yapılır. “Küt Kaynağı”, “Nokta Kaynağı”, “Kordon Kaynağı” olmak üzere üç türlü direnç kaynağı vardır [Erşen, 1996].

3.4. Çelik Taşıyıcı Elamanlar

Taşıyıcı sistemi incelerken önce taşımayı incelememiz gerekir. Taşımayı meydana getiren, yerçekimi adı verilen güçtür. Bu güç, bütün cisimleri dünya merkezine doğru çeker. Her yapı yapım şekli, boyutları ne olursa olsun başta yerçekimi olmak üzere çeşitli yüklerin etkisi altındadır. Yapıya etkiyen bu kuvvetleri taşıyan ve zemine aktaran elamanlara “taşıyıcı elemanlar” denir.

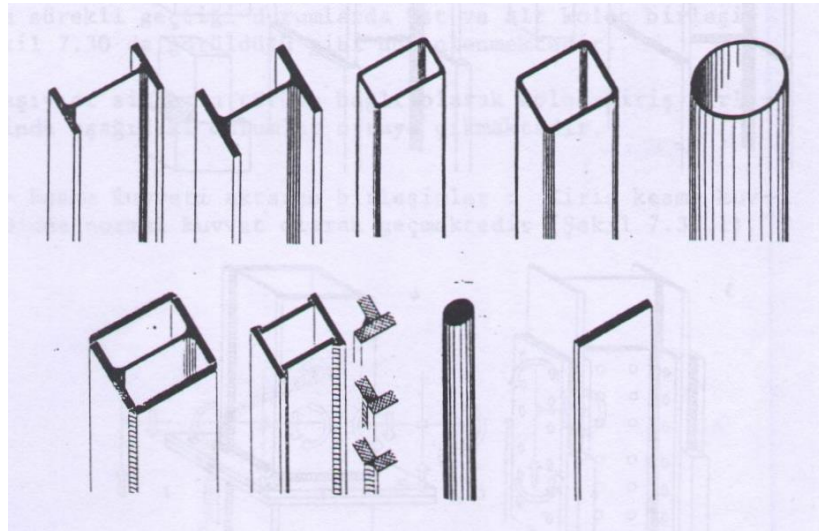
Taşıyıcı elamanlar bazen köprü ve asansörlerde olduğu gibi iki noktayı birleştirmek, ya da baraj ve istinat duvarlarında olduğu gibi doğal kuvvetlere karşı koymak için yapılırlarsa da, esas amacı bir hacmi belirlemektir. Özellikle mimarlıkta kullanılan taşıyıcı elamanlar bir hacmi, özel bir fonksiyon için yararlı kılmak üzere örterler ve belirlerler. Bu yararlılık belirlenmiş hacmin dış hava koşullarından tamamen ya da kısmen ayrılmasıyla sağlanır ve tüm kapalı olmayı gerektirmez.

Yapının taşıyıcı malzemesinin seçimi bir uygulamaya kriteri olmayıp, düşünce ve biçim olarak, yapının bütününe ilgilendirdiğinden bir “temel kriter” dir. Bu bölümde genel olarak taşıyıcı sistemi oluşturan bireysel elamanlar hakkında bilgiler verilecektir.

3.4.1. Kolonlar

Kolonlar, yapıya etkiyen yükleri zemine aktaran düşey elamanlardır. Basınca ve eğilmeye çalışan doğru eksenli çubuklardır. Tek parçalı kolonlarda IP profilleri kullanılır. Yükler arttıkça, profiller veya lamalar birbirine sürekli kaynaklanarak çok kesitli kolon en kesitleri oluşturulabilir. Ayrıca, dikdörtgen veya yuvarlak en kesitli boru profilleri de kolon olarak kullanılmaktadır [Özgen ve Bayramoğlu, 2002].

Çok katlı çelik yapıya etkiyen düşey yükler çelik kolonlar ve bazen betonarme perdelerle temele aktarılır (Şekil 3.1). Çoğunlukla kolonlar, kirişlerin kesişme noktalarına yerleştirilirler.



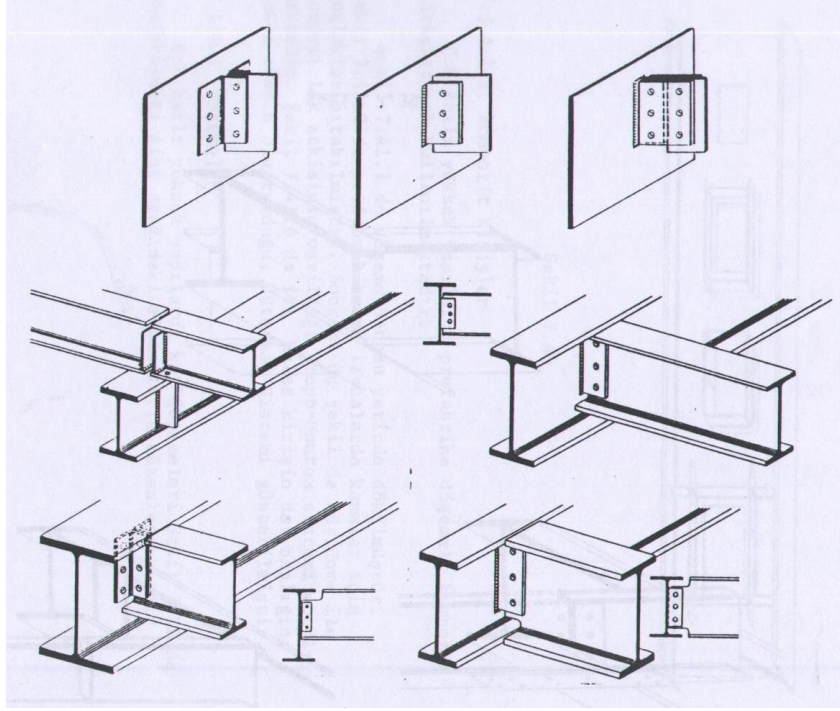
Şekil 3.1 Kolon kesitleri (Özgen, A., Bayramoğlu, G., 2002, Çok Katlı Çelik Yapılar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Çelik Yapılar Seminerleri, İTÜ, Gebze, Mart)

3.4.2. Kirişler

Döşemeden gelen yükleri düşey taşıyıcılara aktaran, eğilmeye ve kesme kuvvetlerine dayanıklı taşıyıcı sistem elamanlarıdır. Petek, kafes ve uzay kafes kirişler olarak sınıflandırılabilirler.

Yüksek yapılarda döşeme sistemini taşıyan yatay düzlemde düzenlenmiş kirişler ya rijit çerçeveye ya da çekirdek elemanına bağlıdır. Rijit çerçeve sistemlerinde kirişler,

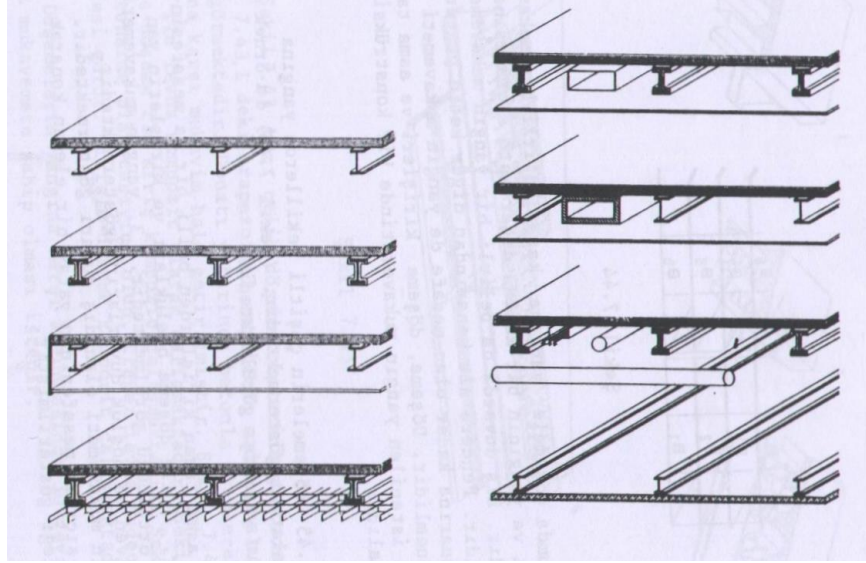
yapıda tek doğrultuda ya da iki doğrultuda düzenlenen çerçevelerin yatay elemanlarıdır. Mekanlarda geniş alanları, kolonlar arasını (6 m'den 18 m'ye bazen 30 m'ye), çelik kirişlerle geçmek iç düzenlemede esneklik sağlar [Özgen ve Bayramoğlu, 2002]. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 Kiriş-kiriş birleşimleri (Özgen, A., Bayramoğlu, G., 2002, Çok Katlı Çelik Yapılar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Çelik Yapılar Seminerleri, İTÜ, Gebze, Mart)

3.4.3. Döşemeler

Döşemeler rijit, yatay düzlemlerdir. Bunlar yapıda kapalı bir düzen oluşturarak dış yükleri karşılar; mekanın üzerini örterek katlar arası ayırımı sağlayarak düşey taşıyıcı sistemin elemanlarını bağlar ve sağlamlaştırır. Düşey ve yatay kuvvetleri kolon ve/veya duvarlara iletir. Taşıyıcı döşemenin, sadece üzerine etkiyen düşey yükleri değil aynı zamanda rüzgar ve deprem etkisinden oluşan yatay yükleri de iletme fonksiyonu vardır. Bunlar, planlamaya göre kare ya da dikdörtgen şekilli, kirişsiz ya da kirişli olarak düzenlenirler (Şekil 3.3). Kirişsiz döşemeler, doğrudan kolon ya da ana kirişe oturan, en fazla 7 m geçebilen döşeme plaklarıdır. Kirişli döşemeler, döşeme plağı ve kirişin bir tür rijit çerçeve gibi birlikte çalıştırılması ile oluşturulur.



Şekil 3.3 Çeşitli döşeme biçimleri (Özgen, A., Bayramoğlu, G., 2002, Çok Katlı Çelik Yapılar, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Çelik Yapılar Seminerleri, İTÜ, Gebze, Mart)

Döşeme elemanının, üzerine etkiyen düşey ve yatay yükleri aktarma fonksiyonu ile birlikte bir dereceye kadar ses, ısı ve neme karşı izolasyon sağlama ve yatay tesisatın yerleştirilmesi gibi görevleri de üstlenmesi istenir [Özgen ve Bayramoğlu, 2002].

Çelik döşemelerde, düz veya mukavemeti arttırmak amacıyla form verilmiş çelik levhalar kullanılır. Çelik yapı döşeme tasarımında yangına karşı koruma önemlidir. Asma tavanla taşıyıcı döşeme arasındaki boşluk çeşitli servislerin yerleştirilmesinde kullanılabilir. Çelik döşemelerle ilgili detaylı bilgi Beşinci Bölüm’de ayrıntılarıyla verilmiştir.

4. YÜKSEK KATLI YAPILARDA ÇELİK KULLANIMI

4.1. Yüksek Katlı Yapılarda Çelik Kullanımının Tarihçesi

Demir malzemenin mühendislik yapılarında kullanılması, iki yüzyıl öncesine dayanır. Demir ve çelik insanlık tarihinde çok eski devirlerden beri bilinmekle beraber, geniş ölçüde üretilmediğinden, iki yüzyıl öncesine kadar sadece silah ve eşya yapımında kullanılabilmıştır. İngiltere’de 18. yüzyılda, ham demir ve font (pik) üretimi yüksek fırın yöntemiyle yapılarak, demirin yapı malzemesi olarak kullanılması adımı atılmıştır. Demir malzeme kullanılarak inşa edilen ilk yapılar köprülerdir [Deren ve Ardan, 1976].

İngiltere’de 1784 yılında ve Almanya’da 1824 yılından itibaren pudralama fırını yönteminin kullanılmaya başlamasından sonra büyük ölçüde dövme çelik üretimi sağlanmıştır. Böylece dövme çelik kullanılarak dolu gövdeli ana kirişli ve kafes ana kirişli köprülerin yapımına başlanmıştır. İlk asma köprülerde de malzeme olarak dövme çelik kullanılmıştır. “Bessemer” (1855), “Siemens-Martin” (1864), “Thomas” (1879) yöntemlerinin bulunmasıyla ham demirin sıvı halindeyken arıtılması sağlanabilmiş ve dökme çelik üretimi ortaya çıkmıştır. Dökme çelikle beraber modern çelik yapı tekniği gelişmiştir.

Demir ve daha sonra çelik çerçeve, yapıda yükselmeye ve daha büyük açıklıklara olanak sağlamış ve bunun sonucunda hafif iskelet sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Çelik iskeletin gelişmesi 100 yıldan fazla bir süre almıştır. Bu sadece yapı malzemesi olarak demirin tanınması açısından değil, üretim yöntemlerinin de geliştirilmesi ile ilgili idi [Özgen, 1989-b].

Çelik çerçevelerle daha büyük açıklıkların aşılması sağlanmış ve giderek daha hafif olan çelik karkas binaların inşasına gidilmiştir. Üretim teknolojisinin gelişimine paralel olarak ilk özgün çelik yapı 1851’de Londra’da Uluslararası bir fuar için inşa edilen Crystal Palace’dır. Bu yapı ilk çelik strüktürlü prefabrikasyon uygulaması olarak da kabul edilmektedir. Ağır yığma duvarlar yerlerini, kitle üretimi ile yapılmış çelik çerçeve ve cam yüzeylere bırakmıştır [Hart ve diğ., 1974].

Giderek daha yüksek yapılara gereksinimin artması sonucunda kısa zamanda çok sayıda hafif bina inşa etmek amacıyla çelik karkas sistemlere doğru yönelme olmuştur. İlk yüksek yapı 1883’de montajı tamamlanan Chicago’daki Home Insurance Building’tir. Mimaride yeni bir çılgır açan bu yapı "Council on Tall Buildings ve Urban Habitat” tarafından dünyanın ilk gökdeleni olarak kabul edilmiştir. Taş cephe duvarlarının yalnızca kendini taşıdığı bu yapı, çelik kirişlerin yapının iç kısmında kullanıldığı ilk örnektir.

Alexandre Gustave Eiffel tarafından 1891’de inşa edilen 300 m yüksekliğindeki Eiffel Kulesi bilindiği gibi halen Paris’in simgesi durumundadır. Yüksek yapıda Chicago ekolu 20. yüzyılın başından itibaren yerini New York kentinde yükselen gökdelenlere bırakmıştır. Örneğin 1902 yılında 87 m yüksekliğinde inşa edilen Flatiron Building, 1904 yılında 114 m yüksekliğinde inşa edilen Times Square Tower, 1909 yılında 200 m yüksekliğinde gerçekleştirilen Metropolitan Tower, 1913 yılında 234 m yüksekliğinde inşa edilen Woolworth Building, 1929 yılında 319 m yüksekliğindeki inşaatı tamamlanan Crysler Building, 1931 yılında 381 m yüksekliğinde inşa edilen Empire State Building.

Yüksek yapıların inşası II. Dünya Savaşı’nın başlamasıyla duraksamıştır. Yeniden başlayan yarışın en iddialı yapısı 1972 yılında inşası tamamlanan New York’taki World Trade Center idi. Ardından 442 m yükseklikte Chicago’da inşa edilen dünyanın en yüksek çelik gökdeleni Sears Tower gelmiştir.

Çok katlı yüksek binalarda kat sayısı arttıkça yüksek yapıların yanal yüklere karşı dayanımını güçlendirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Örneğin Chicago’daki 100 katlı John Hancock binasının (Şekil 5.40) cephesinde X çaprazlı düşey kafesler oluşturularak yapının yatay yük taşıma kapasitesi artırılmıştır. Perçinin yerini kaynağa ve yüksek mukavemetli bulona bırakmasına sonucunda birleşim detayları geliştirilmiş, asansörün icadı ile binanın içinde etkin ve giderek hızlı bir düşey ulaşım sağlanmış, yangına karşı korunma sorununun çözümlenmesine çalışılmış ve bilgisayarla hızlı hesap olanaklarının ortaya çıkması ile giderek dünyanın her tarafında işlev ve estetiğe önem veren iddialı yüksek yapılar inşa edilmiştir.

Öte yandan, yüksek yapıların sismik yüklere karşı davranışı konusunda yapılan araştırmalar ve ulaşılan bilgi birikimi nedeniyle deprem açısından aktif bölgelerde kat sayısı kısıtlamaları yönetmeliklerden kaldırılmıştır. 1957 yılında Mexico City’de

meydana gelen büyük bir depremde Latino Americana binası bu açıdan çok iyi bir sınav vermiştir [Piroğlu, 2001].

4.2. Yüksek Yapılarda Çelik Kullanımın Avantajları

Yapıda çelik kullanımının sağladığı avantajlar planlama, taşıyıcılık ve uygulama açısından olmak üzere üç şekilde incelenebilir.

4.2.1. Çeliğin Planlama Açısından Avantajları

- **Esneklik:** Çelik taşıyıcı sistemler, büyük açıklıkların kolonsuz geçilmesini ve taşıyıcı sistem elamanlarının kesitlerinin küçük olmasından dolayı, iç mekanda daha fazla kullanım alanı ve zamanla farklı gereksinimlerden doğan mekansal değişikliklere olanak sağlar. Çelik konstrüksiyonla döşemede boşluk açmak, yapıya yatay ya da düşey ilaveler yapmak mümkündür. Örneğin 30 katlı bir yapıda, kolonların betonarmeye göre kesit alanı farkı yaklaşık 300 m² yer kazanımı sağlar. Aynı hesapları daha küçük ve ince çekirdekler, beton perdeleri içinde uygulasak, toplam %5-8 daha fazla kullanım alanı elde edilebilir [Özdi, 2001].

Yatayda ve düşeyde servislerin mimari tasarıma olanak tanınması başka bir esneklik avantajıdır. Çelik yüksek yapılarda döşemenin altında kalan boşluktan tüm tesisat kanalları geçirilebilmekte, ileride gerektiğinde kolayca bakımı ve tadilatı yapılabilmektedir. Ayrıca asma tavan kullanılarak tesisat kolayca estetik olarak kapatılabilmektedir.

Çelik yapılarda, cephe sistemi taşıyıcı elamanlardan bağımsız olarak düzenlenebilir. Bu özellik mimara, cephe sistemi seçiminde ve tasarımında geniş olanaklar sağlar.

- **Mekan yüksekliği:** Taşıyıcı elamanların kesitlerinin küçüklüğü nedeniyle kullanılabilir alan oranı daha yüksektir. Aynı bina yüksekliğine daha çok kat sığdırmak veya aynı sayıda katı, daha az yükseklikle elde etme olanağı vardır. Ayrıca, taşıyıcı sistem elemanlarıyla bunları tamamlayan elamanlar arasındaki boyutsal ilişki düzeyinin yüksekliği de faydalı alana artı bir avantaj sağlar [Blanc ve McEway, 1990].

- **Hafiflik:** Çelik yapılar, aynı büyüklükteki betonarme yapılara göre daha hafiftir. Zemin koşullarının zayıf olduğu hallerde üst yapının ağırlığının azaltılmasında çelik yapı yeğlenmekte ve böylece temel sistemin maliyetinde önemli kazanımlar elde

edilmektedir. Bunun yanı sıra, aktif deprem bölgelerinde yapının ağırlığı arttıkça depremden etkilenme de artmakta, bu nedenle çelik yapı tercihi ön plana çıkmaktadır.

- **Küçük Kesitler:** Taşıyıcı elamanların kesitlerinin küçük olması, malzeme zayıflığını düşürmesi ve yapıyı hafifleterek temel maliyetini azaltması açısından da mimara ekonomik avantaj sağlar.
- **Yapım Hızı:** Çok katlı yüksek çelik yapıların inşası hava ve şantiye koşullarından etkilenmediği için hızla gerçekleştirilecektir. İmalat fabrikada gerçekleştiğinden hava koşullarından etkilenmeyeceği gibi kalitesi de yüksek olacaktır. Ayrıca çelik yapıların tasarımının doğru yapılması, yapının kullanıma açılması açısından hızlilik sağlayabilir.
- **Kullanım Ömrü:** Çeliğin özelliklerinin değişmezliği kullanım ömrü boyunca sabittir, boyutlarında küçülme ve çekme olmaz. Dayanım açısından da yangına ve korozyona karşı gerekli önlemler alındığı takdirde ömrü uzun ve değeri sabittir.
- **Çeliğin çeşitli iç ve dış duvar kaplamalarıyla bütünleşebilmesi** tasarımcıya özgürlük sağlar. Ayrıca çeliğin çeşitli formlarda dizayn edilebilme olanağı sunması mimara zengin yapı tasarımları üretmesi avantajı sağlar.

4.2.2. Çeliğin Taşıyıcılık Açısından Avantajları

- Yüksek dayanım, çeliğin en büyük olanaklarından birisidir. Çeliğin kendi ağırlığına oranla taşıyabildiği yük çok fazla olduğu için daha hafif taşıyıcı sistemli bir yapı yapılabilir. Betonarme ile karşılaştırılırsa, çelik on kat daha yüksek dayanımlı bir yapı malzemesidir ve çelik tercih edildiği takdirde yapı bütünü % 40-50 daha hafifler.
- Çelikle inşası mümkün olmayan yapı türlerini yapmak mümkündür. Bu yapılar arasında geniş açıklıklı yapılar ve yüksek gökdelenler gelebilir. Çelikle 84 m'lik kolonsuz açıklığı geçmek, 443 m yükseklikte gökdelen inşa etmek mümkün olabilmektedir [Özfiliz, 2002].
- Çeliği diğer yapı malzemelerinden ayıran başka bir özellikte süneklik özelliğidir. Süneklik, malzemenin yükler altında esneyip şekil değiştirebilmesi olarak tanımlanabilir. Fakat bu sırada çelik taşıyıcı özelliğini yitirmez. Çelik, normal betonarmeye oranla yedi kat daha sünektir. Çeliğin sünekliği ve gelişmiş hesap

yöntemlerinin kullanılmasıyla, mühendisler çelik taşıyıcı yapıları daha rahat olarak tasarlama olanağı bulabilmektedirler.

- Zemin şartlarının elverişsiz olduğu durumlarda ve aktif deprem bölgelerinde yapının ağırlığı arttıkça depremden etkilenme de artmakta, bu nedenle çelik yapı tercihi ön plana çıkmaktadır.
- Çelik taşıyıcı yapı esnek olduğundan aldığı yükleri sönümleyebilir ve sünek olduğu için de bu enerjiyi soğurabilir. Yapı enerjiyi yuttuğundan, binanın içindeki insanlar ve malzemeler çok az zarar görür.
- Çelik taşıyıcı sistemlerde imalat süreleri çok kısaldığı için; zamanla ortaya çıkan artışlar ortadan kaldırılmaktadır. Sistem maliyetinde en önemli faktör, kat adedi artması nedeniyle birim alana düşen malzeme miktarının çok artmaması, yani sistemin fazla kat adedi sebebiyle aşırı malzeme gerektirmemesidir. Çelik yapılardaki bağlantılarda olduğu gibi işçilik ve bağlama elemanlarının maliyeti gibi malzeme dışındaki unsurlardır.
- Çelik taşıyıcılı binaların yapım hızı çok yüksektir. Aynı kapalı alana sahip bir betonarme binaya göre çelik taşıyıcılı bir binanın yapım süresini yarıya, üçte birine indirmek mümkündür. Binanın taşıyıcı sisteminde onarım gerekiyorsa, taşıyıcıların açıkta ve erişebilir olması çelik iskeletin işlenebilirliğini kolaylaştırır. Şekil değiştirilmiş parçalar doğrultulabilir veya yenileriyle değiştirilebilir.

4.2.3. Çeliğin Uygulama Açısından Avantajları

- Çelik yapılar, taşıyıcı sistem elemanlarıyla bunları tamamlayan elemanlarının prefabrik üretime olanak tanınmasından, yapım süresi daha kısadır. Çok katlı yüksek çelik yapıların inşası hava ve şantiye koşullarından etkilenmediği için hızla gerçekleştirilecektir. İmalat atölyede gerçekleştiğinden hava koşullarından etkilenmeyeceği gibi kalitesi de yüksek olacaktır. Hızlı inşaat süresi faizlerin yüksek olduğu koşullarda ekonomik olabilecek ve yapının toplam maliyetini olumlu anlamda etkileyebilecektir. Ayrıca, genel olarak inşaat işlemleri sırasında iskele kullanımı düşüktür. Bu durum yapıya hem hız, hem de maliyet açısından avantajlar sağlar [Özdil, 2001].
- Çelik yapı endüstriyel bir üründür. Çelik yapı elemanları, çok tekrarlı, benzer boyut ve kesitlerde olduğu için üretimleri otomatik makinalarla yapılabilir.

- Hafiflik: Hafiflikten dolayı işçilik ve işlemede kazanç sağlanır, şantiye dışında üretim ve kontrol yapmak olanağı pahalı olan şantiye bütçesinden kazanç getirir. Çünkü çelik yapı hemen hemen tümüyle fabrikada üretilip şantiyede kurulur ve biter [Özfiliz, 2002].
- Kalite: Çelik imalatın hassasiyeti nedeniyle daha kalifiye işçilik gereksinimi ve gerek atölyede gerekse de şantiyede daha iyi imal ve montaj koşulları çelik yapı kalitesini betonarme yapıya nazaran daha yükseltmekte ve böylece yapının kalitesi kolaylıkla sağlanabilmekte ve denetlenebilmektedir. Çelik yapı taşıyıcı sistemi, kalite ve denetim açısından istendiği zaman açılıp görülebilir. Kontrol edilmek istenen her yer açılıp gözlemlenebilir ve test edilip değiştirilebilir.
- Yapım sonrası değişiklik gerekiyorsa çelik sisteme ekleme, değişiklik yapma, genişletme ve kaldırma gibi işlemleri yapmak kolaydır. Doğru hesaplanmak koşuluyla çelik yapıya ek kat çıkılabilir ve hatta kolon-kirişler de değişiklikler yapılabilir.

4.3. Yüksek Yapılarda Çelik Kullanımının Dezavantajları

- Korozyon: Çelik elemanların iklim koşulları, hava kirliliği ve endüstriyel ortamlarda oluşan asit, baz ve tuz içerikli kimyasallarla teması sonucunda bünyelerinde paslanma oluşur. Bu paslanma zamanla taşıyıcı sistem elemanları üzerinde kalıcı bir etki oluşturur. Hem estetik açıdan hem de dayanıklılık açısından yapıda hasarlar meydana getirebilir. Paslanmayı azaltıcı önlem olarak çeliğin alüminyum, bakır ve çinko gibi elementlerle kaplanması işlemine "galvanizleme" denir [Hasol, 1995]. Çelik elemanlar galvanizlenerek ya da yüzeylerine paslanmayı engelliyici boya ve antipaslar uygulanarak bu etkilerden korunmalıdır.
- Yangın Dayanımı: Çelik, 400 °C yi aşan ısı etkisinde taşıyıcılık özelliğini büyük oranda kaybeder. Çelik taşıyıcının, yangın anında kullanıcıların binayı terk edebilmelerine imkan verebilmesi açısından taşıyıcılık fonksiyonunu sürdürmesi gerekir. Çelik taşıyıcılar, yangın riskine karşı yönetmelikte belirtilen esaslara göre tasarlanmalı ve belirtilen süre boyunca ayakta tutabilecek önlemler alınmalıdır. Bu önlemler arasında çelik taşıyıcı elemanlar yangın kesici malzemelerle kaplanmalı ve cephelerde yangının katlar arasında yayılmasını önlemek için tedbirler alınmalıdır. Ayrıca döşemeler de yangına karşı korunmalı ve bu hususta, döşeme kirişleri yangın kesici malzemelerle kaplanmalıdır [Özfiliz, 2002].

- Ses İletkenliği: Çeliğin ses iletkenliği çok iyi değildir. Çelik yapılarda döşeme kalınlıklarının az olması darbe sesini yalıtmakta yetersiz kalmaktadır. Sesin yankılanmasından dolayı çelik elemanların çeşitli malzemelerle yalıtılması gereklidir.
- Isı İletkenliği: Çelik elemanların ısı iletkenliğinin yüksek olmasından dolayı ısı köprüsü oluşturabilirler. Isı köprülerinin sebep olabileceği iç ortam konforsuzlukları ve enerji kaybının minimuma indirilmesi için tasarımın buna göre yapılması gerekir. Bunu sağlamak için çeşitli yalıtım malzeme ve yöntemleri mevcuttur.
- İş Gücü: Çelik yapı üretimi eğitilmiş ve tecrübeli teknik elemanlara gereksinim duymaktadır. Tecrübeli kadro yetiştirmek için bu işçileri çelik yapı üretim yöntemleriyle ilgili eğitime tabi tutmak gerekir.
- Makine ve Teçhizat: Çelik konstrüksiyonun kurulmasında ve bütünleyici elemanların yerleştirilmesinde mobil makine ve teçhizata gereksinim duyulmaktadır. Yüksek katlı yapıların büyük açıklık geçen kafes kirişleri, büyük boyutlu profiller ve ağır cephe, döşeme elemanları yük kapasitesi yüksek vinçler ve nakliye araçları gerektirir. Bu makinelerin belli süreler için kiralanması nedeniyle, yapım işleri doğru programlanmalı ve bu programa uygun şekilde yürümesi önemlidir.
- Deprem açısından aktif bölgelerde çeliğin betonarme yapılara karşı üstünlüğü tartışılmaz iken, 50 katın üstündeki yapılarda rüzgarlı dinamik etkisi önem kazanmakta ve betonarme yapıya nazaran daha hafif ve deformasyon kabiliyeti daha fazla olan çelik yapıda bu durum çok daha fazla sorun yaratmaktadır. Bu nedenle günümüzde beton ve çeliğin üstünlüklerini bir araya getiren, etkin ve daha ucuz olan karma veya kompozit yüksek yapılar da inşa edilmektedir [Özdil, 2000].
- Çelik yapılarda uygulama sürecinin her aşaması, yapım hızının aksamamasına ve ortaya çıkacak ürünün kalitesi açısından doğru bir şekilde planlanmış olmalıdır. Eğer doğru planlanmamışsa uygulamadan kaynaklanan hataları telafi etmenin yüksek maliyetli bir işlem olmasının yanında telafisi güç de olabilir. Bu yüzden çelik yapı tekniğini ve yönetimini bilen deneyimli proje yöneticilerine ihtiyaç vardır.

5.YÜKSEK KATLI YAPILARDA ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER

Çok katlı yüksek yapıların taşıyıcı sisteminin seçiminde yapının güvenliğinin ve stabilitesinin yanı sıra malzemede de ekonominin sağlanması mimari tasarımla birlikte ele alınır. Yapı üzerine etkiyen düşey yükler kadar deprem ve rüzgar yükleri de zorlayıcı olmakta ve emniyetli bir şekilde zemine aktarılabilmesi gerekmektedir. Doğramalar ve genellikle gevrek nitelikli dolgu malzemelerinin kırılmalarının önlenmesi, binanın kullanılabilirliğinin korunması bakımından taşıyıcı sistemin yatay yer değiştirmeleri belli sınırları aşmamalıdır. Bu sorunun yüksek yapılarda önem kazanması nedeniyle, düşey yükler yanında binaya etkiyen yatay yükleri de zemine güvenle aktarma görevini yüklenen taşıyıcı sistemlerin düzenlenmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra daha önceden de belirtildiği gibi, psikolojik açıdan çalışanların rahatsız olmaması için yapıda oluşan ivmelendirmelerin de sınırlandırılması gerekebilir.

Bir binayı inşa etmeye karar verince önce tasarımı yapılır. Tasarlama mimari proje ile başlar. Binanın taşıyıcı sistemi de bu ilk çalışmalarda belirlenmelidir. Bunun için mimarlar, çoğu zaman taşıyıcı sistemin düzenlenmesinin yanında malzemesini de seçerler. Bu seçim sırasında mimarların, çeşitli seçenekleri inceleyip, o binaya en uygun olan sistem ve malzemeleri seçebilmeleri için; belli bir deneyime ve bilgiye sahip olmaları gerekmektedir. Seçim yapılırken karşılaştırmalar yapıp söz konusu binaya ve çevre koşullarına en uygun olan seçilmelidir.

Çok katlı yüksek bir yapının taşıyıcı sistemi eksenel basınç ve eğilme etkisindeki alttan ankastre bir düşey konsol kirişe benzetilebilir. Çok katlı çelik karkas yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemler aşağıdaki ana gruplara ayrılabilir [Özgen ve Sev, 2000]:

1. Çerçeve Sistemler,
2. Çerçeve-Perdeli Sistemler,
3. Çekirdekli Sistemler,
4. Tübüler Sistemler,

5. Hibrid Sistemler,

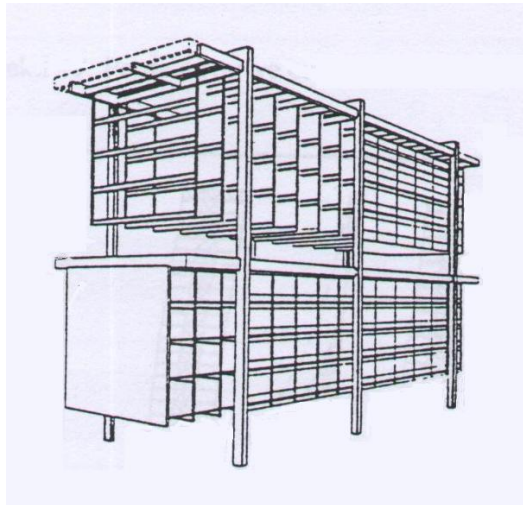
6. Döşeme Sistemler,

şeklinde gruplandırmak mümkündür. Bundan sonraki bölümlerde bu sistemler sırasıyla ele alınarak, uygulama alanları, çalışma şekilleri ve özellikleriyle tanıtılacak, her bir sisteme özgü uygulanmış ya da kavramsal aşamada olan proje örneklerine yer verilecektir. Ancak bu örnekler, yeri geldiğinde de belirtileceği gibi, yalnızca tek bir sistem türüne değil, çoğu kez iki ya da daha çok türe birden örnek olarak gösterilmektedir; bu durumda örnek taşıyıcı sistem türünün geçtiği bölümdeki tip için verilmiş olacaktır.

5.1. Çerçeve Sistemler

Çerçeve sistemler, çok katlı yapılarda, birbirine rijit bağlantılarla bağlanmış düşey kolon ve yatay kirişlerden oluşur. Bu sistemlerin yatay yüklere karşı sağlamlığı bağlantı noktalarının rijitliğine bağlıdır. En büyük avantajı planlamada, kapı, pencere, vb boşluklarının düzenlenmesinde serbestlik sağlamasıdır [Smith ve Coull, 1991].

Çok katlı yapılarda çeşitli çelik çerçeve tipleri yoğun olarak kullanılmaktadır (Şekil 5.1). Bunların tümünde, eğilmeye dayanıklı çerçeve köşelerinin ve mesnet noktalarının yapımında, bugün en basit ve ekonomik birleşim elemanı, yüksek mukavemetli civatalar ve kaynaklı birleşimlerdir. Birleşim elemanı olan perçin ise pek tercih edilmez.



Şekil 5.1 Çerçeve yapı (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Çelik iskeletli çok katlı yapılarda aks aralığı için 3-7 m, kat sayısı fazla olanlarda 6-10 m uygun olmaktadır [Duman ve Özgen, 1973].

Çerçeveler düşeydeki konumlarına göre iki bölümde incelenir:

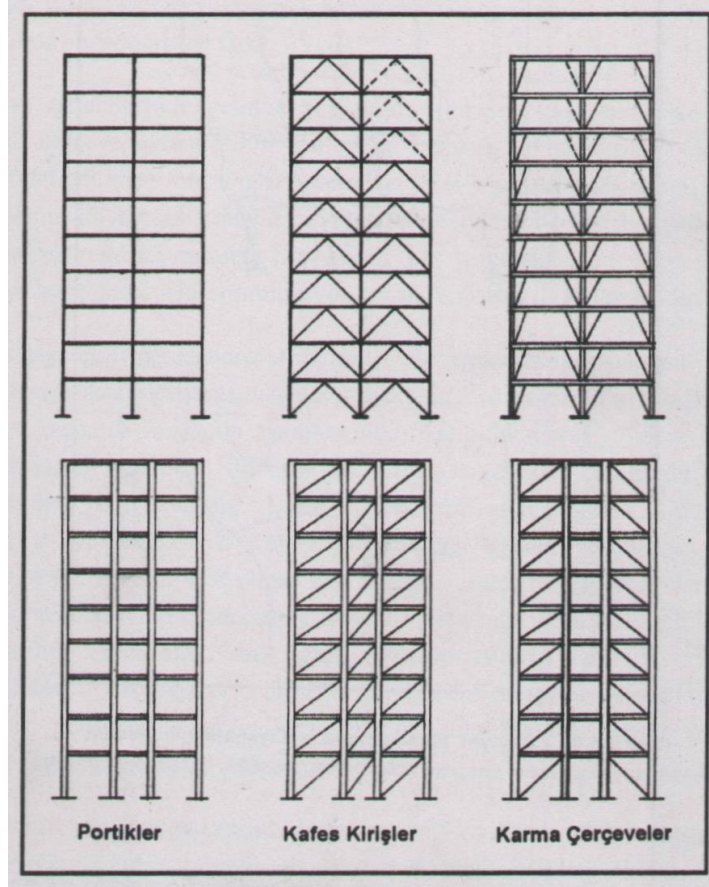
- **Düzlemsel Çerçeveler:** Düzlemsel çerçeveler, aynı düzlem içindeki kiriş ve kolonlardan oluşan sistemlerdir. Kiriş ve kolonlar, düşey ve yatay yükleri birlikte taşırlar. Kirişler, düşey yük momentlerine ek olarak, yatay yüklerden oluşan momentleri de aktarırlar. Kolonlar ise düşey yüklerden oluşan normal kuvvetler ve yatay kuvvetlerin doğurduğu momentleri de iletirler. Rijit çerçeve, yatay yüklere, kolon ve kirişlerin eğilmesiyle karşı koyar. Bu nedenle çerçevelerin taşıma gücü, çerçeveyi oluşturan kiriş ve kolonların mukavemetine bağlıdır [Özgen ve Sev, 2000].
- **Uzaysal Çerçeveler:** Çok katlı yapılarda kullanım alanı oldukça geniş, birbirine paralel olan ve yatay kirişlerle birleştirilen çok sayıdaki düzlemsel çerçeveden oluşan sistemler, uzay çerçeve tipini oluştururlar. Bu tür çerçevelerde kolonlar, genellikle birbirine dik düzlem çerçevelerin ortak elemanı olarak çalışırlar ve yatay yüklere tüm sistem birlikte karşı koyar. Uzay çerçeveler, düzlem çerçevelere nazaran hiperstatik ve daha rijit sistemlerdir. Ayrıca kolon aralarının ve kiriş rijitliklerinin eşit ya da birbirine yakın olması halinde sistemin çalışması, büyük ölçüde, düzlemsel çerçevelerin çalışmalarının toplamından oluşan bir sisteme dönüşür [Özgen ve Sev, 2000].

5.1.1. Rijitleştirilmiş Çerçeveler

Kat adedi az olan (~8~10 kat) çok katlı yapılarda, çerçeveler tek başlarına, ekonomik olarak kullanılabilir. Yapı yüksekliği arttıkça, kolon ve kiriş boyutları büyür. Bundan dolayı maliyet artar ve artan boyutlar nedeniyle sistem ağırlaşarak, yapımı zorlaşır. Bu nedenle çerçeveler, yüksek yapıda, diğer taşıyıcı elemanlarla bütünleştirilerek kullanılır. Yatay yüklere karşı diğer elemanlarla rijitleştirilmiş çerçeve sistemler çelik yapılarda ~30 kata kadar ekonomik olarak kullanılmaktadır [Duman ve Özgen, 1973].

Çelik çerçeve-iskelet sistemlerin rijitleştirilmesi ve sistemin tümünün stabilitesinin sağlanması, kafes kiriş türü çelik perde elemanlarıyla yapılır. Bu durumda kafes perdeler, bina içindeki bazı bölmelerde düzenlenir ve çerçeve-perde karma sistemler ortaya çıkar. Yüksek yapılarda çelik çerçevelerin bina içinde, kafes kiriş türü çapraz ya da dirsek elemanlarla rijitleştirilmesi (Şekil 5.2), iç kullanım alanlarındaki

esnekliği sınırladığından dolayı rijitleştirmenin cephe çerçevesinde yapılması çözümüne gidilir.



Şekil 5.2 Çelik çerçevelerde rijitleştirme (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçevesel-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

5.1.1.1. Moment Dayanımlı Rijit Çerçeve

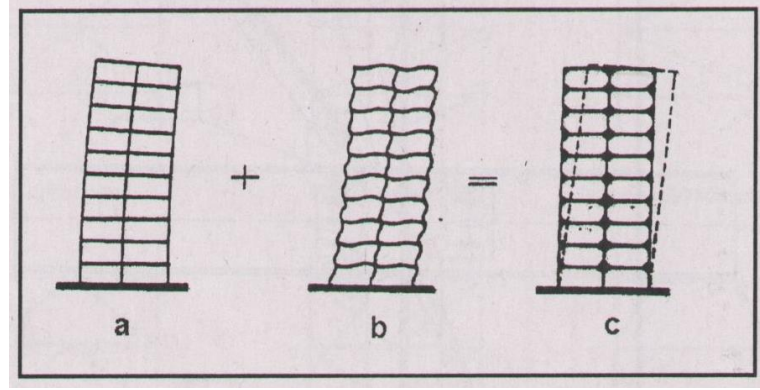
Moment dayanımlı çerçeve elemanlarının eğilme dayanımına bağlı olarak yatay yüklere karşı dayanım gösteren ve birbirine rijit olarak bağlanmış yatay ve düşey elemanlardan oluşmaktadır.

Moment dayanımlı çerçeveler, mimari planlamadaki esneklikleri açısından çok katlı yüksek yapılarda oldukça avantajlı olup, çekirdeğın içine veya çevresine, dış cepheye ya da planlama modülündeki minimal bir problem ile yapının içine yerleştirilebilirler. Çerçeve strüktürün doğasını ifade edecek şekilde mimari açıdan da şekillendirilebilir. Moment dayanımlı bir çerçevede kolon aralıklarının, yerçekimi için tasarlanmış çerçeveye gerekli şekilde uyumu sağlanabilir. Gerçekte yatay yüke dayanıklı çerçeve için gerekli çeliğın ağırlığı, çerçevenin üzerindeki artan yerçekimi

kuvvetlerine ters orantılı olarak azalmaktadır. Moment dayanımlı çerçeveler normal olarak ~20~30 kattan yüksek olmayan yapılar için uygundur. Yüksek yapıların etkinliğindeki zayıflık, moment dayanımlı çerçevenin güvenilirliği, öncelikle elemanlarının esnekliği ile doğru orantılıdır. 20~30 kattan yüksek yapılarda eleman oranları ve malzeme giderleri rantabl olma sınırını aşmaktadır.

Moment dayanımlı çerçevenin strüktürel çelik elemanlarının bağlantı detayları tasarım kriterleri açısından önemlidir. Bu bağlantıların sağlamlık ve düktülitesi tasarım ve yapım aşamalarında dikkatle ele alınması gereken konulardır.

Rijit çerçevenin yatay yükler altında ötelenmesi, sistemin iki tip davranışıyla açıklanabilir [Schueller, 1977], (Şekil 5.3):



Şekil 5.3 Eğilme altında davranış (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçeveler-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

- Konsol eğilmesinden oluşan ötelenmeler,
- Kiriş ve kolonların eğilmesinin doğurduğu ötelenmeler.

Dış yüklerin kolon ve kirişlerde oluşturduğu yatay ve düşey kesme kuvvetleri, bu elemanlarda eğilme momentleri oluşturur ve bunların etkisiyle, çerçeve deforme olur. Bu deformasyon şeklinde %65'i kiriş eğilmesinden, %15'i kolon eğilmesinden olmak üzere, sistemin tüm ötelenmesinin %80'i oluşur (Şekil 5.3-b).

Şekil 5.3-a'da görüldüğü gibi en büyük ötelenme (yatay yer değiştirme) en üst katta, buna karşılık en büyük zorlanmalar ise alt katta oluşur. Bu nedenle üst katlarda çerçeve olan sistem, daha rijit olan diğer taşıyıcı sistem tipleriyle pekiştirilir; Örneğin bazı çerçeve gözlerine perdeler eklenir [Özgen ve Sev, 2000].

İlk moment dayanımlı çerçeve, Japonya’da 1960’lı yıllarda kullanılmıştı. Bu tür çerçevelerde sismik teknolojisinin geliştirilmesi fazla uzun sürmemiştir. Sismik yüklere göre tasarlanan çerçeveler, elastik koşullar altında yüklendiği zaman, elemanlardaki stabilite kadar bağlantılarının yeterliliği ve düktilite faktörlerine de gerek duymaktadır. Moment dayanımlı çerçeveler, diğer yatay yüklere dayanıklı sistemlerle karşılaştırıldığında, elastik olmayan sınırlar içindeki performans yeteneklerinden dolayı, sismik bölgeler için oldukça uygun strüktürlerdir. Ayrıca, bir veya daha fazla elemanı, zarar görse dahi, kalan elemanlar sistemi ayakta tutabilmektedir. Bu sistemler sismik yüklere karşı tasarlandığında, kolonların kirişlerden daha güçlü olması gerekmektedir. Bu plastik yük altındaki stabiliyeti sağlayan, “kuvvetli kolon zayıf kiriş” teorisi olarak bilinmektedir [Beedle ve Rice, 1995].

5.1.1.2. Çaprazlı Çerçeve

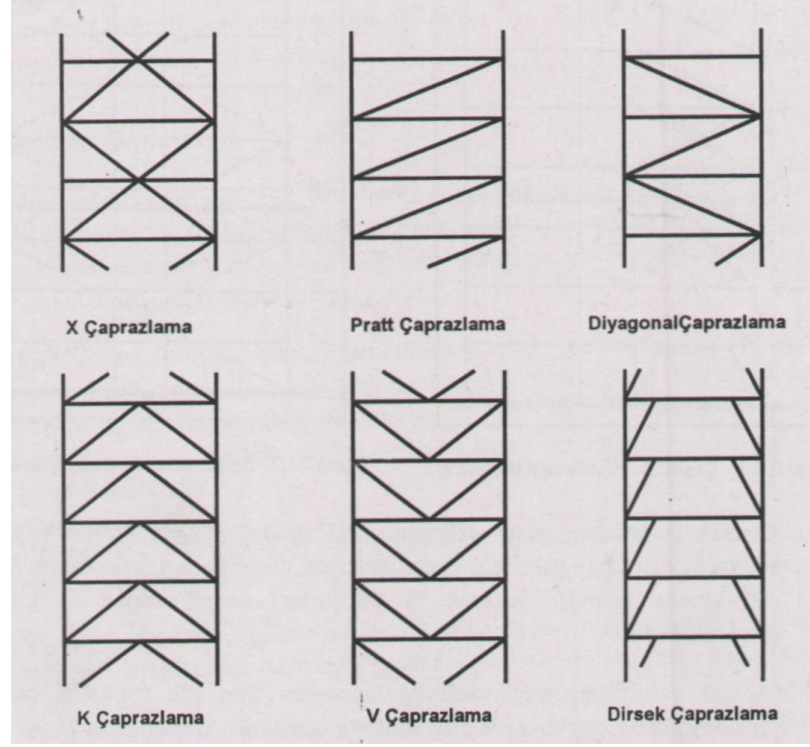
Rijit ya da mafsallı bir çerçeve, düşey bir kafes eklenmesi yoluyla, mukavemeti ve rijitliği artırılan yapının strüktürel tasarımı, rijit çerçeve ve çekirdek sistemlerde olduğu gibi, çerçevelerin düşey yükleri, çaprazların yatay yükleri karşılayacağı varsayımına göre yapılmaktadır [Schueller, 1977].

Rijit ya da mafsallı çerçeve strüktürlerde yatay yükler çapraz elemanlar tarafından karşılanır. Bu sistemde kolonlar kafes kiriş gibi davranmaktadır. Binaya gelen yatay yükler yatay bileşenler tarafından karşılanır. Çünkü çaprazlı çerçeve sistemler, yatay yük altında yüksek dayanım gösterebilmektedir.

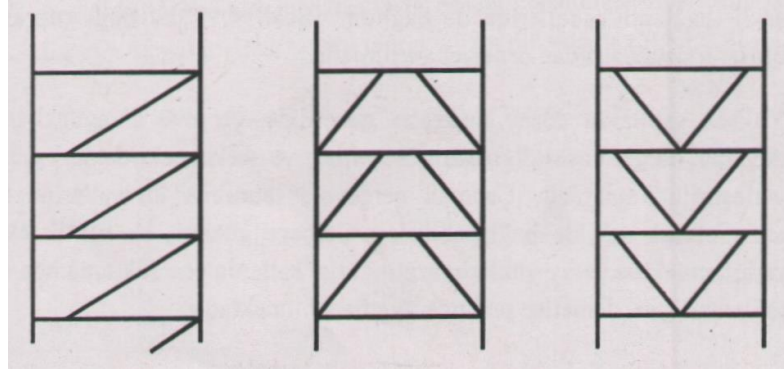
Çaprazlı çerçeveler, geometrik özelliklerine göre: ortak merkezli ve ayrık merkezli olmak üzere iki grupta toplanabilirler. Ortak merkezli çerçeveler; X, Pratt, diyagonal K ve V (Şekil 5.4) formlarını alabilirler. X şeklindeki çaprazlamalar K ve V çaprazlamalara göre daha yüksek yatay dayanım/ağırlık göstermektedir [Beedle ve Rice, 1995].

Kapı, pencere gibi açıklıklara daha fazla esneklik tanımlarından dolayı ayrık merkezli çaprazlamalar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.(Şekil 5.5).

Çaprazlı çerçeveler, yatay yüklere dayanım gösteren, düşey konsol makaslardır. Yatay yük altında kolonlar yaklaşık %80 kadar eksenel uzama ve kısalma göstermektedir.

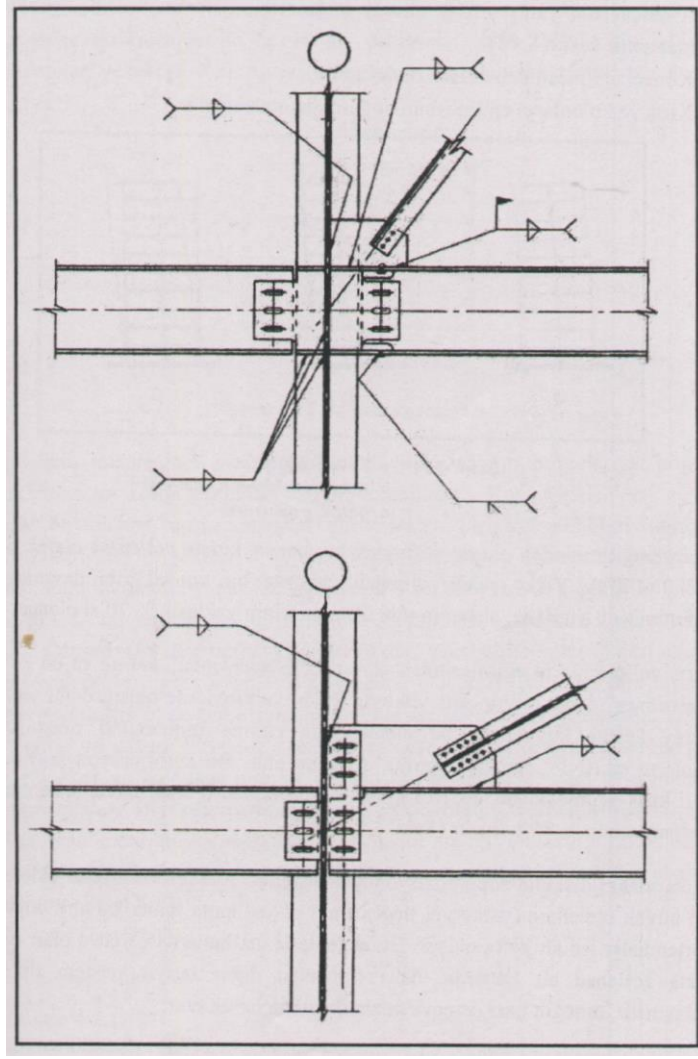


Şekil 5.4 Ortak merkezli çaprazlamalar (Beedle, L.S., Rice, D.B., 1995, Structural Systems for Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, McGraw-Hill, Inc., New York)



Şekil 5.5 Ayırık merkezli çaprazlamalar (Beedle, L.S., Rice, D.B., 1995, Structural Systems for Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, McGraw-Hill, Inc., New York)

Çaprazlı çerçeveler, yapım kolaylığı açısından daha çok strüktürel çelikten yapılmaktadır. Çelik diyagonaller, kuvvete, uzunluğa, istenen rijitliğe ve diğer faktörlere bağlı olarak, çift açılı, kanallı, T kesitli veya geniş başlıklardan oluşan putreller şeklinde olabilmektedir. Performansın yanı sıra, diyagonal elemanın şekli, bağlantı kabullerine de bağlıdır [Beedle ve Rice, 1995]. Şekil 5.6'da, tipik çaprazlı çerçeve bağlantı detaylarından örnekler verilmiştir.



Şekil 5.6 Çaprazlı çerçeve bağlantı detayları (Beedle, L.S., Rice, D.B., 1995, Structural Systems for Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, McGraw-Hill, Inc., New York)

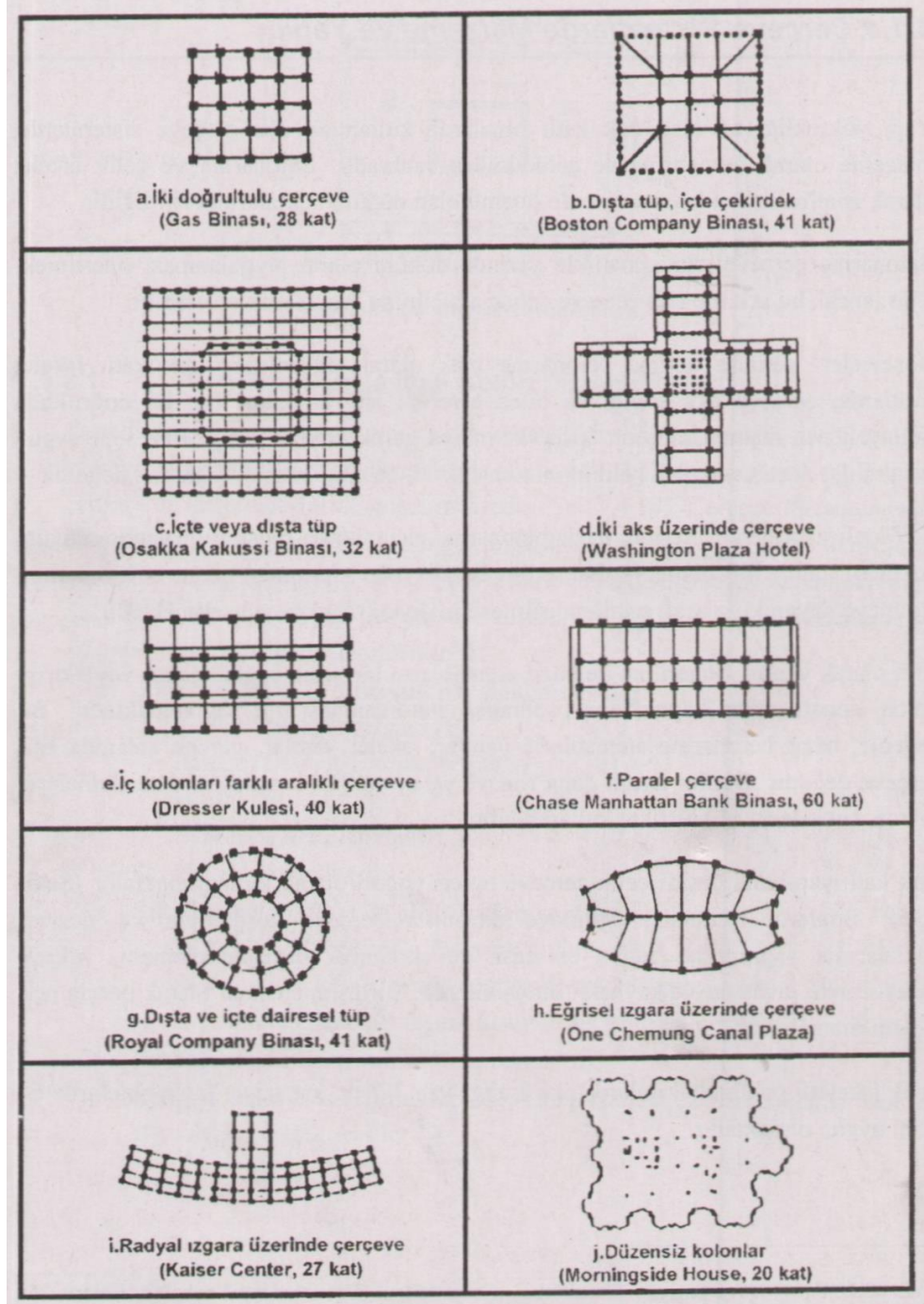
Yüksek yapılarda düşey makaslar genellikle, çerçeve diyagonallerinin kalıcı duvarlar ile gizlenebildiği, asansör shaftları ve servis çekirdekleri gibi bölgelere yerleştirilebilmektedir.

5.1.2. Çerçevelerin Düzenlenmesi

Çerçeveler, binaların iç ya da dış cephe düzlemlerine yerleştirilebilir. Çerçevelerin düzenlenmesine, plan formlarıyla ilgili kolon düzenlemeleri ve çerçevelerin rijitleştirilmeleri açısından yaklaşmak mümkündür.

Genellikle 6-9 m açıklıklar ve 25 kat yükseklikler için ekonomik olabilen, Smith ve Coull, (1991), rijit çerçeve strüktürlerde, bina formlarıyla ilgili tipik kolon

düzenlemeleri, başlıca çerçeve düzenlemelerini de göstermektedir (Şekil 5.7). Çerçeve düzenlemesindeki ana ızgara sistemler tipik düzgün ızgaralar olabildiği gibi, Şekil 5.7’de de görülebileceği gibi, eğrisel, ışınsal, çevresel vb. türde ızgaralar olabilmektedir [Schueller, 1977].

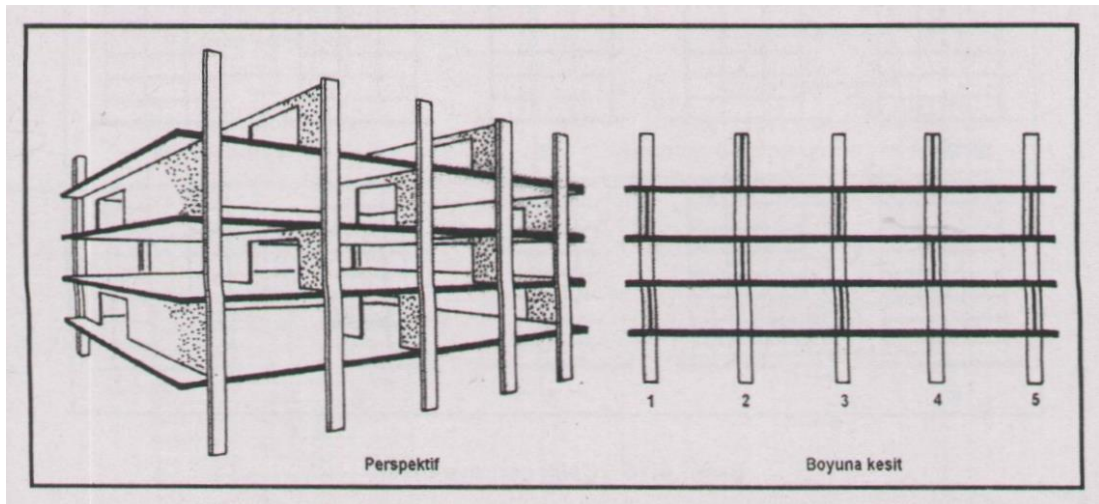


Şekil 5.7 Çerçevesel yapı sistemleri (Schueller, W., 1977, High Rise Building Structures, John Wiley & Sons, Çeviri; Ö.G.Özşen, E.F.Yamantürk, Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemler, YTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul)

Çerçevelerin mukavemeti ve rijitliği, kiriş ve kolonların boyutlarıyla doğru, kat yükseklikleri ve kolon aralıklarıyla ters orantılıdır. Kat yükseklikleri ve kolon aralıkları büyüdükçe, taşıma kapasitesi düşer. Kiriş yükseklikleri arttıkça, bina içine yerleştirilen çerçevelerin uygulanmasında problemler olur. Fazla kullanım alanı elde etmek amacından dolayı, içteki kolon sayılarının azaltılması ve boyutlarının küçültülmesi gerekir. Ayrıca döşeme kirişlerinin açıklığının büyük, yüksekliğinin az olması gerekir; bu ise çerçevelerin bir başka uygulama güçlüğünü oluşturur. Buna karşılık dışarıya ve cephelere yerleştirilecek çerçeveler, genellikle bu sakıncaları göstermez; çevredeki sık kolonlar ve yüksek kirişlerle etkin bir çerçeve sistemi ortaya çıkar. Bu şekilde çevredeki kiriş ve kolonları mimari eleman olarak kullanıp, cam eklenmesiyle de bina tamamlanır. Dış kolonların birbirine yakın olması (örneğin 1.2-3.0 m), bu düzenlemenin etkinliğini daha da artırır. Böylece aralıklı olmakla birlikte, duvardan daha kalın (kolon genişliği), pencereler için yeterli yüzeyi bırakan bir cephe elde edilmiş olur [Çeçen,1974].

5.1.3. Duvar-Kiriş-Çerçeve Sistemler

Duvar-kiriş çerçeve sisteminde, yapının kısa yönündeki açıklığı geçen ve uzun cephelerdeki kolonlara oturan, kat yüksekliğince dolu ya da delikli, yüksek kiriş şeklindeki duvarlar (wall-beam) kullanılır [Çeçen,1974], (Şekil 5.8). Bu duvar kirişlerin yerleri, katlarda üst üste, ya da şaşırtılarak yapılabilir.



Şekil 5.8 Duvar-kiriş çerçeve sistemi (Çeçen, H., 1974, "Computer Aided, Reliability Based, Optimum Design of Multi-Storey Steel Frames", MS Thesis, Washington University, St. Lois)

Duvar kirişli sistemler, iç bölmeleri sabit olan apartman, otel ve öğrenci yurdu gibi çok katlı yapılar için uygundur. Bu sistemler de alt katlarda büyük temiz alanlarla, otopark ve ticari amaçlı işyeri gibi büyük temiz alanlar oluşturur. Ayrıca bu sistemler ekonomiktir. Bunlar düzen bakımından iki ana gruba ayrılmaktadır:

5.1.3.1. Üst Üste Duvar - Kirişli Sistem

Bu tür sistemlerde, duvar-kirişlerin yerleri, üst üste katlarda aynıdır. Duvar-kirişler çelik kafes kiriş olarak yapılabilir (Şekil 5.9-a). Yüksek kiriş şeklindeki bu elemanlar rijit levha şeklinde çalışır. Bununla birlikte açık katlarda yatay yükler kolonlar tarafından karşılanır ve bu kolonlar, ana kirişleri daha rijit olan bir çerçeve şeklinde deforme olur.

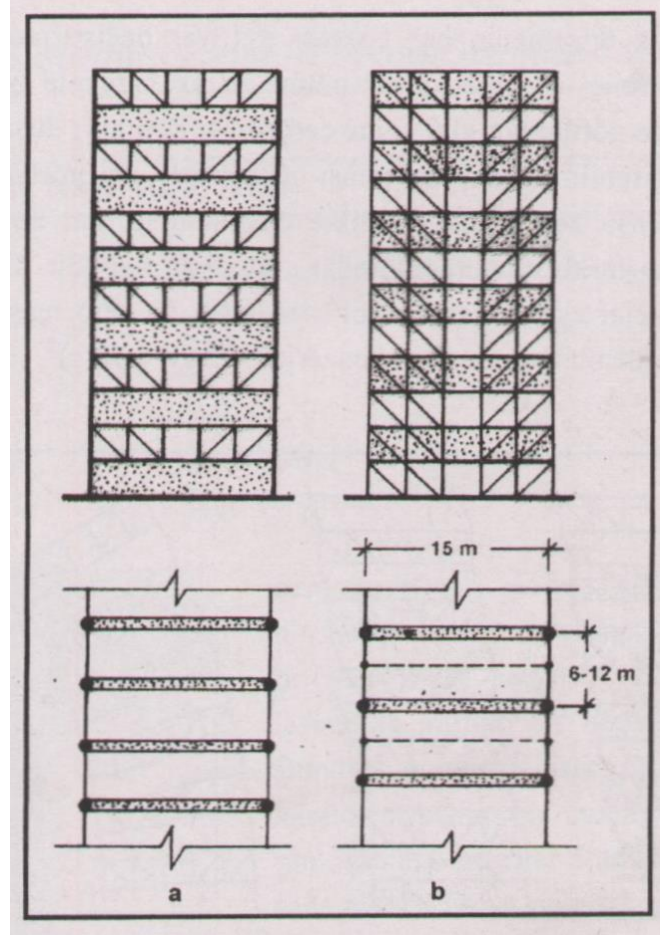
5.1.3.2. Şaşırtmalı Duvar - Kirişli Sistem

Şaşırtmalı duvar-kirişli sistemlerde, duvar kirişler üst üste şaşırtılarak her katta büyük açıklıklı alanlar elde edilir (Şekil 5.9-b). Döşemeler, duvar kirişlerin birinin üstüne oturup, diğerinin altına asıldıklarından, döşeme açıklıkları, komşu duvar kirişlerin arasındaki açıklığın yarısına düşer. Sistem şaşırtmalı olarak katlarda serbest alanlar ve planlamada esneklik istenen bina türlerinde, büyük olanaklar sağlamaktadır. Bu sistemler normal çerçevelere göre çok daha rijittir ve özellikle yatay yüklere karşı çok etkindir. Malzeme olarak çelik kullanıldığında, geleneksel çok katlı çerçeveye göre %40 daha az çelik ve daha az şantiye bileşimini gerektirir. Bu düzen 30 kata kadar olan binalarda uygulanmaktadır [Schueller, 1977].

Sonuç olarak şaşırtmalı duvar-kiriş çerçeve sistemlerde tüm binanın çalışması, her katta rijit bir konsol kirişe benzer. Kolonlar esas olarak eksenel yük etkisindedir. Kirişlerin rijitliğinden dolayı büyük eğilme momentlerinin olmaması, kolonların uzun kenarlarının, binanın uzun doğrultusunda yerleştirilmesini sağlar. Böylece katlarda uzunlamasına doğrultuda da gerekli rijitlik elde edilmiş olur. Bu doğrultuda olanaklar rijitlik, örneğin 15 kattan daha yüksek binalarda, yüksek parapet kirişleri eklenerek, yine rijit çerçeve çalışması oluşturulmasıyla ya da yapıya perde duvar ve çekirdek eklenmesiyle çoğaltılabilir.

Sistemin yatay yük altındaki davranışını anlamak için, enine doğrultudaki komşu çerçevelerin birlikte çalışmalarını göz önünde bulundurmak gerekir. Döşeme plakları sonsuz rijitlikte yatay diyaframlar olarak düşünülürse, simetrik yükler altında

döşemenin her noktası eşit yer değiştirme yapar. Bu nedenle komşu çerçeveler, birlikte ve bir bütün olarak harekete zorlanmaktadır. Enine çerçeveler ayrı ayrı düşünüldüğünde, her biri “rijit kiriş-eğilebilir kolon” davranış gösterecek gibi görünmektedir. Ancak bu davranış, komşu çerçevelerle birlikte düşünülürse, kat döşemesinin yatay yer değiştirmeleri farklı olamayacağından mümkün değildir. Dolayısıyla her katta yer değiştirmeler eşit ve kalın kolonlarında tek tip deformasyon şekli oluşur. Bu delikli bir perdenin davranışının benzeridir [Özgen ve Sev, 2000].



Şekil 5.9 Duvar kirişli sistemler (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçeveler-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

5.1.4. Çerçeve Sistemlere İlişkin Proje Örneği ve Açıklaması

- Us Steel Binası, Pittsburgh, Pennsylvania

Harrison, Abromovitz ve Abbe mimarları tarafından 69 katlı olarak tasarlanan Us Steel Binası (Şekil 5.10), 1970 yılında tamamlanmıştır. Bu bina çelik çerçeve sistemiyle inşa edilmiştir. Çelik bir çok yönden, zamanın teknolojik gelişmelerini

ifade etmek açısından amaca uygun bir malzeme olarak görülmüştür. Bu yapıda dikkati çeken ilk etki yapının cephesini oluşturan çelik çerçevedir (Şekil 5.11). İkincisi ise yapının oranlarını olduğundan farklı gösteren çerçevenin kendisidir. Yapıya yaklaşıldığında yatay kirişler, her üç katta bir dikkati çekmektedir.

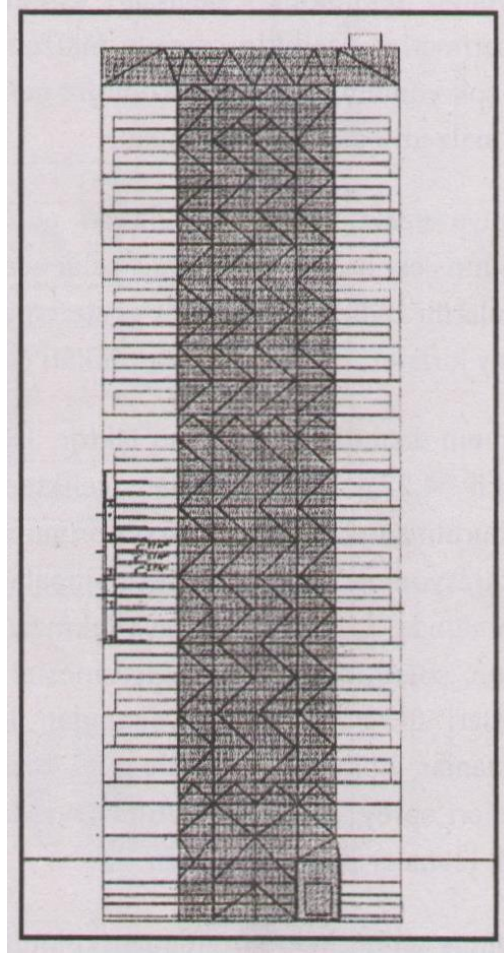


Şekil 5.10 US Steel Binası, Pittsburgh (<http://www.lera.com>)

Yapının dışında 18 masif kolondan oluşan ana taşıyıcı sistem vardır. Bu kolonlar çelikten olup, kesitlerindeki boşlukların su ile doldurulmasıyla yangına karşı korunum sağlanmıştır. Ayrıca kolonlar suyun devamlı sirkülasyonunu sağlamak için pompalarla birbirine bağlıdır. Bu pompalar bir yangın durumunda dumanların ortaya çıkmasıyla harekete geçerek, çeliklerin içinde ısınan suyun, soğuk su ile yer değiştirmesini sağlar. Oldukça büyük boyutlardaki parapet kirişleri de bu sistemle yangından korunmaktadır. Ancak bu kirişlerdeki çelik elemanlar, kolonlardakiler ile aynı kesitte tamamlanmamıştır. Bunun yerine parapet kirişleri spreyci boya ile yalıtımlı ve daha sonra strüktürel görüntü elde etmek için çelik levhalar ile kaplanmıştır.

Üç katta bir yer alan ana kat döşemelerinin parapet kirişleri cephede açıkça vurgulanmıştır. Yapı boyunca sürekli olmayan bu taşıyıcı sistem, yapının yatay yüklere dayanımında da esneklik sağlamaktadır. Standart diyagonal çaprazlı bir sisteme ek olarak diğer bir yatay yük taşıma sistemi de çekirdekte bulunmaktadır.

Çekirdeğin en üstünde yüksek bir makas kiriş bu görevi üstlenmektedir. Bu makas, yapının bir cephesindeki kolonları, karşı cephedeki kolonlara bağlamaktadır. Böylece karşılıklı iki kolon bütün olarak davranmaktadır ve yapının yatay salınımı kısıtlanmaktadır. Bu şapka sistemi diğer yüksek yapılarda, yapının ortasındaki bir makasa ek olarak uygulanmaktadır. Bu kat genellikle mekanik tesisat katı olarak kullanılmaktadır [Özgen ve Sev, 2000].



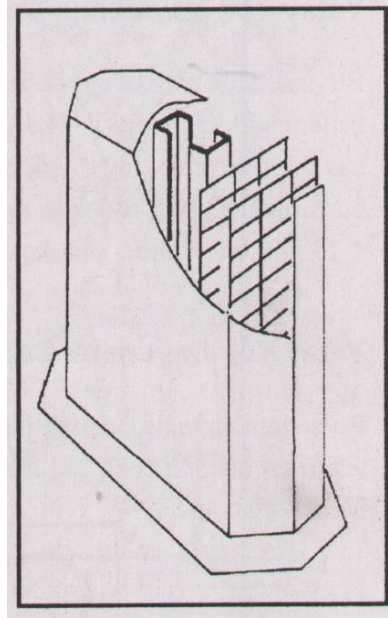
Şekil 5.11 US Steel Binası çerçeve kesiti (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

5.2. Çerçeve ve Perdeli Sistemler

Yapı yüksekliği arttıkça taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerle düzenlemek yeterli olmamaktadır. Bu nedenle bu sisteme perde duvarları gibi düşey rijitleştirme elemanları ilave etmek gerekir. Bir yapının taşıyıcı sistemi çekirdekli sistemle beraber oluşturulabileceği gibi tek başına perde uygulaması da yapılabilir. Bu tip taşıyıcı sistemler konut gibi küçük olan yapılar için geçerlidir. Bu tür sistemler büyük

ve geniş alan gereken yerlerde kullanılmaz [Piroğlu, 2001]. Bu sistemler her ne kadar betonarme strüktürlerin yanında geçerli olduğu söylene de, perde duvarları çelik düşey kafes kirişlerle yapılabilir. Yüksek yapıların mimari açıdan cephelerinin dizaynında bazen yapının cephesini daha narin taşıyıcı elemanların oluşturması gerekebilir. Bu gibi hallerde yapıya etkiyen büyük yatay yükleri karşılayacak olan betonarme bir çekirdek yapı ile döşemeleri ve dış yüzeyi çelik olan kolon-kiriş sistemiyle birlikte kullanılır. Bu sistemde uygulanacak çelik taşıyıcıların düşey yükleri taşıyacak şekilde tasarlanması gerekir. Perdeli ve çerçeveli sistemler genellikle 40-60 kat yükseklikler için uygundur; ancak deprem etkisi altındaki bölgelerde bu kat adetleri çok daha düşüktür [Özmen, 1989].

Dünyada, çok katlı yapı tasarımında en çok kullanılan taşıyıcı sistem perde ve çerçevelerden oluşan sistemlerdir (Şekil 5.12).

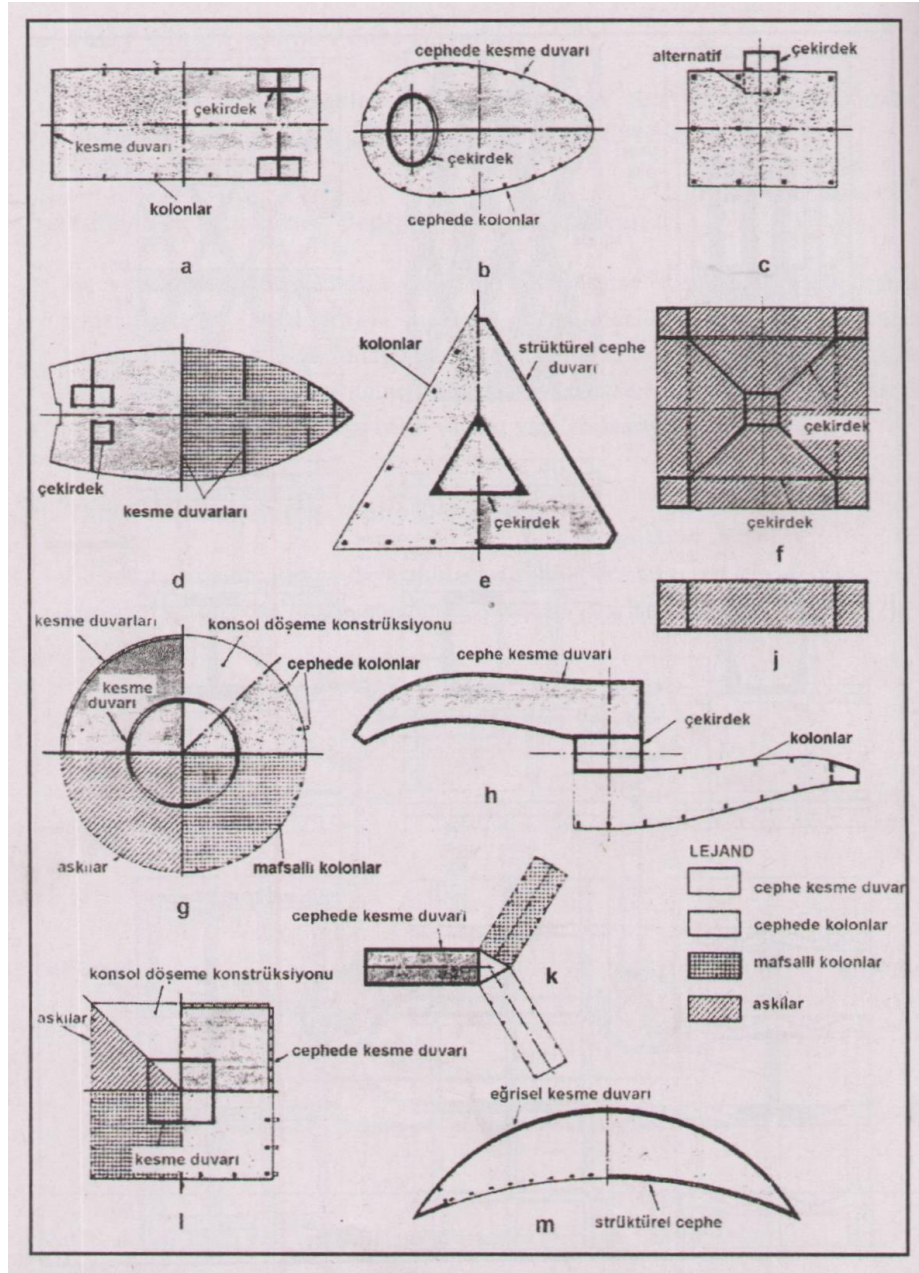


Şekil 5.12 Rijit çerçeveli ve perde duvarlı sistem (Smith, B.S., Coull, A., 1991, “Tall Building Structures Analysis and Design”, New York)

Bir perde duvarlı ve çerçeveli strüktürde, perde duvarları yatay yüke dayanım açısından üç gruba ayrılabilir [Smith ve Coull, 1991]:

- Yatay Yük Dayanımlı Perdeler: Bu sistemde perde duvarları ve/veya çekirdekler tüm yatay yükleri alırken, kolon ve döşemeler düşey yükleri taşırlar (Şekil 5.13).
- Yatay Yük Dayanımlı Cephedeki Perdeler: Bu sistemde delikli cephe duvarları yatay stabiliteyi üzerlerine alırlar. Bu yapı formu havalandırma ve doğal ışık alma gereksiniminden dolayı yüksek büro binaları için tercih edilebilir.

- Yatay Yük Dayanımlı Cephe Çekirdekleri: Bu sistemlerde de, yapıya rijitlik ve dayanıklılık kazandırmak için, cepheye bir dizi çekirdek kombinasyonu yerleştirilir.

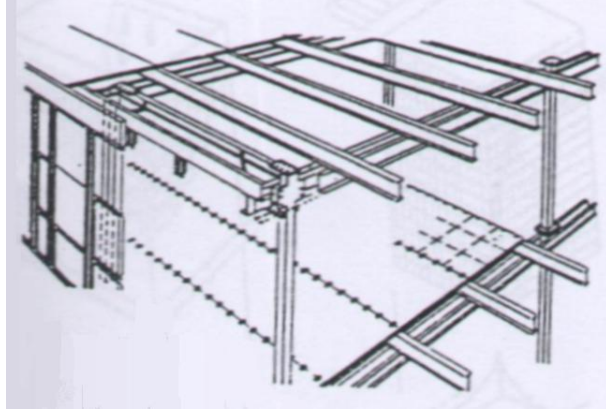


Şekil 5.13 Çerçeve ve perde duvarlı sistemlerde perde duvarların farklı düzenlenmeleri (Smith, B.S., Coull, A., 1991, “Tall Building Structures Analysis and Design”, New York)

5.2.1. Rijit Çerçeve ve Çekirdek Sistemler

Bu klasik sistemde, tüm kolon ve kirişler birbirine rijit olarak bağlanır. Rijit çerçeveler, yatay yüklere kiriş ve kolonların eğilmesi ile karşı koyar. Bu davranış şekli belli yükseklikteki yapılarda yatay salınıma neden olur.

Her iki doğrultuda rijit çerçevelerin kullanıldığı bir yapı Şekil 5.14’de görülmektedir. Çift U profili ile düzenlenmiş kat kirişleri kolonlarla birlikte enine çerçeveyi oluşturmaktadır. Bir taşıyıcı çekirdek bu sisteme eklendiğinde yapının yatay dayanımı çekirdek ve çerçevenin birlikte çalışması ile belli bir ölçüde arttırılır.



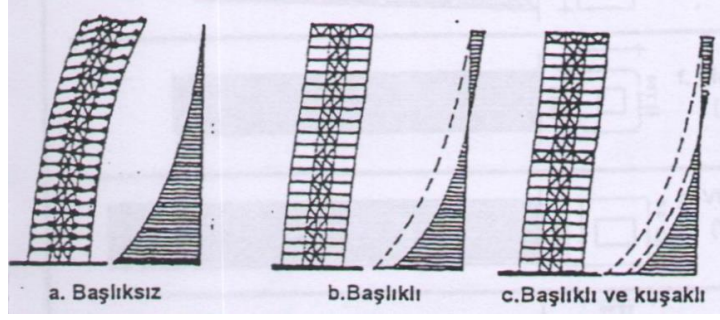
Şekil 5.14 Rijit çerçeve (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Duvar ve çerçevelerin birlikte davrandıkları bu sistem özellikle binanın üst noktalarında daha rijit bir strüktür oluştururlar. 40-60 kat yükseklikler için uygun olan bu strüktürler çapraz kuşaklarla desteklenen çelik çerçeveler için de uygun olabilmektedir [Smith ve Coull, 1991].

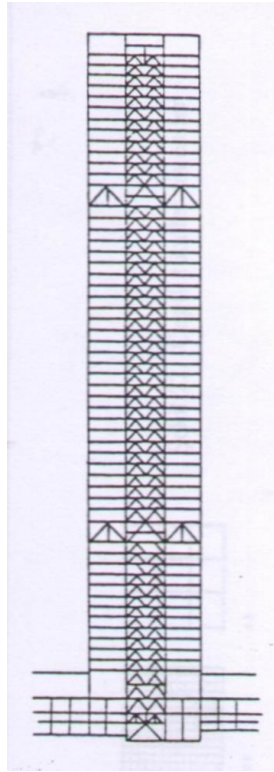
Çekirdek ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanıldığı bazı tipik yapılar Şekil 5.13’de gösterilmiştir. Bu plan şekilleri kirişli ya da kirişsiz döşeme sistemleri ile yapılabilmektedir [Schueller, 1977].

5.2.2. Düşey Kafes Kirişli Sistemler

Çok katlı yüksek yapılar en ekonomik ve etkin bir şekilde düşey kafes kirişlerle rijitleştirilir. Şekil 5.15’de görüldüğü gibi düşey kafes kirişler statik bakımından zemine ankastre kiriş gibidir. Dar kafes kirişlerde çubuk kuvvetleri küçük olduğundan ekonomik şekilde boyutlandırılabilir. Dar kafes kirişlerin rijitliklerini arttırmak için birkaç katta diyagonal bağlantılar kat genişliğince uzatılır. Ayrıca rijitliğin sadece üst kata konan yatay bir kafes kirişle arttırılması da mümkündür. Kafes kiriş rijitliği ise çubuklar eğilme rijitlikli seçilerek ve düğüm noktaları rijit düzenlenerek arttırılabilir [Piroğlu, 2001]. (Şekil 5.16)



Şekil 5.15 Düşey ve yatay kafeslerin bir arada kullanıldığı yatay yük altında davranış (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)



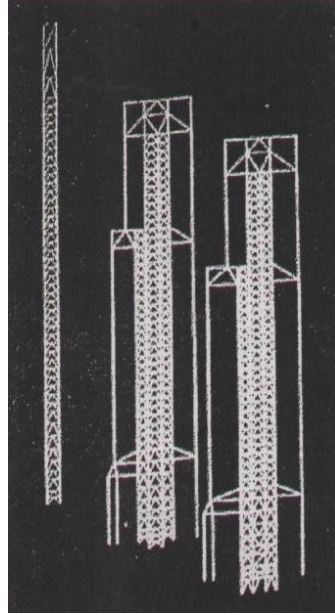
Şekil 5.16 Düşey kafes kirişli yapı (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

5.2.3. Yatay Kafes Kirişli Çerçeve ve Çekirdekli Sistemler

Sadece düşey bir kafes kirişin bulunduğu çerçeve sistemler 40 katın üzerindeki yapılar için uygun değildir. Bu sistemde rijitlik ve sağlamlık gerekir. Taşıyıcı sistemin rijitliği çerçeveyi çekirdeğe bağlayan yatay kafes kirişler kullanarak yaklaşık %30 oranında arttırılabilmektedir. Bu kafes kirişler çekirdeğe rijit, dış kolonlara basit olarak bağlanır. Çekirdek tüm yatay kesme kuvvetlerini karşılarken,

yatay kafes kirişler de düşey kesme kuvvetlerini çekirdekten dış çerçeveye iletir. Böylece sistem bir bütün olarak çalışır.

Günümüzde özellikle büro işlevli yüksek yapılarda, asansör shaftlarının, servis gereksinimlerinin bulunduğu bir çekirdek ve bu çekirdek ile cephe arasında geniş, boşluklu, kolonsuz çalışma mekanlarının istenmesi kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu strüktürel gereksinim, yüksek bir yapıdaki devrilme yüklerine karşı koyacak iki büyük strüktürel elemanı zorunlu kılmaktadır. Bu elemanlar sayesinde çekirdek ve dış çerçeve bir anlamda birbirinden ayrılmakta, her bir elemanın ayrı ayrı dayanımlarının toplam değerleri doğrultusunda strüktürün devrilme kuvvetlerine dayanımı azalmaktadır. Yatay kafes kirişlerin kullanımı ile bu iki elemanın birbirine bağlanması sonucunda sistemin devrilme yüklerine karşı koyma kapasitesi arttırılabilmektedir.



Şekil 5.17 Birden fazla yatay kirişin yapının farklı yerlerinde kullanılması, Bond Binası, Sydney, Avustralya. (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

Yatay kafes kiriş elemanlar yüksek yapılarda son 25 yıl içinde kullanılmaya başlamış olsa da strüktürel açıdan bu elemanların kullanımı eskiye dayanmaktadır. Çekirdek ve yatay kafesli kirişli tipik bir modellemesi Şekil 5.17’de görülmektedir. Buradan da anlaşılabileceği gibi, yatay kafes kirişler çekirdekteki devrilme momentini azaltmaktadır. Aksi halde çekirdek basit bir konsol kiriş şeklinde davranacak ve basınç-çekme kuvvet çifti ile momentleri çekirdek dışındaki kolonlara iletecektir.

Çekirdeğin boyutlarının azaltılması bir tarafa, yatay kafes kirişler kritik bağlantı noktalarını da azaltacaktır. Yüksek yapılarda aynı fayda çekirdekte devrilme momentinin azalması ile ortaya çıkmaktadır. Yatay kafes kiriş elemanların strüktürel etkinlik ve estetiği bu şekilde geçmişte rahatlıkla görülebilmektedir. Bu elemanlar aynı zamanda ekonomik ve estetik açılardan yüksek yapıların tasarımında anahtar elemanlardır [Özgen ve Sev, 2000].

5.2.3.1. Yatay Kafes Kiriş Elemanlarının Sağladığı Avantajlar

Bir çok yapıda ortaya çıkan problemlere ve sadece çekirdek veya tübüler sistemlerin sınırlamalarına bir çözüm olarak, sisteme bir veya daha fazla yatay kafes kirişin eklenmesi önerilebilmektedir.

Birden fazla cephede çekirdek ve dış kolonları birbirine bağlayan tipik yatay kafes kirişleri Şekil 5.17’de görmekteyiz. Bu sistem de çelik, gerektiği gibi etkin bir şekilde düzenlendiği zaman, yapıya strüktürel ve fonksiyonel açılardan bu şekillerde faydalı olmaktadır:

- Çekirdekteki devrilme momentleri, her bir yatay kafes kirişin çekirdekle kesiştiği noktada uyguladığı karşıt moment ile azaltılabilir.
- Dıştaki kolonların yerleşimi strüktürel gerekler doğrultusunda ortaya çıkmadığı için estetik ve fonksiyonel gereklere uyumlu olabilecek şekilde tasarlanabilmektedir.
- Kolonlarda ve temel sisteminde artan basınç gerilmeleri bütünüyle azaltılabilir.
- Dıştaki çerçeve daha ekonomik olarak basit kiriş ve kolonlarla, rijit çerçeve tipi bağlantılara gerek kalmadan oluşturulabilir.
- Dikdörtgen planlı yapılar için yatay kafes kirişler yapının uzun kenarı boyunca yerleştirilecek kolonlar ile rüzgar yükleri altında uyum sağlayabilir.

Yatay kafes kirişlerin kullanılmasıyla ortaya çıkan en önemli sorun, kullanılabilen alanlarda fonksiyonel yönden engel oluşturmalarıdır. Bu engel;

- Bu elemanların mekanik tesisat katlarında ve eğimli yüzeyleri olan katlarda kullanarak,
- Herhangi bir katta elemanların neden olduğu engellemeyi en aza indirme amacıyla, çok katlı basit diyagonaller şeklinde yatay kafes kirişler tasarlayarak,

- Yatay kafes kirişleri öteleyerek veya çarpıtarak, zemin katların fonksiyonuna uyumlu kılarak ortadan kaldırılabilir [Beddle ve Rice,1995]. Yatay kafesli strüktürler, 40-70 kat yükseklikler için ekonomik olabilmektedir.

5.2.4. Çerçeve ve Perde Duvarlarının Yapıda Birlikte Çalışması

Yalnızca çerçevelerle oluşturulan çok katlı yapılarda yükseklik arttıkça, alt katlardaki kolon kesitleri çok büyür. Bunun nedeni, çerçevelerin, yapı yüksekliği arttıkça yatay yükleri karşılamada yetersiz kalmasındandır. Bu nedenle çerçeve ve perde sistemler birlikte kullanılır.

Böylece perdelerin rijitliklerinden doğan yetersiz süneklik oranı¹, yapıya çerçevelerin eklenmesiyle arttırılmakta; yalnız çerçevelerin kullanılmasıyla yatay yüklerin doğurduğu sapmalar, sisteme perdeler eklenerek önemli ölçüde önlenmektedir.

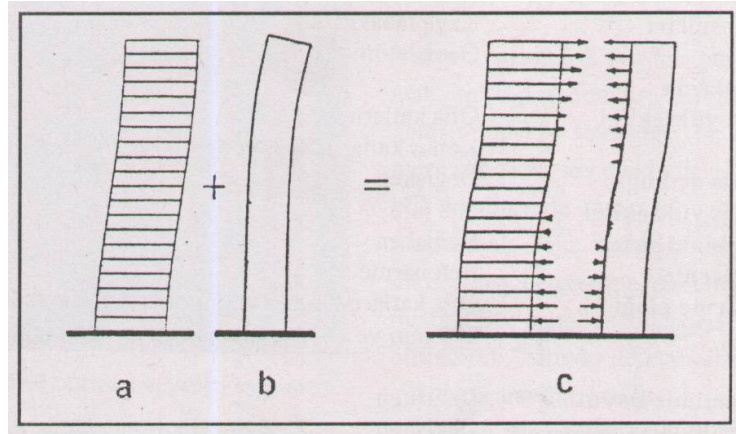
Deprem bölgesindeki çok katlı yapılarda perde ve çerçevelerin birlikte çalışması önem kazanır. Çerçevelerdeki yüksek düktilite oranı, deprem etkilerinin daha küçük olması gibi önemli bir üstünlük sağlar [Çakıroğlu ve Özmen, 1973]. Fakat tek başlarına çerçeveler yetersiz kalmakta ve yatay yer değiştirmelerin sonucu, taşıyıcı sistem dışında kalan yapı elemanlarında hasarlar ve çatlaklar oluşmaktadır. Buna karşın perde sistemler de tek başlarına kullanıldıklarında, üst katlarda oluşan büyük eğilme ötelenmeleri nedeniyle, bu katlarda oturan bina kullanıcıları psikolojik rahatsızlık duymaktadır. Bundan dolayı artan bina yüksekliklerinde büyük yatay etkiler perde ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanılmasıyla karşılanmaktadır. Böylece perdeler yatay yüklerin çoğunu karşılayarak çerçevelere yardımcı olmakta, çerçeveler ise perdelerin büyük rijitlik etkisini azaltarak ve topyekün sistemin süneklik oranını arttırarak, yatay etkilerin azalmasını sağlamaktadır.

Birlikte çalışan perde ve çerçeve sistemlerin ortak deformasyon durumu, bunların birbirlerine karşılıklı etkileri göz önünde tutularak süper pozisyonla elde edilir [Özgen, 1989-a]. (Şekil 5.18)

- Rijit çerçevede özellikle kayma modu deformasyonu egemendir (a). Kayma etkileri ve şekil değiştirmeler, sistemin tabanında oluşur.

¹Süneklik (Düktilite) Oranı: Taşıyıcı sistemin düktülitesini ilk akma deformasyonunun ötesinde, yükü taşımaya devam ederken deformasyonlarını arttırabilme yeteneğidir [Hasol, 1995].

- Perde duvarda eğilme şekil değiştirmesi egemendir (b). Perde duvarda eğilme ötelenmesi binanın tepesinde oluşur.
- Çerçeve-perde birlikte çalışmasında, binanın üst kısmındaki perde eğilmesi çerçeveler, çerçevelerin alt katlarındaki kaymalar ise perde tarafından engellenir (c). Böylece rüzgarın oluşturduğu kesme kuvveti yapı üst kısmında çerçeve, alt kısmında da perde duvarı ile taşınır [Schueller, 1977].



Şekil 5.18 Perde ve çerçeveli sistemlerin şekil değiştirme modları (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçeveler-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

5.2.5.Çerçeve-Perde Duvarlı Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları

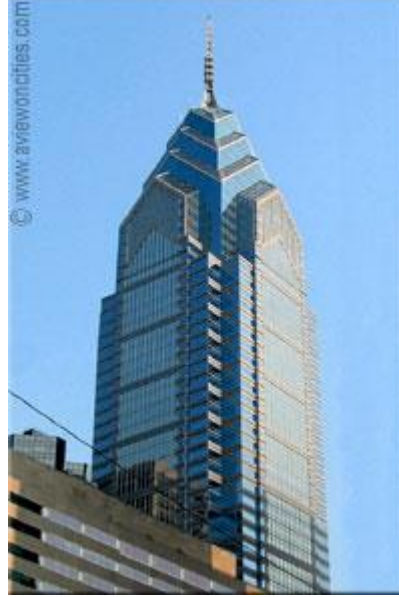
• One Liberty Place, Philadelphia, Pennsylvania, ABD

Murphy ve John mimarları tarafından ofis binası olarak tasarlanan 61 katlı, 288 m yüksekliğindeki One Liberty Place (Şekil 5.19), 1988 yılında tamamlanarak faaliyete geçmiştir.

Esneklik ve yüksek dayanımından dolayı strüktürel çeliğin kullanıldığı bu yapıda çeliğin tercih edilmesinin bir nedeni de, minimum boyutlardaki elemanların büyük çekme ve basınç gerilmelerini etkin olarak aktarabilmesidir. Döşemelerde istenen kalınlığı sağlamak için, ağır yüklerden dolayı dış kolonlarda, çaprazlarda ve çekirdekte geniş başlıklı flanşlar kullanılmıştır. Katlarda çelik kirişler çekirdekten cepheye kadar 13.4 m açıklık geçmektedir. Böylece katlarda oldukça geniş kolonsuz mekanlar oluşturulmuştur.

Yatay yüklere karşı sistem, 21.3 x 1.3 m'lik çaprazlı çekirdeği üç noktada cepheye bağlayan dört kat yüksekliğindeki yatay konsol kafes kirişlerden oluşmaktadır.

Basitleştirilmiş modeller her ne kadar yapıdaki dış kolonların eşit aralıklarla yerleştirilmesi halinde en etkin durumun oluşacağını gösterse de, optimizasyon programları bu kolonların ek çelik elemanlar olmaksızın, bina yüksekliği boyunca aralıklarının modifiye edilmesiyle rüzgar yüklerinin etkisini karşılayabileceğini göstermiştir [Beddle ve Rice, 1995].



Şekil 5.19 One Liberty Center, Philadelphia (<http://www.aviewoncities.com>)

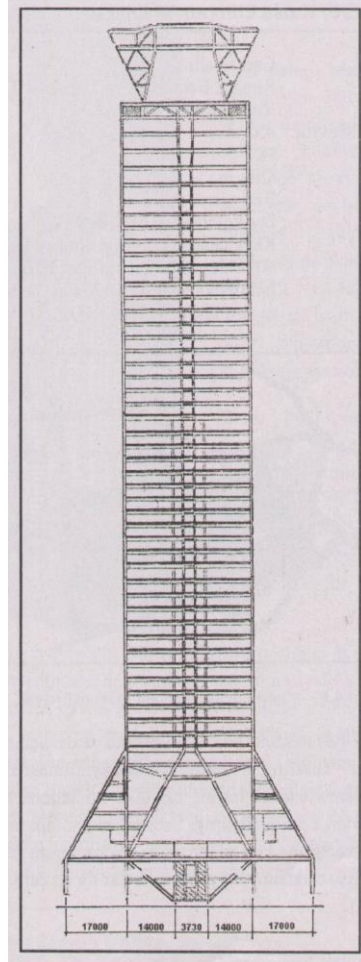
- World Trade Center, Osaka, Japonya

Mancini Duffy Ortaklığı ile Nikken Sekkei mimarları tarafından tasarlanan 55 katlı, 252 m yüksekliğindeki World Trade Center (Şekil 5.20), Japonya'nın Osaka şehrinde, ıslah edilmiş bir zemin tabakası üzerine oturtulmuş bir büro binasıdır. 7. katın altında kolonlar, yapının zemin üzerindeki eksenel yükleri büyük oranda yaymak ve yatay yüklere karşı yapının dayanıklılığını arttırmak için, bir süper kafes ile dış çerçeveye aktarılmaktadır. Bu süper kafes yapı için zemine yakın bir yükseklikte büyük bir platform oluşturmakta ve kulenin temel strüktürü ile bütünlük sağlamaktadır. Şekil 5.21'de çerçeve şeması gösterilmiştir. Çaprazlı çekirdek ile dışta rijit çerçevenin strüktür tipi olarak kullanıldığı bu yapıda malzeme olarak da çelik tercih edilmiştir.

Yapının strüktürel sisteminin tasarımında deprem yüklerinden çok rüzgar yükleri rol oynamıştır. Tasarımda etkili olan ve titreşim hasarlarını da kapsayan rüzgar yükü değerleri, rüzgar tüneli deneyleri sonucunda belirlenmiştir [Beddle ve Rice, 1995].



Şekil 5.20 World Trade Center, Osaka (<http://www.city.osaka.jp>)



Şekil 5.21 World Trade Center çerçeve şeması (Beedle, L.S., Rice, D.B., 1995, Structural Systems for Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, McGraw-Hill, Inc., New York)

5.3. Çekirdekli Sistemler

Çekirdekler, perdelerin birleşmesiyle oluşan düşey taşıyıcı elemanlardır. Çok katlı yüksek bir yapıda çekirdek, çelik, betonarme veya her iki malzeme birleştirilerek oluşturulabilir.

Çelik çekirdekler, diyagonal bağlantılı vierendeel çerçeve (düşey kafes kiriş) ve düşey stabilite ile sağlanır. Çelik çerçeve çekirdekler, prefabrike elemanların hızlı montajından dolayı daha yararlıdır.

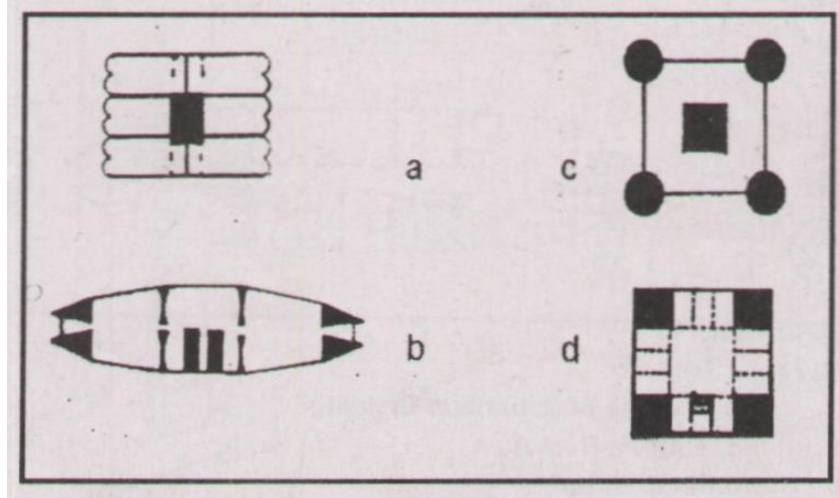
Özellikle büro binaları ve ticari amaçlı binalarda, büyük ve geniş alanlara gereksinim vardır, yani, mekanlar arasındaki esneklik, hareketli ya da geçici bölmelerle sağlanır. Bu durumda bina içine perde duvar yerleştirmek güçtür. Yine de yatay yükleri karşılamak için perdeler gereklidir. Bu sebepten büro binalarında perdelerin birleştirilmesiyle oluşturulan çekirdek ya da çekirdekler kullanılır.

Binanın işlevi ve alanına bağlı olarak çekirdek boyutları değişiklik göstermektedir. Kullanım alanını genişletmek için çekirdek boyutları küçültülebilir. Yine de çekirdek tüm katlarda döşeme alanının yaklaşık %20-25 kadarını kaplar. Yatay yüklere dayanıklı olması amacıyla çekirdekte kapılar ve mekanik-sıhhi donanım için bırakılan açıklıkların mümkün olduğunca küçük olması yararlıdır.

Çekirdek, bölgesinin kat planı içindeki yerine göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır [Özgen ve Sev, 2000].

- İç Çekirdekler: Kullanım alanları tarafından çevrelenmiş çekirdek alanları “iç çekirdek” olarak tanımlanmaktadır (Şekil 5.22-a). Bunlarda plan alanıyla, çekirdek alanının benzerliği, kule biçiminde yapıların oluşmasına yol açar. Çeşitli biçimlerde halkalar şeklindeki koridor sistemi, çekirdeği faydalı alanlara bağlar. Doğrusal ulaşım sistemine bağlı çok katlı yapılar ise noktasal alanlardan farklı olarak, çok katlı “dilim yapı” olarak nitelenir. Yapı maliyetini düşürmek için, genellikle noktasal çok katlı yapıların yan yana eklenmesiyle dilim biçiminde görünüşe sahip, noktasal planların toplamından oluşan bir yapı bütünü ortaya çıkmaktadır.
- Çeper ya da Uç Çekirdekler: Çekirdekler, plan dış kenarlarında kalıyorsa, “çeper çekirdek” olarak tanımlanır (Şekil 5.22-b). Çeper çekirdek hem dilim planlı hem de

noktasal yapılar da kullanılır. Çekirdek alanının kat planı içindeki yerine göre, orta çekirdek, uç çekirdek olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 5.22 Çekirdeğin yeri (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

5.3.1. Çekirdeklerin Düzenlenmesi ve Çalışma Şekilleri

Yüksek bir yapının kat planı, çekirdek, iç kısım ve çevre bölgelerinden oluşmaktadır. Çevre bölge, “pencere duvarından çekirdeğe doğru üç planlama modülü derinliğinde” tasarlanabilir. İç bölge, çevre bölge ile herkese açık koridorlar arasında kalan bölgedir. Çekirdek bölgesi ise, asansörlerin yer aldığı ve bu asansörlerin önlerindeki bekleme ve geçiş alanlarının oluşturduğu bölgedir.

Yapıların çekirdekleri birçok şekilde düzenlenebilmektedir. Bunlardan en tipîği, merkezi ve ayırık tip çekirdek düzenlemeleridir. Merkezi çekirdekli düzenlemeler, kare planlı yapılar kullanışlı olurken, ayırık tip çekirdekler daha çok dikdörtgen planlı yapılar için uygundur .

Merkezi çekirdekli planlar, WC'lere, merdivenlere ve serbest kullanım alanlarına çekirdeği çevreleyen bir koridor ile dolaşım sağlar. Çekirdek alanları 2.7 m ile 3.4 m arasında değişen, uzun-dar biçimlere sahiptir. Ayırık çekirdekli planlar çekirdekleri daha büyük olan ana çekirdeğe bağlanan çevresel koridorlara sahiptir. Bu düzenleme toplantı salonları, lobi, depolar gibi yan hizmetlere ulaşım sağlamaktadır.

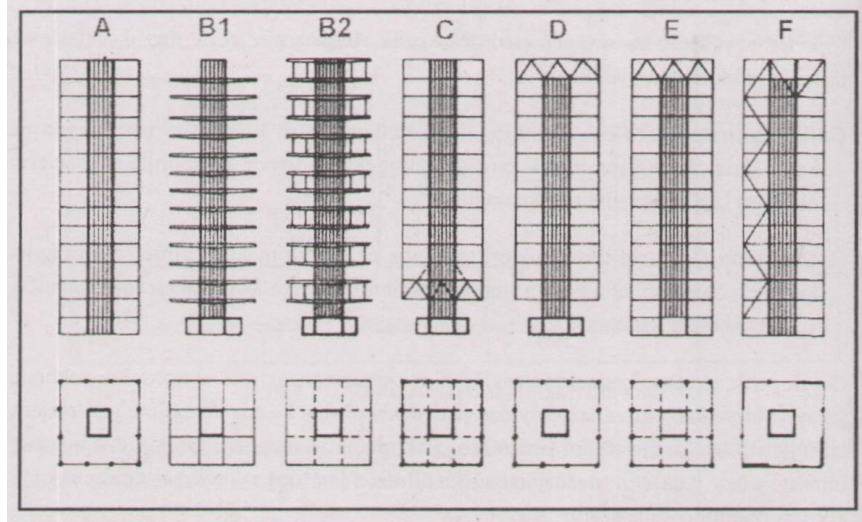
Yüksek bir yapıda merdiven girişleri mümkün olduğunca birbirinden uzak yerleştirilmelidir. Mekanik fanlar, merdivenler, şaftlar tesisat kanallarına ve odaların hava kanallarına dağılımı engellemelerinden dolayı telefon ve elektrik kutularıyla

çevrelenmeyen, yerleri istendiğinde kolaylıkla değiştirilebilecek serbest bölgelere yerleştirmelidir [Ali, 1990].

5.3.2. Merkezi Çekirdekli Sistemler

Bu bölümde çekirdeği ana taşıyıcı strüktür olarak kullanan sistemlerin incelenmesi yer alacaktır. Bu tür sistemler daha çok büro olarak kullanılan yapılar için uygundur.

Bu gruba giren sistemler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (Şekil 5.23):



Şekil 5.23 Merkezi çekirdekli sistemler (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçeveler-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

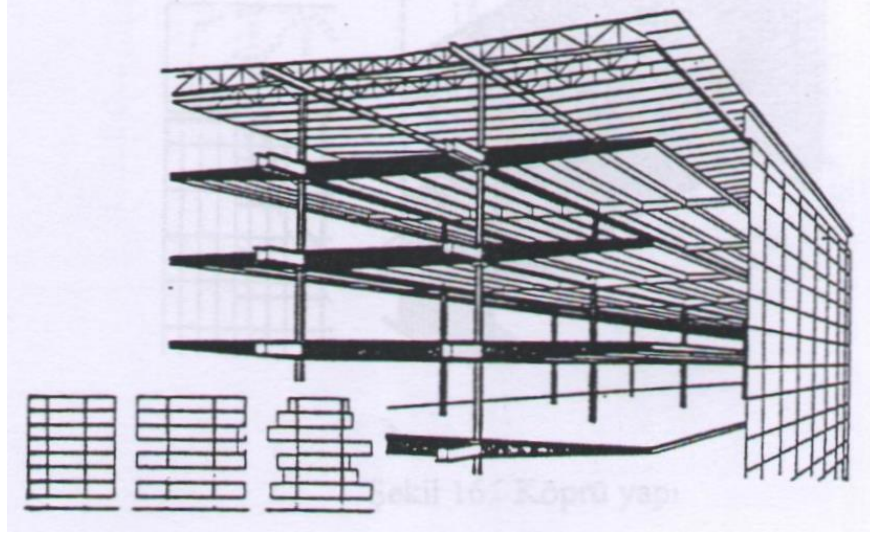
- 1.Çekirdek ve konsol döşemeli (B1 -B2),
- 2.Çekirdek ve asma (D),

5.3.2.1. Çekirdek ve Konsol Döşemeli Sistem

Konsollu sistemlerde, konsollu çerçeveler kullanılmaktadır. Şekil 5.24’de görüldüğü gibi dış duvarlar çatıdaki kafes kirişlere asılmaktadır. Bu yüzden dış duvarlar, kat döşemelerinin farklı yükler altındaki etkilerinden dolayı yapacağı şekil değiştirmelerden etkilenmezler. Duvarlarla kat döşemeleri bağlantıları şekil değiştirmelere imkan verecek şekilde yapılmalıdır [Piroğlu, 2001].

Konsol döşemeli sistem uygulaması, konsol boyu fazla ise ve negatif momentlerin taşınması için gerekli donatının artmasından sınırlı kalmıştır (Şekil 5.23B₁). Konsolun Vierendeel kirişi şeklinde yapılması bu sakıncaları azaltmaktadır (Şekil

5.23B₂). Vierendeel kirişli sistem her iki katta bir, bir kat yüksekliğindeki taşıyıcılardır, yukarıdaki döşeme bunların üzerine oturmakta, alttaki ise bunlara asılmaktadır. Her iki katta bir taşıyıcı elemanların olması bu sistemin yararı sayılır.



Şekil 5.24 Konsol yapı (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Konsol döşemeli sistemlerde çekirdeğe aktarılan düşey yükler, yukarıda sıfırdan başlar, altta en büyük değere ulaşır. Bu durum, taşıyıcı elemanlar açısından cephede maksimum bir açılma olanağı sağlar. Bu sistemin ilk ve belirgin örneklerinden biri olarak “Johnson Wax Laboratuvar Binası” (F.L. Wright) gösterilebilir [Özgen, 1989b].

5.3.2.2. Çekirdek ve Asma Sistem

Asma taşıyıcı sistem, taşıyıcı elemanları ankraj noktalarına arasına asılı kablolar olan bir sistemdir. Eğri biçimlerin yarattığı taşıyıcılık üstünlüğüne ek olarak kabloların yalnızca çekme etkisinde olmaları asma sistemleri büyük açıklıkların geçilmesinde en etkili sistemlerden biri durumuna getirmektedir. Asma sistemler, hafiflikleri ve eğilme rijitliklerinin az olması nedeniyle rüzgar gibi simetrik olmayan yükler etkisinde büyük ölçüde yer değiştirebilirler. Bu asma sistemlerin en olumsuz yanısıdır. Asma sistemi oluşturan çelik kablolar çok sayıda çelik telin birbiri etrafında sarılmasıyla oluşan tel gruplarının kombinasyonlarıyla oluşturulurlar. Kablolar bir askı ve gergi elemanı olarak yada bir yüzey oluşturmak için kullanılabilir.

Bu sistemde kat döşemeleri askılarla çekirdeğe asılmaktadır. Kat yüklerinin doğrudan çekme ile taşınması, sistemin elemanlarını eğilme ve burkulma etkisinden

kurtarır [Karataş, 1979], (Şekil 5.23D). Askı elemanları genellikle çelik ve yassı, profil, yuvarlak ve halat biçimlerinde olur. Asma sonucu, askı kuvvetleri çekirdeğin üstünde toplanır; bu, çekirdekte bir öngerme oluşturur. Böylece çekirdeğin devrilme riski arttırılmış olur. Bu sistemlerde rijitleştirme önlemleri alınmadığında, eğilme rijitlikleri olmadığından dolayı şekillerini değişen yüklere göre ayarlayamazlar ve bu yüzden aerodinamik kararsızlık ve sallanmaya sebebiyet verirler. Bu salınımın önlemi taşıyıcı kablonun alttan gerilmesiyle alınır ya da yangından koruma amacıyla askıya beton giydirilir.

Asma sistemlerin stabil hale getirilmesi problemi önemli bir tasarım etkenidir. Dahası, çekme elemanlarında yüksek gerilme yığılması, bağlantı noktalarında sorun çıkarmaktadır [Piroğlu, 2001]. Bu sistemlerin olumlu tarafları zemin katta açıklık sağlamasının yanı sıra, özellikle zemin gerilmesinin yüksek ve binanın yakınında komşu temellerin bulunması durumunda kesin bir üstünlük sağlamasıdır. Ayrıca askı elemanları çekmeye çalıştığından narin bir geometri ile yapılmakta, dolayısıyla cephe duvarlarına çok fazla engel olmamaktadır (Şekil 5.25).

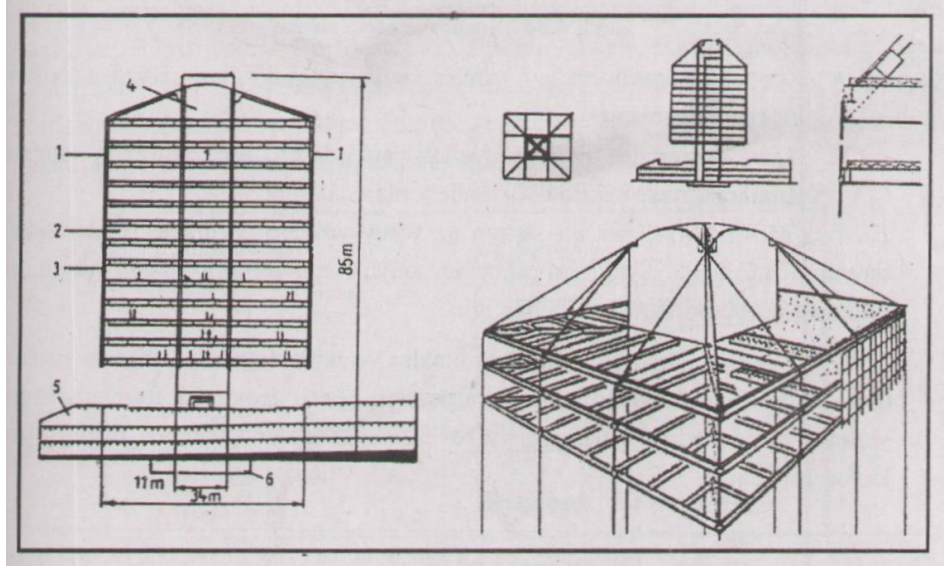
Konsol ve asma sistemlerin iç kuvvet dağılımlarının karşılaştırılması Şekil 5.26'da gösterilmiştir.

- Konsol sistemde düşey yükler, yukarıdan aşağıya, sıfırdan maksimuma ulaşır.
- Asma sistemde askı kuvvetleri çekirdeğin üst kısmında öngerme yaratarak, önce çekirdek üstünde toplanmaktadır.

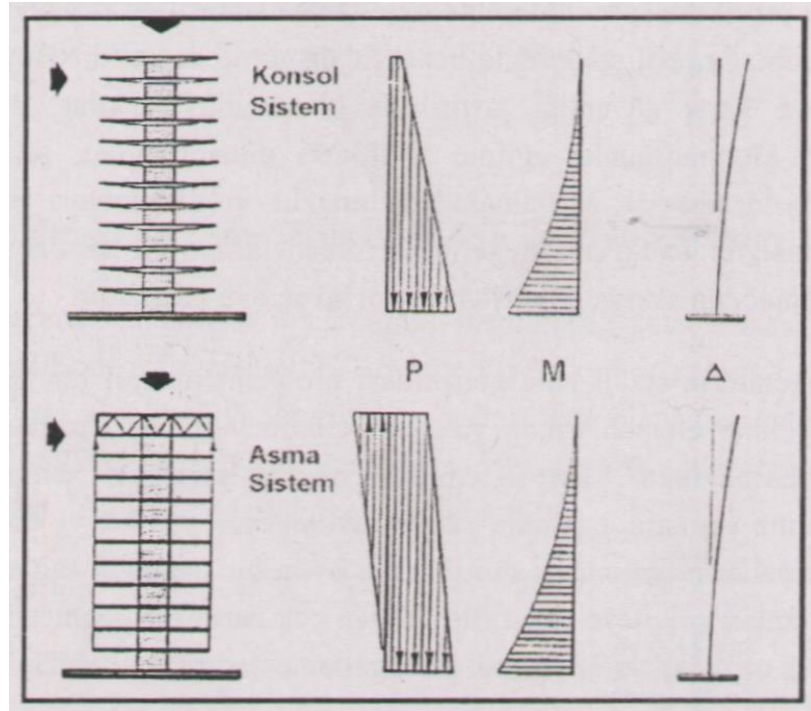
Bu fark göz ardı edilirse, her iki sistem de yatay yüklere eğilmede aynı şekilde davranır.

Çok katlı binalar da son 40-50 yıl içinde, taşıyıcı sistemde asma sistem kullanmıştır. Asma sistemler, çeşitli geometrik formlara, istenen yapım yöntemlerine, maliyet, süre ve mekansal isteklere bağlı olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde pek çok yüksek binada, rijit çekirdek ilkesi uygulanmaktadır. Çekirdek ya da çekirdekler binanın tüm ağırlığını taşırlar ve yatay yüklere konsol eğilmesiyle mukavemet ederler. Bu durumda basınç yükleri ile yüklenmiş bir çekirdek, beton malzemeyi ön plana çıkarmakta, çelik çekirdekler bu yönde ekonomik olmamaktadır. Yapının durumuna ve planlamaya göre, gereğinde çekirdek sayısı arttırılabilir. İki ya da daha çok askı varsa, askılar bunlar arasında bir kablo şeklini alır [Özgen ve Sev, 2000].



Şekil 5.25 Asma sistem (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçeveler-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)



Şekil 5.26 Konsol ve asma sistem (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Asma sistemlerde yapım, tepedeki ızgara ile başlar, diğer elemanlar yukarıdan aşağıya doğru asılır. Bu sebepten döşeme sistemlerinin vinçler tarafından kaldırılabilmesi için yeteri kadar rijit olması gerekmektedir.

5.3.3. Çekirdekli Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları

- Grollo Kulesi, Melbourne, Avustralya

Denton Corker Marshall tarafından tasarlanan Grollo Kulesi (Şekil 5.27), konik formlu ve yukarıya doğru daralan bir yapıya sahiptir. Kulenin taşıyıcı sistemi esas olarak dört çift, toplam sekiz kolon ve asansör şaftları ile servis alanlarını kapsayan bir çekirdeğin oluşturduğu bir çerçeve ile döşemelerden oluşmaktadır.



Şekil 5.27 Grollo Tower, Melbourne (<http://www.dcm-group.com>)

Planlama aşamasında kulenin üst üste gelen, birbirinden boş katlarla ayrılan, çekirdek ve dış cepheyi saran diyagonal çelik kuşaklarla da birbirine bağlanan 3 ana bölümden oluşur. Zeminden başlamak üzere, bu ana bölümler sırasıyla ofis, konut katları ve oteldir. Ofisler serbest alanlar şeklinde açık büro planlamasına uygun olarak tasarlanmıştır. Yapının konik etkisi, görsel açıdan etkileyici bir izlenim oluşturur [Özgen ve Sev, 2000].

- Commerzbank, Frankfurt, Almanya

Norman Foster ve Associates tarafından 1991 yılında tasarımına başlanan Commerzbank (Şekil 5.28)'ın yapımı 1997 yılında tamamlanmış olup 52 katlı, 299 m yüksekliği ile Avrupa'nın en yüksek binası olma özelliğinin yanında planlaması ve kullanılan yapı teknolojisi ile yüzyılımızın önde gelen yapılarından biridir.



Şekil 5.28 Commerzbank, Frankfurt (<http://a4d.hypermart.net>)

Çerçeve malzemesi olarak çeliğin kullanıldığı bu yapı, çekirdek taşıyıcılı strüktür sistemi ile inşa edilmiştir.

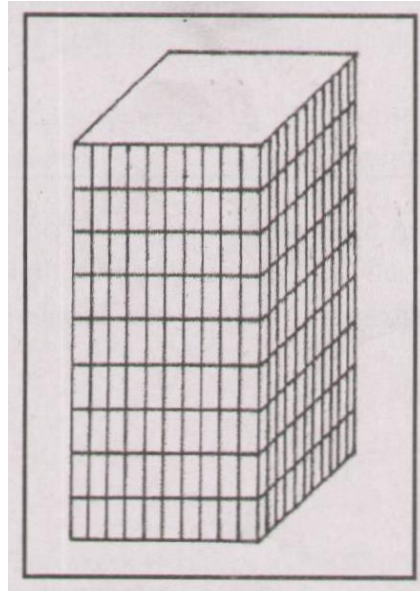
Yapı bir gövde ve üç “taç yaprak”tan oluşmuştur. Taç yapraklar bir atriumun etrafında üçgen şeklinde kümelenmiş ofis katlarıdır. Gövde ise bu ofis katlarına ışık ve doğal havalandırma olanakları sağlayan, zeminde tepeye kadar yükselen bir atriumdur.

Yapının dikkati çeken özelliklerinden biri, enerji tasarrufunu amaçlayan doğal havalandırma sistemidir. Yapıda dış kabuğa yakın olan ofis alanlarının ve atriumun havalandırılmasında, dış hava koşulları olarak tanıdığına, doğal havalandırmadan yararlanılmakta, bu amaçla pencereler ve atrium camlarındaki açıklıklar kullanılmaktadır. Yüksek teknolojinin kullanıldığı bina yönetim sistemleri kullanıcıya, birincisi statik ısıtma ve soğutma sistemleri ile doğal havalandırma, ikincisi ise statik ısıtma ve soğutma sistemleri ile mekanik havalandırma sistemleri kullanımı olmak üzere iki farklı işletme olanağı sunmaktadır [Özgen ve Sev, 2000].

5.4. Tübüler Sistemler

Bugüne kadar mimar ve mühendisler en yükseğe ulaşmak için sürekli yeni yapı modelleri ve yapım yöntemleri arayışı içinde olmuştur. Bu arayışlar çok değişik strüktür ve konstrüksiyon modelleri getirmiştir. Yapı yüksekliği arttıkça, yatay yükler (rüzgar, deprem) önem kazanırlar. Bu nedenle tamamen rijitleştirilmiş yapı dış duvarlarının birbirleriyle bağlantılarını sağlayarak bir tüp şeklini oluşturmanın uygun olduğu saptanmıştır. Amaç, iç yükleri binanın çekirdeğinden dış duvarlara doğru taşıyarak daha hafif, buna karşın taşıma gücü yeterli bir strüktür oluşturmaktır. Tüp sistemlerin değişik modellerine göre, yapıların sahip olduğu kat sayıları da değişkenlikler göstermektedir.

Tüpler üzerinde çok sayıda delik açılmış dikdörtgen ya da daire kesitli bir boru şeklindedir. Yapıda bu taşıyıcı sistem sık aralıklarla yerleştirilen kolonların birbirlerine yüksek kirişlerle bağlanması ile oluşturulur. Cephe strüktürü delikli bir duvara benzemektedir (Şekil 5.29). Fazlur Khan tarafından geliştirilen bu sisteme çerçeveli tüp ya da çerçeveli boru da denilmektedir. Taşıyıcı sistemin tümsel davranışı dipten ankastre sandık kesitli bir kolonun konsol davranışına benzer [Piroğlu, 2001].



Şekil 5.29 Tüp sistem (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Ayrıca tübüler sistemlerde, dıştaki sık aralıklarla yerleştirilmiş olan kolon ve kirişler cephe kaplamasının maliyetine etki etmektedirler. Pencere sistemi, kolonlar ve

parapet kirişlerinin aralarının doldurulması yoluyla oluşturulabilir, bu da cephe maliyetini düşürür. Brunswick Binası bu anlayışla tasarlanmış tübüler sistemin ilk örneklerindendir.

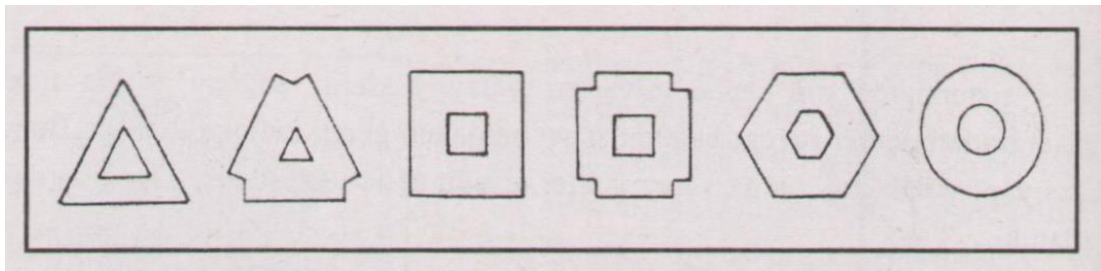
Yapının zeminindeki yüksek transfer kirişi görsel ve strüktürel olarak üzerindeki çok sayıda kolondan gelen yükleri taşıyarak, zemine aktarmaktadır.

Tübüler sistemlerde yatay yüklere karşı iki farklı çalışma şekli oluşmaktadır:

- Yatay yüklere paralel iki cephe duvarı yaklaşık olarak çerçeve davranışı göstermekte, bu çerçevelerin kiriş ve kolonlarının eğilmesiyle yatay yükü karşılamaktadır.
- Yatay yüklere karşı yapı tümüyle bir konsol tüp davranışı göstermektedir. Burada dış kolonlar sistemi, rijit diyaframlanmış boş bir borunun parçası olarak düşünülmektedir.

Tübüler sistemlerde dış cephe duvarları yatay yüklerin çoğunu ya da tümünü karşıladığından, içteki rüzgar bağlantısı ve perdeler gerek kalmamaktadır. Bununla birlikte yapı yüksekliği ya da yatay yükler arttığında iç tüplerden ya da çekirdekten yararlanılır.

Tübüler sistemlerin yararı ve etkinliği, yapının birim alanına düşen strüktürel malzemenin, geleneksel çerçevesiz bürolardakinin yarısına düşmesiyle, çarpıcı bir şekilde ortaya çıkmaktadır [Özgen, 1989-d]. Şekil 5.30'da tübüler sistemlere uygun plan formları verilmiştir.



Şekil 5.30 Tübüler sistemlere ilişkin uygun plan formları (Özgen, A., 1989-d, “Yüksek Yapılarda Tübüler Taşıyıcı Sistemlerin Kullanılması”, Yüksek Yapılar Sempozyumu, YEM, İstanbul)

5.4.1. Tüplerin Düzenlenmesi ve Çalışma Şekli

Yatay yük altındaki tübüler sistemde tüpler, yapı içindeki kullanım ve çalışmalarına göre sınıflandırılmaktadır: “Boş Tüpler”, “İç Bağlantılı Tüpler” ve “Tübüler Karma Sistemler” [Özgen, 1989-b]. Bu sistemler sırasıyla ele alınacaktır.

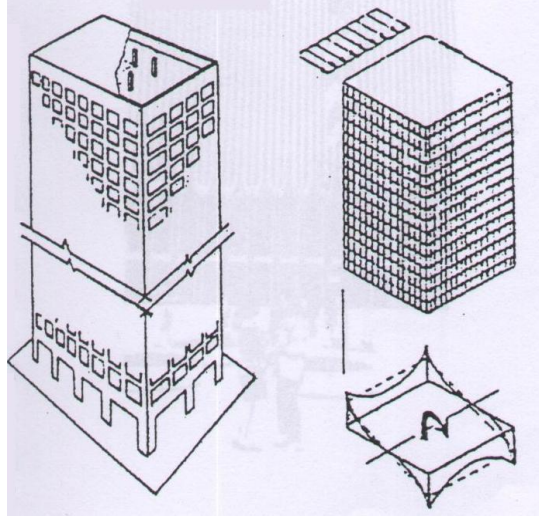
5.4.1.1. Boş Tüpler

Bina dış çerçevesini oluşturan tüp iki şekilde oluşturulmaktadır; “Çerçevesiz Tüp” ve “Kafes Kirişli” tüp olmak üzere 2’ye ayrılır.

a) Çerçevesiz Tüp: Bu sistemde iç kolonların yalnızca düşey yükleri taşıdığı, dıştaki tüpün rijitliğine bir katkısının olmadığı kabul edilir. Bu türün ilk uygulaması Chicago’daki De Witt Chestnut Apartman Binası’nda yapılmıştır.

Kolon aralıkları 1.2-3.0 m, bunları bağlayan cephe kirişlerinin yüksekliği de 0.6-1.2 m arasındadır. Bu sistemde 20 kattan 50 kata kadar çelik yapı yapılmıştır. World Trade Center (New York) ve Standart Oil Binası en bilinen örneklerdir [Özgen ve Sev, 2000].

Daha önce de belirtildiği gibi çerçevesiz tüp, yatay yüklere, çerçeve ve konsol tüp çalışmasıyla karşılar. Yatay yüke paralel duvarlarda kayma deformasyonu olduğundan sistemin tüp çalışmasını etkiler ve yatay yüke dik doğrultudaki kolonlar boyunca uniform olmayan bir gerilme yayılımı doğurur. Şekil 5.31’den açıkça görüldüğü gibi bina köşelerine yakın kolonlar ortadakilere nazaran daha fazla zorlanırlar. Bu nedenle tüpün eğilmesi artık bir konsol kirişin benzeri değildir. Sistemin davranışında kayma modu deformasyonu daha belirgindir. Cephedeki çerçeve az aralıklı olarak düzenlenir ve bunlar bina çevresinde devamlılık gösterirse, çerçeve sistem zemine ankastre bir konsol kiriş gibi çalışan çerçevesiz tüpe dönüşür ve bu çerçeveler rüzgar kuvvetlerine tek başlarına değil tüm bina cephesiyle karşı koyarlar. Bu nedenle çerçevesiz boş tüpün rüzgar yükü altındaki gerçek davranışı, konsol kiriş ve çerçeve arasındadır. Tüpün yatay yük doğrultusundaki dış kenarları, kirişleri esnek çok katlı bağımsız rijit çerçeve gibi davrandığından kayma deformasyonları oluşur. Bu nedenle tüpün yatay yükü karşılayan cephesinde, dış kolonlardan ortalara doğru uniform olmayan bir gerilme azalışı meydana gelir. Binanın köşe kolonları ortadakilere nazaran daha fazla yük alarak zorlanırlar. Bu nedenle yatay yüke karşı koymada yatay yüke paralel duvarlarda çerçeve davranışı nedeniyle katkı oranı %70 iken, yatay yüke dik cephenin katkısı %30’dur.



Şekil 5.31 Çerçevesi boş tüp ve yatay yük altında gerilme dağılımı (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Çerçevesi boş tüplerde yatay yüklerin tamamı dıştaki çerçeve tarafından karşılandığından içteki çekirdeğin serbest düşünülmesi sonucu binada kullanılabilir alan artışı sağlanır.

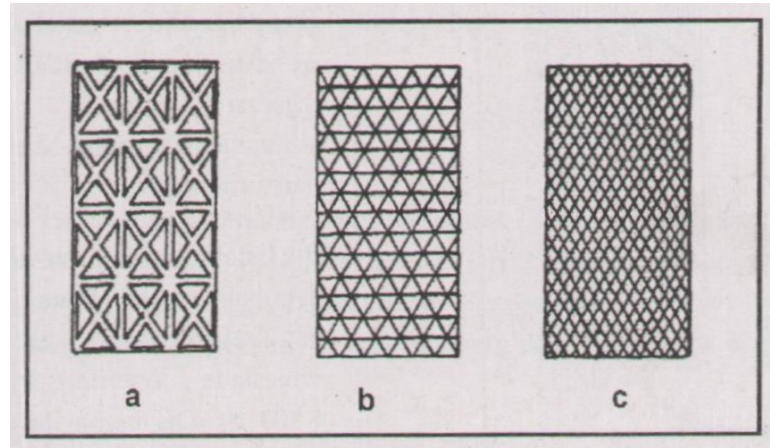
Tüp her ne kadar içi boş bir strüktür olarak görünse de, gerçekte yanal kuvvetlere karşı tepki modundayken emme tarafındaki kolonlar eğilmeden dolayı kısılırken, basınç tarafındaki kolonlar uzar. Bu kolonlarda iç kolon ve kirişlerin eğilmesinden dolayı bir kesme deformasyonu meydana gelir. Yüksek etkinlikteki bir tüp sistem tasarımı yapabilmek için yerine getirilmesi gereken en önemli ilke; oluşacak kesme deformasyonunu minimize eden veya ortadan kaldıran ve kulenin tüm eğilmesine destek veren bir strüktür sistemi oluşturmaktır [Piroğlu, 2001].

Çerçevesi boş tüp ilkesi genel olarak 40 kattan yüksek yapılarda, çelik binalar için 80 kata kadar ekonomik olabilmektedir. Ancak yatay yük olarak yalnızca rüzgara göre belirlenen bu limit katsayısı değerlerinin, Türkiye gibi deprem etkilerinin egemen olduğu ve daha fazla değerler aldığı yerlerde azalacağı açıktır [Taranath, 1988].

b) Kafesli Tüp: Tüp sistemler kavramının gelişmeye başladığı 1960'lı yıllardan sonra tüp sistemlere çapraz elemanlar ekleyerek ve kesme kuvvetini diyagonal elemanlarla karşılayarak çok katlı yüksek yapılar için ekonomik ve etkin bir sistem olarak kullanılmaya başlanmıştır. Diyagonal elemanlar hem çerçevesi tüpte kirişlerin karşıladığı kaymayı hem de eksenel çubuk çalışması ile yatay kuvvetleri karşılamaktadır. Bu nedenle çerçevesi tüpe nazaran sistemin kayma ötelenmesi

azalmakta, hemen hemen konsol davranışı sisteme hakim olmaktadır. Çok yüksek binalarda kolon ve kiriş düzenlerindeki yoğunluk cephe mimarisine de yansımaktadır. Kesme kuvvetlerinin kontrol edilmesi ve avantajından, tübüler duvar üzerinde  er evesli sisteme oranla daha küçük deliklerin bırakılmasına olanak vermiştir. Böylece yapıda kolonlar seyrekleşir ve yapı ağırlığında önemli azalmalar olur [Beddle ve Rice, 1995].

Kafesli t p çeşitli şekillerde uygulanabilmektedir. “Kolon-Diyagonal Kafes T p”, “Verev Kafesli T p”, “Kirişli Verev Kafes T p” vb. gibi (şekil 5.32).



şekil 5.32 Kafesli t p  eşitleri ( zgen, A., 1989-a, çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler:  er evesler-Perdeler- ekirdekler-Tübüler Sistemler, MS  Mimarlık Fak ltesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

- Kolon – Diyagonal Kafesli T p: Kafes tüpün taşıyıcılığını artırabilmek, kolonlar arasındaki mesafeyi arttırmak ve daha fazla yükselebilmek için bir yol olarak tüpün yüzeylerine çaprazlamalar eklenir (şekil 5.32-a). Böylece kolon aralıkları daha açık, kiriş yükseklikleri daha az tutulabilmekte, pencere ve kapı boşluklarında da daha rahat bir mesafe oluşmaktadır [Schueller, 1977].

Bu sistemde, yatay yüklerin taşınmasına tüm sistem katılır. Yatay yüklere karşı kiriş, kolon ve diyagonaller birlikte rijitlik sağlamaktadır. Çapraz elemanlar hem yatay hem de düşey yükleri taşımaktadır. Çapraz elemanların bu çift işlevi, sistemi oldukça yüksek, örneğin 100 kattan fazla binalar için de etkin kılmaktadır [ zgen, 1989b].

Kolon – diyagonal kafes sisteme, 1969’da Chicago’da yapılan 100 katlı John Hancock Binası  rnek olarak verilebilir.

- Kirişli Verev Kafes : Bu sistemde tüp, düşey kolonlar olmaksızın sık aralıklarla düzenlenmiş diyagonallerle oluşturulur (Şekil 5.32-b). Diyagonaller eğik kolonlar gibi davranır, tüm düşey yükleri taşır ve yapıyı yatay yüklere karşı rijitleştirirler. Bunlar birbirlerine kirişlerle de bağlanabilirler [Schueller, 1977].

- Verev Kafes: Bu sistemde tüp, kolonsuz, yakın aralıklı çapraz elemanlar tarafından oluşturulur (Şekil 5.32-c). Diyagonal elemanlar yatay kirişlerle bağlanan bir baklava ızgara şeklindedir. Sistem yatay ve düşey yükleri birlikte taşır. Pittsburg'daki IBM Büro Binası bu sistemin en gelişmiş örneğidir.

Verev kafes tüpte diyagonal elemanların yatay yüklere karşı etkin bir biçimde karşılansa da, düşey yüklerin taşınmasında kolonlardan daha az etkilidir ve bu da, sistemin olumsuz bir yanıdır. Ayrıca diyagonaller arasında çok sayıda bağlantı gerekmesi ve verev kafes tüp sistemleri genellikle kullanışsız kılmaktadır [Beddle ve Rice, 1995].

5.4.1.2. İç Bağlantılı Tüpler

Boşluklu tüplerin apartman binalarında kullanılmasında, 40 kattan sonra, büyüyen taşıyıcı eleman boyutları dolayısıyla, maliyet de hızla artmaktadır. Bu durumda daha yüksek binalarda, yatay yüklerin karşılanması için, sisteme iç perde ve çekirdeklerin eklenmesiyle elde edilen iç içe tüpler ekonomik olmaktadır. Büro binalarında da iç bağlantılı tüplerin kullanılması genellikle daha uygun olmaktadır [Özgen, 1989a].

Çerçevesi dış tüpler, sisteme eklenen diyagonallerle rijitleştirilebildiği gibi, bina içinde perde duvar ve iç çekirdekler eklenmesiyle de bütünleştirilebilir. Buna göre sistem alt gruplara ayrılmaktadır:

- Paralel Perde Duvarlı Tüp: Dış tübüler duvar, planda iç perde duvarlarla rijitleştirilebilir. Bu durumda çevre kolonların seyrek olarak düzenlenmesi her kolon için bir perde duvar gerektirirken, sık kolon düzeni sadece iki perde duvarla bağlanabilir [Özgen, 1989-a].

Paralel perde duvarlı tüp, perde duvarları eklenerek rijitleştirilebilir. Burada yapı, perde duvarlarının gövde, tüp duvarlarının başlık olduğu büyük kesitli bir kiriş gibi düşünülebilir; böylece kayma ötelenmesi en aza indirgendiğinden, dış tüp duvarlarında esas olarak aksel gerilmeler oluşur [Schueller, 1977].

- Tüp İçinde Tüp Sistemler: Çekirdek kullanımı ile sistemin rijitliği, boş tüplere oranla, yalnızca düşey yükleri değil, yatay yükleri taşıma açısından da oldukça geliştirilmiştir. Döşeme strüktürü iç ve dış tüpleri birbirine bağlayarak, tüpün yatay yüklere karşı bir bütün olarak karşılık vermesini sağlar.

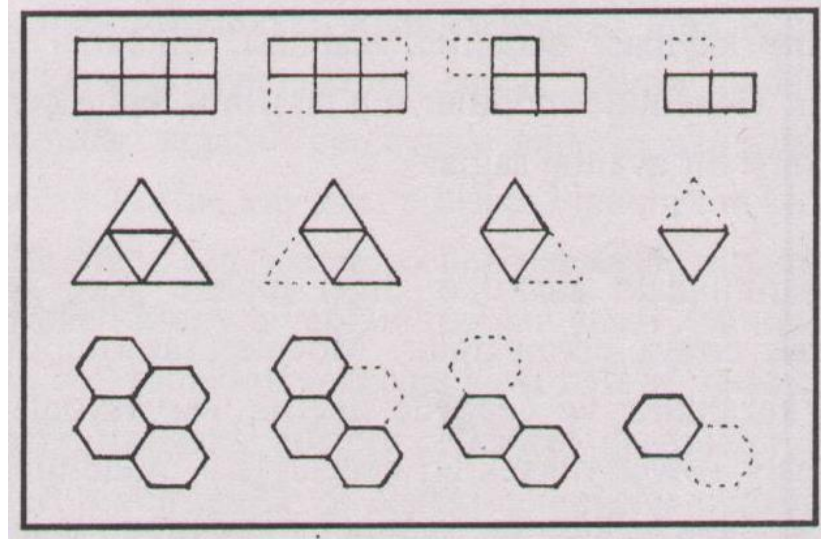
Kolonsuz büro alanlarına gereksinim ve katlardaki bürolara servis verme gereksinimi, çekirdekli bir çevre tüpünü ortaya çıkarmıştır. Çekirdek duvarlarının şekillendirdiği bir iç tüp ve sık kolonlar, cephe kirişleri ızgarasının şekillendirdiği bir dış tüpten oluşan bu taşıyıcı sisteme “tüp içinde tüp” denilmektedir [Özgen, 1989-a].

Sistemin yatay yüklere karşı davranışı çerçeve ve perde duvar sisteme benzer (Şekil 5.18); dolayısıyla hem çerçeveli tüp, hem de perde duvarlı taşıyıcı sistemlerin üstünlükleri tek bir sistemde birleştirilmiş olur. Çerçeveli dış tüp rijit bir çerçeveden çok daha rijittir. Üst katlardaki yatay yüklerin çoğu dış tüp, alt katlara doğru inildikçe de çekirdek tarafından karşılanır.

Tüp içinde tüp uygulaması tübüler sistemlerin ilk örnekleri olarak, Chicago’daki 32 katlı Brunswick Building ve Houston’daki 52 katlı One Shell Plaza’da kullanılmıştır.

- Demet (Modüler) Tüpler: Bu sistemde, ikiden fazla birbirinden bağımsız tüpler bir araya getirilerek birlikte davranacak şekilde tasarlanmıştır. Bitişik tüplerin birbirine benzer formlarda olması gerekmektedir. Hatta kare modüllerin yanı sıra, dikdörtgen, üçgen yada dairesel modüllerin kullanılması da mümkündür (Şekil 5.33). Cephede değişik düzenlemeler oluşturmak amacıyla tüpler farklı yüksekliklerde kesilebilir. Bu türe örnek dünyanın en yüksek çelik gökdeleni Chicago’daki Sears Tower’dır. Her biri ortogonal yönde paralel rijit çerçeveye birbirine bağlanan 9 adet tüpten oluşmaktadır.

Modüler tüp sisteminde iç kolon dizileri ve kirişleri binanın içinde bir ağ gibi davranarak kesme kuvvetlerine karşı dev bir konsol kiriş gibi davranırlar. Dolayısıyla daha fazla açıklıklı kolonların tasarlanmasına olanak sağlar. Bu iç diyaframların yanı sıra binanın dışında ve içinde yer alan kolonlar dönme momentine karşı binaya rijitlik sağlamaktadır. Öte yandan çerçevelere eklenen kolonlar arasındaki diyagonal elemanlarla oluşturulan kuşaklamalar, tesisat katlarına yerleştirilerek sistemin etkinliğini artırabilir [Piroğlu, 2001].



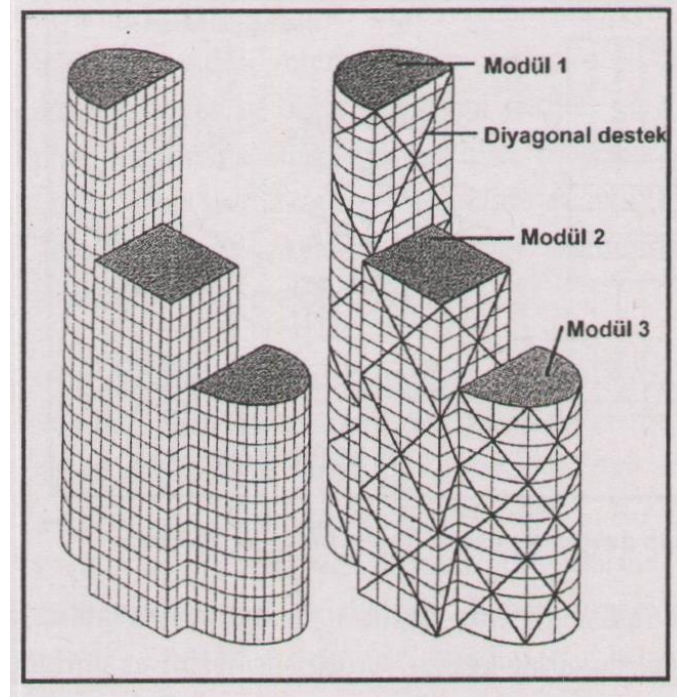
Şekil 5.33 Çeşitli modüler tüpler (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Modüler ya da demet (bundled) tüpler, geniş kullanım alanlarını daraltması açısından tasarımına olumsuz etki etmektedir. Bu sistem betonarme konstrüksiyonlar için olduğu kadar çelik konstrüksiyonlarda da uygulanmaktadır ve dünyanın en yüksek yapısı olan Chicago'daki Sears Tower bu sistemle yapılmış çelik bir yapıdır. Her bir ortogonal yönde birbirine paralel dört rijit çerçeveye birbirine bağlanan 9 adet paket tüpten oluşmaktadır.

Modüler tüp strüktürlü yapıda taşıyıcı sistem, iki ya da daha çok birbirinden bağımsız tüpün bir araya getirilerek, birbirleriyle uyum içinde tasarlanması ve davranması sonucu meydana gelir. Bu tüpler katlarda farklı döşeme şekilleri ve cephede değişik düzenlemeler oluşturmak amacıyla istenen seviyelerde kesilebilir. Şekil 5.34'de üç modülden oluşan iki farklı demet tüp örneği verilmektedir. Bu örneklerden de anlaşılabacağı gibi bitişik tüplerin birbirine benzer formlarda olması gerekmemektedir. Bir demet tüpü oluşturmak için, kare ya da üçgen modüller kullanılması demet tüp kavramına en iyi cevap veren formlar ortaya çıkarmaktadır. Demet tüp için benzer şekilde en az iki veya üç modül gerekmektedir [Taranath, 1988].

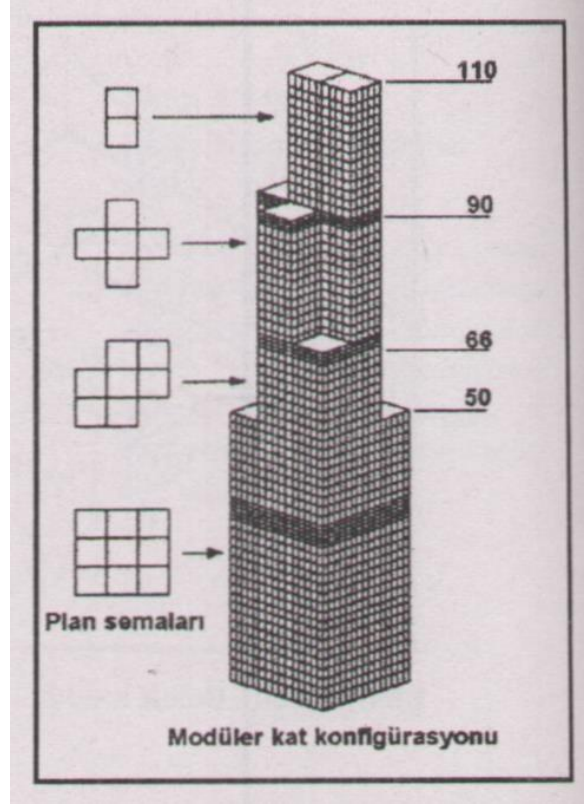
Modüler tüp sistem geometrik olmayan bina formlarında da tasarlanabilir. Ancak bu durumda bina kütlelerini de hesaba katmak gerekir. Düzgün geometrik olmayan bina formlarında bağlantı noktaları bina yüksekliği boyunca bazı şartlar gerektirdiğinden, serbestçe tasarım yapılamaz. Kesme kayması etkisinin azalması, binadaki eğilme ve

bükölme etkisini de azaltır. Genellikle modöler töl tasarımlı cephede çerçeveleli tölplere göre, eğilme etkisine karşı avantaj sağlar [Taranath, 1988].



Şekil 5.34 Değişik formlarda demet tölpleri (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

Modöler töl sisteminin en büyük avantajı, diğler tölplere göre geniş açıklıklı kolon uygulamasıdır. Bu açıklıklar her ne kadar fazla olsa da içteki çerçevelerin binayı bir kaç bölüme ayırmasından dolayı serbest planlamada güçlüklerle karşılaşılır. Çerçevelere eklenen kolonlar arasındaki diyagonal elemanlarla oluşturulan kuşaklamalar, tesisat katlarına yerleştirilerek sistemin etkinliği artırılır. Şekil 5.35’de görüldüğü gibi Sears Tower’da çeşitli yüksekliklerde üç kuşaklama yapılmıştır. Bunlar sistemin etkinliğini artırmaktadır. Modöler tasarım büyük ölçüde esneklik kazandırır ve cephede değişik tasarımların yapılabilmesine olanak sağlar. Sears Tower yüksekliği nedeniyle 9 modölün düzenlenmesini gerektirmiştir. Ancak daha az katlı bir yapıda bir kaç modölle de demet töl tasarımı yapılabilir [Özgen ve Sev, 2000].

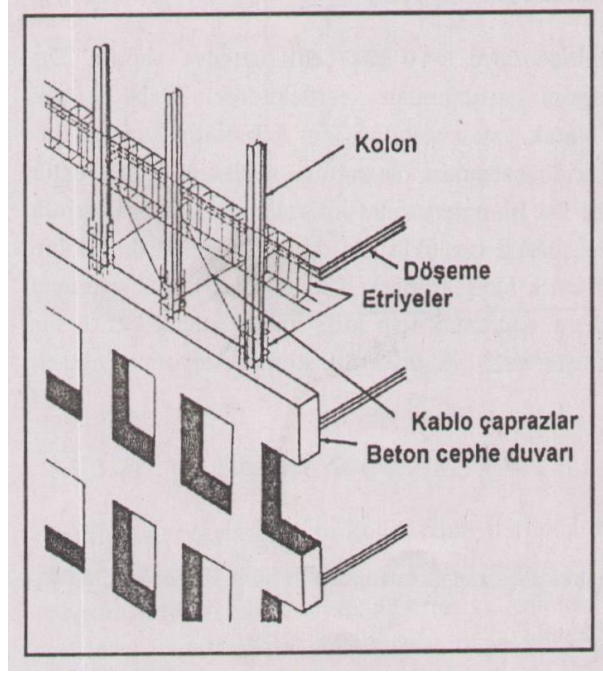


Şekil 5.35 Sears Tower’da modüler biçimlenme (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

5.4.2. Tübüler Kompozit Yapı

Farklı sistemlerin birlikte kullanıldığı durumlarda, yüksek yapıların yatay rijitliğini artırmak amacıyla yapılan son çalışmalar beton ve çeliğin birlikte çalışmasını öngörmektedir. Bu kavram döşeme ve kolonlar gibi taşıyıcı sistem elemanlarında yıllardır uygulanmakla birlikte, tüm yapıyı kompozit olarak tasarlamak tamamen yeni bir yaklaşımdır [Özgen, 1989b].

Skidmore, Owings ve Merrill tarafından geliştirilen bu sistemde dış çelik çerçeve yatay deformasyona karşı yerinde dökme beton boşluklu cephe duvarı ile rijitleştirilmiştir (Şekil 5.36). Böylece çelik bir yapının hızlı yapım ve yüksek dayanımı, iç mekanda serbestlik ile beton kesme duvarının yangın koruyuculuk, yalıtkanlık, yatay rijitlik ve şekil verilebilirlik özelliklerini bir araya getirir. Bu sistem Chicago’da Gateway III’de, New Orleans’ta 50 katlı One Shell Square Tower’da ve Houston’da 24 katlı CDS Binası’nda uygulanmıştır [Blanc ve Mceway, 1990].



Şekil 5.36 Tübüler kompozit yapı (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçeveler-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

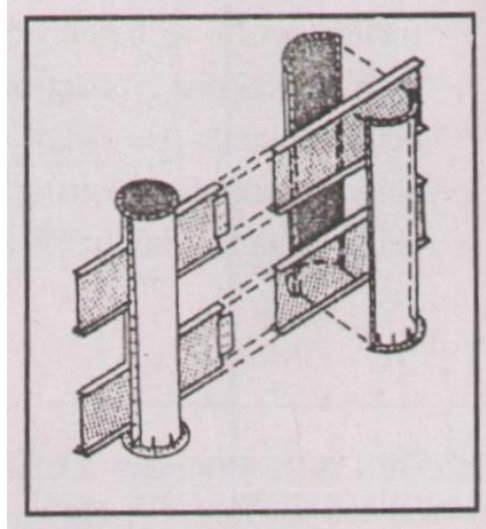
Kompozit tüp sistemleri bir çok değişik kombinasyonla inşa etmek mümkündür. Strüktürü oluşturan elemanların kompozit tasarlanması dışında, binadan farklı malzemelerle inşa edilmiş strüktürel elemanların düzenlenmesi de kompozit tüp kavramını içine almıştır [Taranath, 1988].

Kompozit tüp sistemler başlıca üç şekilde inşa edilebilir:

- Birinci sistemde yapım işleminde önce 8-10 kat çelik çerçeve yapılır. Dış kolonlar sadece yapım yüklerini taşıdığından içerdekilerden daha küçük kesitlidir. Dış çerçeve geçici olarak yatay stabilite için kablolarla çaprazlanır. Sonra iskelet sabitleştirilip, içeride çalışması olanağının sağlanması için çelik tabliye serilir ve beton dökülür. Bu işlemden sonra kolonlar ve alın kirişlerinin etrafına kalıplar yerleştirilir ve sürekli boşluklu bir duvar oluşturacak şekilde beton dökülür. Bu işlem 8-10 katta bir tekrarlanır (Şekil 5.36). Bu sistemde çelik kolonlara kirişin stabilitesini sağlamak için kiriş içinde küçük kesitli bir çelik de kullanılabilir. Bu yaklaşım hızlı yapım, çelik konstrüksiyonun yüksek mukavemetinden yararlanma, yangına dayanım, yalıtım, yatay rijitlik ve beton perde duvar biçimi gibi üstünlükleri birleştirmektedir [Özgen ve Sev, 2000].

Bu arada dış cephedeki çelik-beton kompozit kolonlarla içteki çelik kolonlar arasında farklı hareket problemi doğabilir. Elastik davranış, sönme ve büzülme nedeniyle kolonlardaki eşit olmayan kısalmaları önlemek için ana kirişlerin yerleri ayarlanmalıdır. Bu sistemde tübüler dış cephe tüm yatay kuvvetleri karşılar. Böylece çekirdeği çevreleyen kolon ve kirişler yalnızca düşey yük taşıyacağından daha küçük kesitli olabilir. Ayrıca çekirdek alanının azaldığı üst katlarda kullanılabilecek serbest döşeme alanı artar.

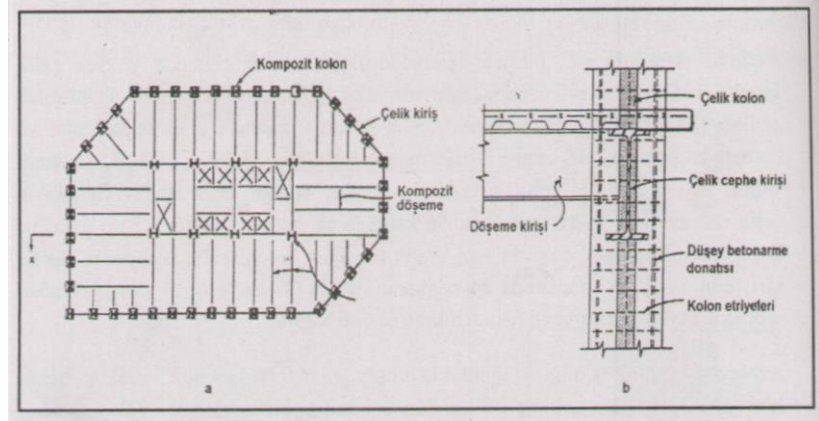
- İkinci sistemde ise cephede çelik ana kirişler ve beton dolgulu çelik boru şeklinde kolonlar kullanılmaktadır (Şekil 5.37). Burada dış cephe iki kat yüksekliğindeki bir boru kolon ile konsol iki çelik kirişli ağaç şeklindeki prefabrike ünitelerle oluşturulur ve tüm yatay yükleri karşılayacak rijitliktedir. Bu üniteler kirişlerin orta açıklığında ve kolon yüksekliklerinin ortasında birbirine bulonlanır. Bu birleşim yatay yük karşısında en az gerilmenin olduğu noktada düzenlenmiştir. Ana kirişlerin doğal sürekliliği, gerilmelerin yüksek olduğu kolonlarda kesilmeden, içlerinde de devam eder. Böylece büyük gerilme alan birleşim noktalarının sayısı azalmış olur [Özgen, 1989-a].



Şekil 5.37 Çelik boru kolonlu kompozit sistem elamanları (Özgen, A., 1989-a, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçeveler-Perdeler-Çekirdekler-Tübüler Sistemler, MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul)

- Üçüncü sistemde ise birinci sistemden farklı olarak cephede yüksek çelik kirişler kullanılır. Sistem cephedeki nispeten küçük kesitli çelik ile oluşturulan çelik-betonarme kompozit kolonlar, çelik döşeme ızgarası, çelik iç kolonlar ve betonla kaplanmış çelik cephe kirişlerinden oluşturulur (Şekil 5.38). Bu sistemin yapım hızı

diğer tüm çelik sistemlerle rekabet edecek düzeydedir. Genellikle çelik çerçeve her 10-12 katta betonla kaplanarak sistem kompozit hale getirilir. Bu konstrüksiyonun başarısı, az aralıklı cephe kolonlarının ve geniş cephe kirişlerinin rijitliği sonucunda dış cephenin delikli bir perde duvar gibi davranan moment dayanımlı çerçeve haline dönüşmesine bağlıdır [Özgen ve Sev, 2000].



Şekil 5.38 Çelik cephe kirişli kompozit tüp sistem (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

Kompozit yapım tekniği, çoğunlukla düşey elemanlarda kullanılmakta; beton kolonlara, perdeler çelik profiller donatı olarak eklenmektedir. Yatay taşıyıcı sistem elemanlarında da kompozit sistem uygulanabilmekte, bu da beton döşemelerde çelik profillerle donatı oluşturularak ve döşemeyi çelik kirişlere oturtarak yapılmaktadır.

5.4.3. Tübüler Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları

• John Hancock Center, Chicago, Illinois, ABD

Skidmore, Owings ve Merrill adlı mimarlar tarafından tasarlanan John Hancock Center (Şekil 5.39), 100 katlı, 344 m yüksekliğinde 1969 yılında tamamlanmış bir ofis binasıdır. Çelik çerçevelerin kullanıldığı yapı kafes tüp sisteminin önemli örneklerinden biridir.

Strüktürel sistem kolonlar, parapet kirişleri ve dışta yer alan diyagonallerden oluşmaktadır. Bu elemanların tümü birbiriyle etkileşim içinde bir dış tüp oluşturmaktadır. Dört cephede de yer alan diyagonaller, yapının köşelerinde belli noktalarda kesişmek durumundadır. Böylece eksenel yük şeklinde taşınan rüzgar yükleri bu diyagonal elemanların başlıklarına aktarılmaktadır. Kolonlara bağlanan çapraz diyagonaller binanın her cephesinde sürekli olarak devam etmekte ve yüklerin

kolonlar ile çaprazlar arasında karşılıklı olarak alış-verişini sağlamaktadır. Diyagonallerin kē kolonları ile kesiştiği yerlerde kirişler bulunmakta, böylece diyagonaller yerçekimi yüklerini tekrar kolonlara aktarabilmektedir. Yerçekimi yükleri diyagonallerde her zaman basınç gerilmelerine neden olduğundan, bağlantılar olanaklar çerçevesinde basitleştirilmiştir.



şekil 5.39 John Hancock Center, Chicago (<http://www.aviewoncities.com>)

Yapıyı taşıyan tp sistem öncelikli olarak kolonlar, diyagonaller ve bunların kat seviyesinde kesiştiği noktalardan geçen parapet kirişlerinden oluşmaktadır. Daha sonra sisteme diğer parapet kirişleri katılmaktadır. Yatay yüklerin %80'i konsol davranışıyla, %20'si de ereve davranışıyla karşılanmaktadır. Bu durum diyagonallerin kolonlardaki yükü düzgün olarak başlık yüzlerine dağıtılmasından kaynaklanmaktadır [Beddle ve Rice, 1995].

Kule, cadde seviyesindeki kagir temeller üzerinde yer almaktadır. İlk kat diğer katlardan daha yüksek tasarlanmıştır. Mekanik katlar elik paneller ile ifade edilmiştir. Doğramalardaki bölücüler arkalarındaki mekanların kullanım amacına

göre farklılık göstermektedir. Örneğin konut katlarında daha sık aralıklı dikmeler görülmektedir [Ali, 1990].

Döşemeler çelik kirişlerden ve 127 mm kalınlığındaki yarı hafif beton tabladan oluşan kompozit bir sistemdir. Bağlantıların kolaylıkla yapılabilmesi için bütünüyle ön yapımlı I kesitli çelik elemanlar kullanılmıştır. En kalın plaka 152 mm, en büyük kolon kesiti 915x915 mm'dir. İçteki kolonlar sadece yerçekimi yüklerini karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Basit bir detaylandırma ile yapım hızı haftada üç kat gibi bir değere ulaşmıştır [Beddle ve Rice, 1995].

Yapının strüktürel çerçevesi siyah anodik kaplamalı alüminyum ile giydirilmiştir. Bronz ile renklendirilmiş camlar, bronz renkli anodize edilmiş alüminyum çerçeveler tarafından taşınmaktadır ve zaman zaman kolonlara tespit edilen raylar üzerinde hareket eden iskelet sistemiyle temizlenmektedir. Çapraz elemanların diyagonal formu ile kolonlar ve parapetlerin oluşturduğu dik etkinin kombinasyonu, uygun bir ölçekte çevredeki yapılar üzerinde hakimiyet kuran, görsel açıdan ilgi çeken, dinamik bir geometri oluşturmaktadır [Ali, 1990].

Yapıya ait açıkça vurgulanan tüm detaylar yapının çapraz diyagonalleri ile bütünleştirilmiştir. Çapraz elemanlar bazı pencerelerin önünü kapatmasına rağmen, yapının tümünde narin ve hafif bir görünüm sergilemektedir. Başarılı bir form ve strüktür bütünlüğü ile yapı uzun süre akıllarda kalıcı bir etkiye sahiptir. Bu strüktürel sistemin stabilite ve hafifliğindeki hassas denge, yapıyı estetik açıdan çok özel bir konuma ulaştırmaktadır [Khan, 1967].

John Hancock Center, geleneksel iskelet ve giydirme cephe sistemi aksine, cephe duvarının strüktürel bir eleman olarak tasarlandığı mükemmel bir örnektir. Bütün cephelerdeki kolonların eşit aralıklarla tasarlandığı kafes tüp, hem düşey, hem de yatay yüklerin kolaylıkla taşınabilmesinden dolayı oldukça yüksek strüktürlerin yapımına olanak sağlamaktadır [Ali, 1990].

- World Trade Center, New York, ABD

Minoru Yamasaki ve Asc., Emery Roth ve Sons adlı mimarlar tarafından tasarlanan, 110 katlı, 411 m yüksekliğindeki World Trade Center (Şekil 5.40) 1973 yılında tamamlanmıştır. Çelik çerçevenin kullanıldığı World Trade Center, 11 Eylül 2001 tarihinde terörist bir saldırı sonucu yıkılma kadar çerçeveli tüp sistemlere örnek idi. World Trade Center, her biri büro amaçlı kullanılan iki kule bloğu ve bu blokları

saran 4 adet 8 ve 10 katlı bloklardan oluşan bir komplekstir. Kulelerin strüktürel tasarımında düşünce rüzgar kuvvetlerini emmek ve aktarma esasına dayanmaktaydı. Vierendeel kirişi tipindeki cephelerin her bir akslardan 1.02 m aralıklarla yerleştirilmiş, kutu kesitli 59 kolonla şekillendirilmişti. Bu kolonlar her katta rijit parapet kirişleriyle bağlanmaktaydı. Bina köşelerinde bu duvarlar kesme kuvvetlerini aktaracak şekilde bina döşemeleriyle bağlanmıştı ve bu şekilde tüm rüzgar yüklerini temellere aktaran rijit çerçeveli tüp formunu almaktaydı.



Şekil 5.40 World Trade Center, New York

Döşemeler, dış kolonlarla, çekirdeği oluşturan ve sadece düşey yükleri aktaran kutu kesitli 44 kolondan oluşan iç çekirdek arasındaki kolonsuz açıklığı geçmekteydi. Dıştaki kolonlar $450 \times 450 \text{ mm}^2$ kesitli kutu şeklinde ve cephe boyunca devamlıydı. Parapet panelleri 1.32 m yüksekliğinde ve birbiriyle bağlanan şekil elemanlarından oluşmaktaydı [Özgen, 1989-b]. Giriş kotunun 12 m üzerinde kolonlar üçerli gruplar halinde birleştirilerek tek bir kolona dönüştürülmüştü. Aks aralıkları 3.05 m ve kesitleri $800 \times 800 \text{ mm}^2$ ydi [Hart ve diğ., 1978].

Duvar kalınlığı ve dış kolonların çelik kalınlığı, 7.5 mm ve 21.5 mm arasında değişen çeşitli değerlerdeydi. Çeliğin göçme noktası 70.0'dan 29.5 kg/mm'ye kadar

azalmaktaydı. Döşemelerin düzlemlerindeki formlarını korumaları için, dış kolonlarda düşey yüklerden doğan gerilmeler çekirdek kolonlarının gerilmelerine eşit olacak şekilde tasarlanmıştır. Çekirdek kolonlar yumuşak çelikten yapılmıştır ve taşıma kapasiteleri 24 kg/mm^2 'ydi. Dış kolonlardaki et kalınlığının giderek artması, rüzgar yüklerinin karşılanmasını sağlayan yedek gerilme kapasitesini oluşturmaktaydı. Tüm bina yüksekliği boyunca rüzgar basıncı 220 kg/m^2 alınmıştır. Binanın en üst noktasındaki yer değiştirme 28 cm 'di. Kulelerin cephesindeki dış çerçeve üç katlı prefabrike ünitelerle yapılmıştır. Ünitelerin kolonları parapet panelleriyle bağlıydı.

Kompozit döşemeler, yüksekliği 900 mm ve aks aralıkları 2.04 m olan ve tali kirişlerle enlemesine çaprazlanmış kafes kirişler ve üstünde kalıcı kalıp olarak konmuş çelik plakların üzerine dökülen 10 cm kalınlığındaki hafif beton döşeme plaklarından oluşmaktaydı. Her kat döşemesi 32 adet prefabrike ünitelerden oluşan, çekirdek ve dış kolonlara oturan elemanlarla oluşturulmuştur [Özgen ve Sev, 2000].

- Amoco Binası (Eski Standart Oil Binası), Chicago, Illinois, ABD

Perkins ve Will ortaklığı ile tasarlanan, 82 katlı, 342 m yüksekliğindeki Amoco binası (Şekil 5.41), 1973 yılında tamamlanmış bir ofis binasıdır. Strüktürel çeliğin kullanıldığı bu bina sade bir çerçeveli bir tübüler sistem ile sonuçlandırılmıştır.

Tüp V şeklindeki çelik levhalardan ve yüksek kanallı çerçeveli plaka şeklinde, 3 kat yüksekliğindeki, prefabrike parapet kirişlerinden oluşmaktadır. Yapının çevresinde 3 m aralıklarla yerleştirilmiş 64 adet kolon bulunmaktadır. Buna ek olarak köşe dönüşlerinde masif çelik plakalar bulunmaktadır. Kolonların içteki serbest köşeleri kalın, açılı kesitlerle sağlamlaştırılmıştır. Parapet kirişleri arasındaki bağlantılar, basit yüksek dayanımlı bulonlarla yapılmıştır. Kolonların birbiri üzerine eklenmesi, alt katlarda kaynaklı, üst katlarda ise kaynaklı veya bulonlu olarak yapılmıştır.

Döşemeler 3 m aralıklarla yerleştirilen 13.7 m açıklığındaki makaslar tarafından taşınmaktadır. Ard arda gelen döşemelerde, duvar düzleminde etkin olarak ortak merkezli yük oluşturmak için makas kirişler kolonların her iki tarafına da yerleştirilmiştir. Binanın köşelerinde, daha kısa açıklıklı diyagonal ana kirişler ve köşe kirişleri, geniş başlıklı profillerden yapılmıştır. Burada kullanılan 4000 adet benzer makas ve köşe kirişi bir bant üzerinde kitlesel olarak üretilmiştir.



Şekil 5.41 Amoco Binası, Chicago (<http://www.geocities.com>)

V şeklindeki kolonların içindeki boşluk, hava kanallarının ve su tesisatı borularının geçişi için değerlendirilmiştir. İçteki tesisat kanalları ise çekirdekte bulunmaktadır.

Yapıda, %37'si kiriş ve makaslarda, % 63'ü kolon ve duvarların köşe dönüşlerinde olmak üzere, toplam 45900 ton çelik kullanılmıştır. Metrekare başına düşen çelik miktarı yaklaşık olarak 161 kg'dır [Beedle ve Rice, 1995].

- Sears Tower, Chicago, Illinois, ABD

Skidmore, Owings ve Merrill adlı mimarlar tarafından tasarlanan, 110 katlı, 443 m yüksekliğindeki Sears Tower (Şekil 5.42), 1974 yılında tamamlanmış dünyanın en yüksek ofis kulesidir [Beedle ve Rice, 1995].

Kulenin strüktürü zemine ankastre edilmiş düşey bir konsol gibi davranış göstermektedir. Her modül 4.58 m aralıkla yerleştirilen kolonların birbirine parapet kirişleri ile bağlanmasından oluşmaktadır. Tüm kolon kiriş bağlantıları kaynaklı olup, sistem yüksekliği boyunca modüllerin kesildiği üç katta kafes kirişlerle desteklenmektedir.



Şekil 5.42 Sears Tower, Chicago (<http://www.aviewoncities.com>)

22.9 x 22.9 m²'lik kare döşemeler, tek yönlü 22.9 m açıklık geçen 4.58 m'de bir yerleştirilen kirişlerle taşınmaktadır. Her bir makas kolonlara, sürtünmeyi engelleyici elemanlarla bulonlu kesme bağlantılarıyla bağlanmıştır. Kirişlerin açıklık yönleri, kolonlar üzerinde eşit yük dağılımı sağlamak için, her 6 katta bir değişiklik göstermektedir. Kafes kiriş yükseklikleri 1020 mm olup, bu yükseklik gerekli donanımlar için elverişli bir şekilde kullanılmaktadır [Ali ve Armstorong, 1995].

Kolonlar ve kirişler 1070 ve 990 mm' lik I kesitlerden oluşmaktadır. Kolon flanşları zeminde 609 x 102 mm², üstte 305x19 mm² arasında değişiklik göstermektedir. Kiriş flanşları ise altta 406 x 70 mm, üstte 254 x 25 mm arasında değişmektedir. Yapıda toplam 69 000 ton strüktürel çelik kullanılmıştır [Beddle ve Rice, 1995].

- AT&T Corporate Center, Chicago, Illinois, ABD

Skidmore, Owings ve Merrill adlı mimarlar tarafından tasarlanan, 61 katlı, 270 m yüksekliğindeki AT&T Corporate Center (Şekil 5.43), 1989 yılında tamamlanmış bir ofis bloğudur.



Şekil 5.43 AT&T Corporate Center, Chicago (<http://www.aviewoncities.com>)

Yapı sert zemin üzerine, 24 m'den 26 m derinliğe kadar genişleyen betonarme kesonlar ile oturmaktadır. İnşaat alanında bulunan özel betonla yapılmış duvar, yapım süresince bu alanı korumuş, daha sonra bu duvar kalıcı zemin duvarı haline getirilmiştir.

Yapının süper strüktürü, yerçekimi kuvvetlerine karşı tasarlanan içteki çelik kolonlar ve çelik döşeme çerçevesi ile dışta betonarme bir çerçeveli tüpün oluşturduğu kompozit bir sistemdir. Tüm yatay kuvvetlere karşı koyan dıştaki betonarme tüp, parçalı cephe tasarımına uygun olarak, 16, 29 ve 44. katlarda geri çekilmiştir [Skidmore ve diğ., 1997]. Tipik döşeme sistemi, AT&T katlarında 140 mm'lik kompozit metal bir tabliyenin taşıdığı 76 mm kalınlığında hücreli bir beton tabladan, diğer katlarda ise 76 mm'lik kompozit bir tabladan oluşmaktadır. Strüktürde

kullanılan tüm elik elemanlar özel bir spreyle ateşe dayanıklı hale getirilmiştir [Beddle ve Rice, 1995].

- Bank Of China, Hong Kong, Hong Kong

I.M Pei ve Ortakları tarafından tasarlanan, 72 katlı, 368 m yüksekliğindeki Bank of China (şekil 5.44), 1990 yılında tamamlanmış ve Asya'nın en yüksek yapısı olma özelliğini kazanan ofis ve banka binasıdır.



şekil 5.44 Bank of China, Hong Kong (<http://www.structurae.de>)

Yapı zeminde bir küp şeklinde başlayıp, tepede basit bir üçgen prizma kalıncaya kadar, belli katlarda azalarak yükselmektedir. Kulenin st katlarda yüksek hızlardaki rüzgar kuvvetlerine dayanımını sağlamak için, strüktürel sistemi yenilikçi bir anlayışa göre tasarlanmıştır. Kulenin, 52 m yükseklikten başlayarak tepe noktasına

kadar incelen bir geometrisi vardır. Kare plan, her biri farklı katlarda son bulan bir karenin çeyrekleri şeklindeki dört üçgen şaft formunu oluşturmak için diyagonaller yönünde dört dilime ayrılmaktadır. Liman yönüne bakan kuzey çeyrek, 17. katta bir atrium lobisi oluşturarak incelmeye başlar. Diğer çeyrekler 38, 51 ve 70. katlarda ayrılarak incelirler.

Binada düşey sirkülasyonu 45 adet hızlı asansör sağlamakta, bu asansörler aynı zamanda yolcuları 43. kattaki gök lobiye taşımaktadır.

Kulenin strüktürü, dördü diyagonal çaprazlar içeren sekiz düşey çerçeve düzleminden oluşan bir kare tüptür. Yapıya gelen tüm kuvvetler dört adet masif betonarme köşe kolon tarafından toplanıp transfer edilmektedir. Beşinci bir kolon yapının merkezinden toplanan yükleri diyagonal olarak dört köşe kolona ilettiği 25. kata doğru uzanır. Yerçekimi kuvvetlerinin en dış köşelere gönderilmesiyle, yüksek hızlı rüzgarlara dayanım artar ve yapının iç mekanları kolonsuz olarak düzenlenebilir [Ali ve Armstrong, 1995].

- Landmark Tower, Yokohama, Japonya



Şekil 5.45 Landmark Tower, Yokohama (<http://www.landmark.ne>)

Yokohama’da yapılan 296 m yüksekliğindeki Landmark Kulesi (Şekil 5.45), 1994 yılında tamamlandığında Japonya’nın en yüksek yapısı özelliğini taşımaktaydı. Her katında 70 oda bulunan kulede, 5 kat alış-veriş merkezi, 15 kat otel, 52 kat ofis ve 1405 arabalık bir otopark bulunmaktadır [Dupre, 1996].Tasarım aşamasında kule kare planlı olarak düşünülmüş, köşelerde yapılan çıkmalar, kule yükseldikçe içe doğru eğimli olarak tasarlanmıştır. Cephesi granit kaplı olan yapı bu haliyle tüp içinde tüp görünümündedir [Bennett, 1995].

Ayrıca yapının devrilme tehlikesine karşı sisteme ek kütle katılması düşünülmüştür. Binanın üst kısmında çelikten yapılmış tüp şeklindeki bölümler birbirlerine güçlü elemanlarla bağlanmıştır.

5.5. Hibrid Sistemler

Modern mimari eğilimler, strüktür tasarımcılarını, strüktürel gereklerle bağdaşacak estetik ve fonksiyonel istekleri yerine getirecek bir strüktür arayışından uzaklaştırmıştır. First Bank Place (Minneapolis), (Şekil 5.46), yatay yüklere dayanıklı çerçeve oluşturan, oldukça farklı elemanlardan oluşan bir strüktür olmuştur. Bu yapıda, yatay kafes kirişlerle, yüksek dayanımlı geniş betonarme çevre kolonlarına bağlanarak oluşturulan, yapının ayakta durmasını sağlayacak ve bağlantıları oluşturacak, yerinde yapım çelik işçiliği ile inşa edilen, kafesli bir çelik çekirdek sistemi tasarlanmıştır. Bu yüzden bu sistem düzlemsel dayanım açısından sağlam, dönme dayanımı açısından zayıf olup, düşey doğrultudaki dış çapraz açıklıklarının bir yönünde ek önlemler alınması gerekir. Yüksek dayanımlı betonun sağladığı avantajlar ile büyük betonarme elemanların dayanım kapasitesinin, çelik çerçevelerin hafiflik ve inşa edilebilirliği ile kombine edildiği “süper kolon” çağı gündeme gelmektedir. Silika fume ve süper plastikleştirici içeren yüksek dayanımlı beton, daha düşük akma ve büzülme değerleri göstermekte ve hibrid bir çerçeve oluşturabilmek için kolaylık sağlayabilmektedir [Özgen ve Sev, 2000].

Örneklerle de anlaşılabileceği gibi hibrid sistemler geleceğin yüksek yapılarının sayılı örnekleri olmaktan çok, dinamik bir yapı oluşturmak veya modern mimari tarafından öne sürülen karmaşık formları kendine uyumlu kılacak bir kural haline gelecektir. Böylece gelecekteki pek çok modern yapının hibrid sistemler olmadan, şimdiki durumlarıyla inşa edilmesi mümkün olmayacaktır [Beddle ve Rice, 1995].



Şekil 5.46 First Bank Place, Minneapolis (<http://home.t-online.de>)

5.5.1. Hibrid Sistemlere İlişkin Proje Örnekleri ve Açıklamaları

- Hong Kong Bank Headquarters, Hong Kong

Foster ortaklığı ile tasarlanan 45 katlı, 180 m yüksekliğindeki Hong Kong Bank Headquarters Binası (Şekil 5.47), 1985 yılında tamamlanmış olup ortasında bir atrium bulunan iki bölümden oluşmaktadır [Beddle ve Rice, 1995].

Taşıyıcı sistem dörtlü çelik kolon gruplarından oluşmakta ve bu gruplar her katta kirişlerle birbirine bağlanmaktadır. Ayrıca doğu-batı doğrultusunda iki kat yüksekliğindeki diyagonal bağlantılarla, kuzey-güney doğrultusunda da çapraz elemanlar ile bağlanmaktadır. Yapının strüktürü, formu ve fonksiyonu ayrılmaz bir bütünlük göstermektedir.

Bu yapının bütünü 8 kolon grubu tarafından taşınmaktadır. Her grup, dairesel kesitli dört çelik kolon tarafından oluşturulmuştur. Yapının 5 katına yerleştirilmiş iki kat yüksekliğinde “galeri bölümü” adı verilen askı makasları bulunmaktadır. Döşemeler askılara tespit edilmiştir. Bu askılar, merkezden üstteki makasların ucuna kadar

uzanan elik tüplerdir. Her bir döşeme iki paralel ana kiriş tarafından taşınmaktadır. 100 mm aralıklarla yerleştirilen ikinci kirişler ise, döşeme planını taşımaktadır.



Şekil 5.47 Hong Kong Bank, Hong Kong (<http://www.skyscraperpicture.com>)

Yapı dört Vierendeel kuleye asılarak taşınmaktadır. Bu kuleler, ortalarına yerleştirilen bir vinç ile st üste getirilen prefabrike elemanlardan oluşmaktadır. Tuvalet hücreleri de bu vinçler aracılığı ile getirilip monte edilmiştir. Hücreler İngiltere’de üretildikten sonra Hong Kong’a taşınmıştır. Bunun gibi yapının bir çok bileşeni değişik ülkelerde yapılmıştır.

Yapının temeli 20 m derinliğinde çevresel bir diyafram duvarı ile yukarıdan aşığıya yapılmıştır. Süper strüktür, strüktürel elik ve kompozit elik tarafından oluşturulmuştur. Stabilit 5 katta makaslarla bağlanan dikmeler tarafından sağlanmaktadır [Bennett, 1995].

- Overseas Union Bank (OUB) Center, Singapore

Kenzo Tange ve Urtec ortaklığı ile tasarlanan, 63 katlı, 280 m yüksekliğindeki OUB Center (Şekil 5.48), bir bankanın merkez bürosunu ve bunun dışında kiraya verilmek üzere diğer ofis ve ticari amaçlı büroları da içeren bir genel müdürlük binasıdır. Yapı geometrisi, birbirine bitişik iki dik ğenden oluşmaktadır. Yüksek kuleyi, bir servis çekirdeği ve ğen bir kolon, alçak kuleyi ise, daha küçük bir ğen kolon ve L şeklindeki ikinci bir kolon taşımaktadır.

OUB Kulesi'nde strüktürel nedenlerden dolayı çelik tercih edilmiştir. Aşağıda açıklanan nedenlerden, beton yerine çelik kullanılmasında etkin olmuştur:

- Yapının asimetrik tasarımı, yüksek üçgeni taşıyan kolonlarda, diğerine oranla yüksek gerilmeler oluşturacaktır. Bu durum strüktürün yatay hareketi açısından eşit olmayan şartlar doğurmaktadır.
- Temel koşulları ele alındığında, zemin tabakasının zayıf olduğu, özel bir temel sisteminin gerekliliğinden söz edilebilir. Çelik, betonarmeye oranla hem yapıyı hafifletmekte, hem de temel yapımını kolaylaştırmakta ve maliyeti düşürmektedir.
- Sistemde yüksek dayanımlı çelik kullanımıyla hem kesitler küçülmekte, hem de strüktürel elemanların maliyetleri azalmaktadır.

Yapının strüktürel düzeni, belli katlarda çaprazlamalara ve yapının rijitliğini arttıracak betonarme duvar ihtiyacını ortaya çıkarır. Çelik çerçeve ve perde duvarlar en tepeden temele kadar düşey yüklerin aktarılmasında bağımsız olarak görev alırlar [Özgen ve Sev, 2000].



Şekil 5.48 Overseas Union Bank, Singapore (<http://www.skyscrapers.com>)

- First Interstate World Center, Los Angeles, California, ABD

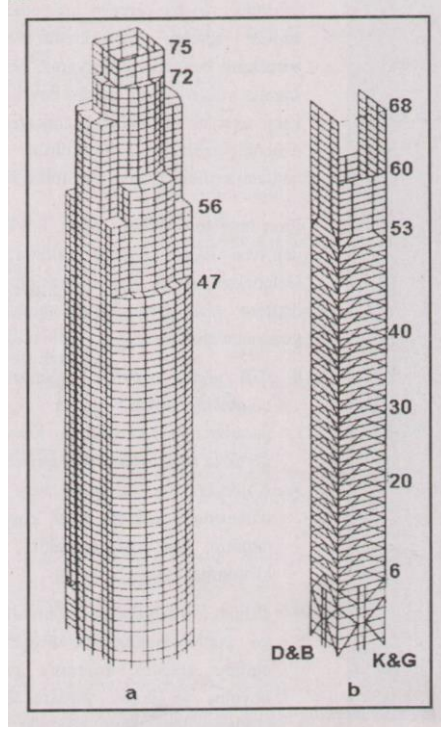
I.M. Pei ve Ortakları tarafından tasarlanan 75 katlı, 310 m yüksekliğinde, çelik çerçeveli First Interstate World Center (1. Ulusal Dünya Merkezi; Şekil 5.49), 100 000 m²'lik kullanım alanına sahip olan bu ofis kulesidir.

Yapının strüktürel sistemi, iki yönlü bir çelik sistem olup, çaprazlı bir çekirdek ile dış çerçeveli bir tüpten oluşmaktadır (Şekil 5.50). Köşelerde çelik kutu profil şeklindeki boşluklu kolonlar ile ankre edilen çaprazlı çekirdeğin kare planı 22.5 x 22.5 m²'dir. İki katlı olan chevion çaprazları çekirdeğin dört köşesindeki serbest açıklığı geçmektedir. Çerçevenin yatay yüklere dayanımını sağlamak için, döşemeler çekirdek ve dış çerçeve arasındaki 16.76 m'lik serbest açıklığı geçmektedir. Kolonlar, hem yerçekimi kuvvetlerin taşıyarak, hem de rüzgar ve sismik yüklerin yol açtığı devrilme momentine karşı eksenel yükleri dağıtarak çift yönlü görev üstlenmektedir. Strüktürün düktilitesi, bağlantılarının kaynaklı yapılması ile sağlanmıştır [Beddle ve Rice, 1995].

Bu yapı, 8.3 büyüklüğündeki depreme karşı koyacak şekilde tasarlanmıştır. Deprem olasılığına karşı, aşağıdaki maddeler göz önüne alınmıştır:



Şekil 5.49 First Interstate World Center, Los Angeles (<http://www.pbs.org>)



Şekil 5.50 First Interstate World Center, tüp ve çekirdek şeması (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

- Yerçekimi kuvvetlerine karşı gereksiz strüktürel elemanlardan kaçınılarak çift yönlü chevron bağlantıları kullanılmıştır.
- Kolon ve kirişler hem düşey, hem de yatay yükleri karşılarlar.
- Profillerle düşey yüklerin döşemelere eşit olarak dağıtılmasını sağlayacak tedbirler alınarak, döşemelerde oluşacak eğilme etkisi azaltılmıştır.
- Two Union Square, Seattle, Washington, ABD

Kompozit çelik kolonlarla inşa edilen ve strüktürü hibrid sistemle yapılan, 56 katlı, 220 m yüksekliğindeki Two Union Square Binası (Şekil 5.51)'nin, yapım endüstrisine yeni malzemeler, teknikler ve kavramlar kazandırması açısından, yüksek yapılar arasında önemli bir yeri bulunmaktadır.

Strüktürün yatay yüklere dayanımı açısından performansını arttıran teknolojik gelişmelerden yararlanmanın yanı sıra, konstrüksiyon süresinin azalması ve strüktürel maliyetin düşürülmesi kompozit bir sistemin uygulanması için en büyük neden olmuştur.

220 m yüksekliğinde, Seattle'ın ikinci yüksek binası olan yapının yatay yükleri karşılayacak olan, strüktürün hem çevresinde, hem de içinde yer alan diyagonal

 aprazlamalar çekirdekten cepheye kadar uzanmaktadır. Dıştaki kolonlar ise 14 m açıklıktaki parapet kirişleri ile birbirine bağlanmaktadır. Bu kolonlar boyutlarını azaltmak için yüksek dayanımlı betondan yapılmış olup, döşemelerden gelen tüm yükleri karşılamaktadır [Bennett, 1995].



şekil 5.51 Two Union Center, Washington (<http://www.skyscrapers.com>)

- Jin Mao Binası, Shanghai,  in

 in'in Shanghai kentinde yapılacak olan 88 katlı, karma kullanımlı Jin Mao Binası (şekil 5.52), 421 m yüksekliğinde tasarlanan otel ve büro binasıdır. Bu kuleyi, 65 m uzunluğunda uçları açık, strüktürel çelikten yapılma pompa ayaklar taşımakta, bu ayaklar yatay yüklere karşı yüksek oranda dayanım sağlayarak, zayıf zemin koşullarına sahip yapının zemine oturma değerini de azaltmaktadır.

Skidmore, Owings ve Merrill tarafından tasarlanan yapıda  elik ve betonarmeden oluşan kompozit bir sistem kullanılmıştır [Skidmore ve diğ., 1997].



Şekil 5.52 Jin Mao Binası, Shangai (<http://www.lehigh.edu>)

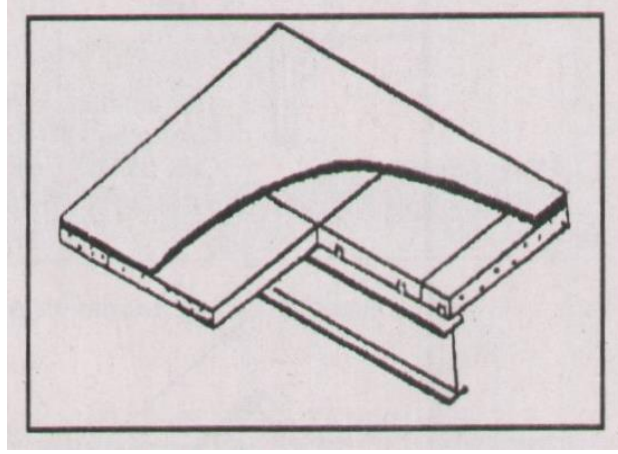
5.6. Döşeme Sistemleri

Çok katlı yapılarda yatay düzlem elemanlar, kiriş ve plaklardan oluşan kat döşemeleridir. Döşemeler yalnızca katlardaki yükleri, düşey düzlemlerdeki yapı elemanlarına aktarmakla kalmayıp, yatay yükleri zemine aktarılmasında, düzlemleri içindeki yüklerin iletilmesinde sonsuz rijit elemanlar olarak “diyafram” görevi de yaparlar.

Döşeme sistemlerinin doğru seçimi çok önemlidir. Bu seçim rüzgar ve düşey kuvvetlerin akış yönünü belirleyerek yapı iskeletinin geometrisini biçimlendirir. Ayrıca döşemeden tavana yüksekliğin sabit olduğu kabul edilirse, döşeme kalınlığı da tüm yapı yüksekliğini etkiler. Yapı yüksekliğindeki her artış mimari, mekanik ve taşıyıcı sistem maliyetini arttıracığından döşeme kalınlığı optimize edilmelidir. Kalınlık, kanallarla taşıyıcı döşeme içinde (örneğin boşluklu gövdeli kirişler ya da kafesler) ya da altında yer alan düzenlemelere de bağlıdır.

Çelik döşeme sistemi, kiriş ve kuşaklar içeren bir çerçeveye oturtulmuş, bir döşeme tablası ile karakterize edilebilir. Bu döşemenin kalınlığı 10 cm ve 18 cm arasında değişebildiği gibi, metal bir tabliyenin üzerine oturtulmuş, değişik kesitlere sahip

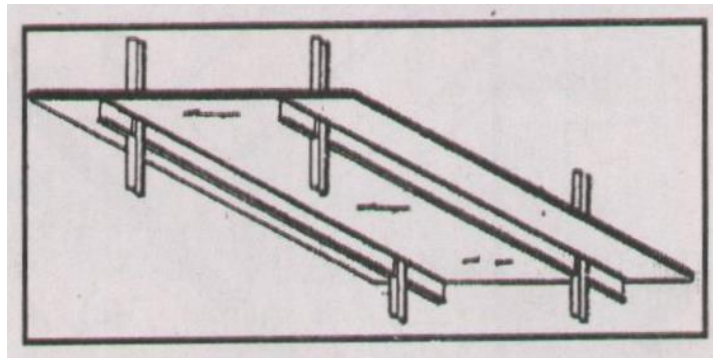
olabilir. Bu durumda döşemenin kalınlığı 6 cm'ye kadar indirilebilir. Döşemenin ağırlığı, çelik çerçevenin ağırlık ve maliyetine yansımaktadır. Bu yüzden daha küçük açıklıklı ve daha az kalınlıkta döşeme sistemleri tercih edilmelidir (Şekil 5.53).



Şekil 5.53 Çelik çerçeveli döşeme (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

Çelik döşemelerin, ağırlığının az olması, çabuk yapımı, kalıp gerekmemesi montajdan hemen sonra üzerinde yürünülmesi gibi avantajları vardır. En önemli mahsuru ise, taşıyıcı olarak kullanıldığı durumlarda yangına karşı aşağıdan korunma gereksinimidir [Özgen ve Bayramoğlu, 2002]. Çelik yapı döşeme tasarımında yangına karşı koruma önemlidir. Asma tavan sistemleri hem yangına karşı koruma hem de diğer fonksiyonları yerine getirir. Asma tavanla taşıyıcı döşeme arasındaki boşluk çeşitli servislerin yerleştirilmesinde kullanılabilir. Çok katlı yüksek yapılarda döşemeler yapının tasarlanan fonksiyonu ve dolayısıyla plan durumuna bağlı olarak çeşitli türlerde yapılmaktadır [Özgen ve Sev, 2000].

5.6.1. Tek Yönde Kiriş Döşeme Sistemi

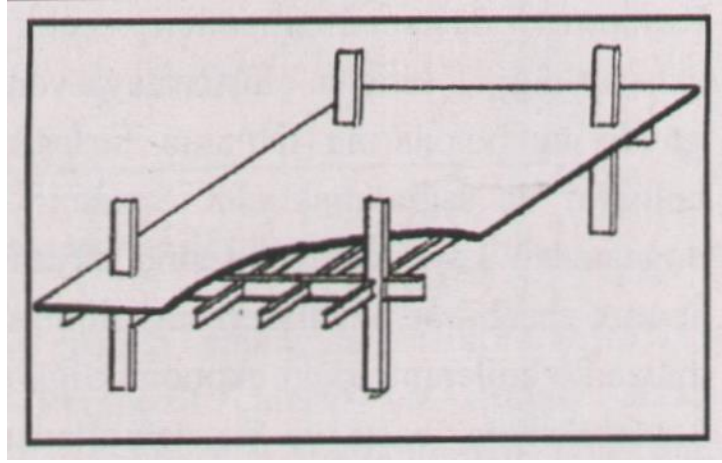


Şekil 5.54 Tek yönde kiriş sistemi (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

Bu sistemde dikdörtgen bir ızgaraya bağlı kolonlar, bir dizi büyük açıklık geçen paralel kirişi taşımaktadırlar. Döşeme bu dikdörtgenin kısa kenarı doğrultusundaki açıklığı geçmektedir (Şekil 5.54). Diğer doğrultuda yalnız bağ kirişi vardır.

5.6.2. İki Yönde Kiriş Döşeme Sistemi

Kiriş açıklıklarının birbirine dik iki yönde olduğu döşeme sistemlerinde iki yönlü çerçeve oluşturacak şekilde kiriş ve kuşaklar kullanılmaktadır. Döşeme bu iki yöndeki kirişlerin arasını geçmektedir. Toplam strüktürel yüksekliği azaltmak için küçük açıklığı geçen kiriş yüksekliği fazla, büyük açıklık geçen kiriş yüksekliği ise daha az tutulabilir (Şekil 5.55).



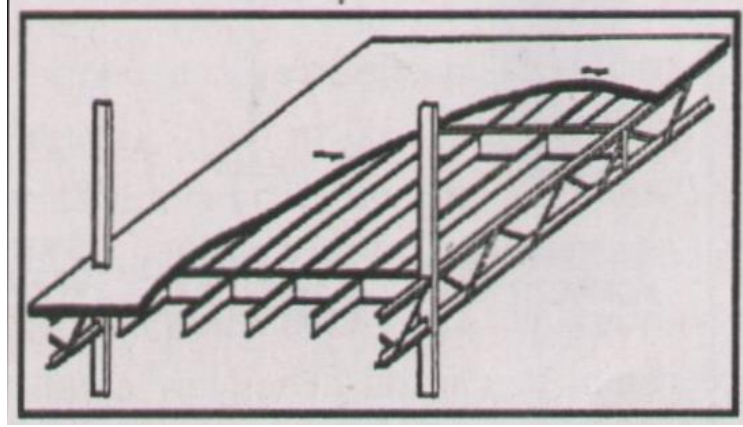
Şekil 5.55 İki yönde kiriş sistemi (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)

5.6.3. Üç Yönde Kiriş Döşeme Sistemi

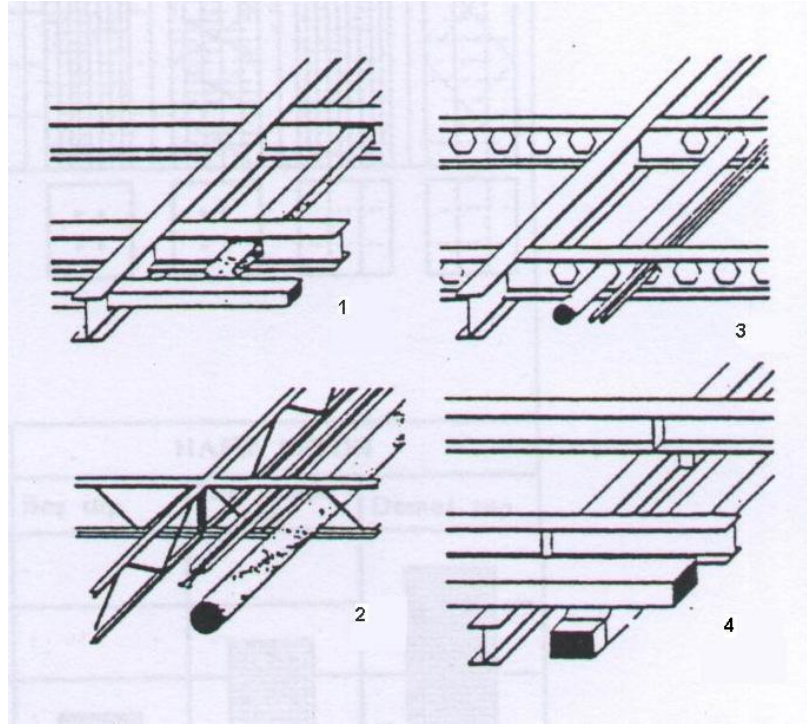
Kolon açıklıklarının çok fazla olduğu yapılarda üç yönde kiriş sistemi uygulanmaktadır, Diğerlerinden daha fazla yüksekliği olan bir kafes kiriş, ikinci ve üçüncü yönlerdeki kirişleri taşır. Bu kiriş sayesinde diğer iki yöndeki kirişlerin yüksekliği daha az olabilir. Böylece döşeme bunların arasındaki küçük açıklığı geçer [Özgen ve Sev, 2000]. (Şekil 5. 56)

Kirişli döşeme sistemlerinde tesisatın yerleştirilmesi bir sorun yaratmamakta, tesisat kiriş gövdelerinde açılan boşluklardan geçirilebilmektedir, bu nedenle petek kirişler bu çözüm için en uygunudur (Şekil 5.57,1 ve 3). Kafes şeklinde boyutlandırılmış kirişlerde de tesisatın döşenmesi genelde sorun yaratmamaktadır (Şekil 5.57,2). Döşeme kirişlerinin kat kirişlerinin üzerine oturtulması halinde yapı yüksekliği

artmakla birlikte tesisatın yerleştirilmesinde büyük bir serbestlik kazanılmaktadır (Şekil 5.57,4).



Şekil 5.56 Üç yönde kiriş sistemi (Özgen, A., Sev, A., 2000, Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, İstanbul)



Şekil 5.57 Döşemelerin altından tesisatın geçirilmesi (Piroğlu, F., 2001, Çok Katlı Çelik Yapılar, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi, İstanbul)

Uygulamada yukarıda tanımlanan sistemlerin farklı kombinasyonlarına da rastlanmaktadır. Örneğin dış kolonlar sık aralıklarla düzenlenip, iç kolon aralıkları ise daha büyük yapılabilir. Çok katlı yapıların planları üçgen veya daire olabilir. Bu durumda yine kirişli döşemeler kullanılabilir [Piroğlu, 2001].

5.6.4. Döşeme Sistemlerine İlişkin Proje Örneği ve Açıklaması

- Citicorp Center, New York, ABD

Hugh Stubbins, Emery Roth ve Sons adlı mimarlar tarafından tasarlanan, 60 katlı, 279 m yüksekliğindeki Citicorp Center (Şekil 5.58), 1978 yılında tamamlanmış, çelik çerçeveli hibrid sistemli bir yapıdır. Zeminde $47.8 \times 47.8 \text{ m}^2$ 'lik bir alana oturan ve merkezi bir çekirdek tarafından taşınan bu kulenin strüktürel sisteminde, 4 kolon tarafından taşınan 23 m konsol döşemeler bulunmaktadır [Beddle ve Rice, 1995]. (Şekil 5.59)

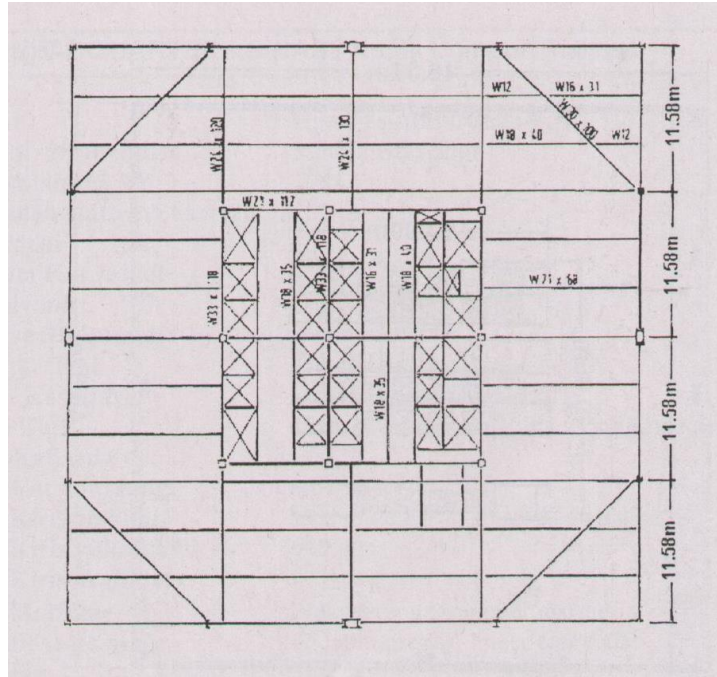


Şekil 5.58 Citicorp Center, New York (<http://www.aviewoncities.com>)

Yapının 23 m'lik köşe konsollarını taşımanın en ekonomik ve etkin yolu, basınca çalışan bir dizi diyagonal ile kolonların oluşturduğu, çelik çaprazlı bir tüp oluşturmak olarak düşünülmüştür. Bu sistem yapının yerçekimi kuvvetlerini de yapının merkezinde, 1,5 m boyutundaki kolona iletmektedir. Ana diyagonaller sekiz katlık modüller halinde tekrarlanmaktadır. Bu diyagonal sistem yapının her cephesinde uygulanmasıyla rüzgar yüklerine karşı koyma açısından oldukça etkin bir strüktür elde edilmiştir. Cephe düzenindeki bu büyük strüktürel diyagonaller, yatay yükleri karşılayarak, merkezi bir kolona iletmekte, daha sonra bu kolonlar yükleri dört ayağa aktararak, yapının yükünü zemine iletmektedir. Dıştan bakıldığında bir balığın

iskeletini andıran bu yapı sekiz katta bir yükselen diyagonaller ile bölümlere ayrılmış gibi çalışmaktadır. Bu diyagonallerin bağladığı yerde köşe kolonları bulunmamaktadır. Aşağı indikçe, köşelerde büyüyen serbest üçgen bölgeler, birbiri üstüne oturan ve her bir grubun en altında daha büyük kirişlere taşıtılan kolonlar tarafından taşımaktadırlar. Böylece sıradan bir duvar, bu cephede yapıya farklı bir özellik kazandırmıştır.

Yapının tipik ofis katlarında döşeme sistemi geleneksel olarak, çerçevesel çelik kirişler ile altında elektrik kablolarının yer aldığı çelik bir tabliye tarafından taşınan hafif beton tabladan oluşmaktadır. Çekirdek moment dayanımlı bağlantılarla oluşturulmuş bir çerçeve olması nedeniyle, rüzgar yüklerini her döşemeye eşit olarak dağıtmaktadır.



Şekil 5.59 Citicorp Center döşeme çerçevesi (Beedle, L.S., Rice, D.B., 1995, Structural Systems for Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3, McGraw-Hill, Inc., New York)

Bu yapının ilgi çekici diğer bir yanı ise asansör sistemidir. Ard arda iki sıra halinde dizilmiş asansör grupları bazı katlarda kesilerek, şaftlarda küçültmeler yapılmıştır. Bu durumda istenen kata çıkabilmek için, belli katlarda asansör değişikliği yapılması gereklidir. Bu ayırım tek ve çift katlar için yapılmış olup, tek veya çift katlara çıkacak olanlar ayrı lobilerden girmek durumunda kalmaktadır [Özgen ve Sev, 2000].

6. ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN RİJİTLİK AÇISINDAN İRDELENMESİ

Yüksek katlı yapılarda, yapı üzerine etkiyen düşey yükler kadar deprem ve rüzgar (yatay) yükler de etkili olmakta ve emniyetli bir şekilde zemine aktarılabilmesi için bu aktarma görevini yüklenen 5. Bölümde ayrıntılarıyla anlatılan çelik taşıyıcı sistemlerin rijitleştirilmesi gerekmektedir.

Rijitleştirilmesi gereken çelik taşıyıcı sistem, yüksek katlı bir yapıda seçilirken “çerçeve”, “eleman” ve “sistem” açısından ele alınarak irdelenmesi Tablo 6.1’de verilmiştir.

6.1. Rijitleştirme İlkeleri

6.1.1. Çerçeve Açısından Rijitleştirme İlkeleri

Çerçeve düzeyinde rijitleştirme çerçeve taşıyıcı sistemlerde kullanılır. Çerçeveler de, düşey ve yatay düzlemleri oluşturmak için kullanılan doğrusal elemanlar rijit olarak birleştirilir. Düşey düzlemleri genellikle dikdörtgen ızgara yapacak şekilde kolon ve kirişler, yatay düzlemleri benzer ızgara düzenlemesi ile ana kiriş ve ara kirişler oluşturur. Yatay yüklere karşı sağlamlığı bağlantı noktalarının rijitliğine bağlıdır.

Çelik çerçeve-iskelet sistemlerin rijitleştirilmesi ve sistemin tümünün stabilitesinin sağlanması, dolu betonarme ya da kafes kiriş türü çelik perde elemanlarıyla yapılır. Yüksek yapılarda çelik çerçevelerin bina içinde, kafes kiriş türü çapraz ya da dirsek elemanlarıyla rijitleştirilmesi iç kullanım alanlarındaki esnekliği sınırlamaktadır. Buna karşılık rijitleştirmenin cephe çerçevelerinde yapılması çözümüne gidilebilmektedir. Bu bağlantılar yapısal olduğu kadar, estetik amaçlarda da kullanılır.

Sistemin başlıca avantajı planlamada, pencere, kapı ..vb. boşlukların düzenlenmesinde serbestlik sağlamasıdır.

6.1.2. Eleman Açısından Rijitleştirme İlkeleri

- Perde duvarları yapıya, sismik ve rüzgar kuvvetlerine karşı, çerçeve sistemlere göre daha fazla rijitlik kazandıran, düşey konsollar şeklinde davranan, düşey düzlemsel diyaframlardır. Bu duvarlar genellikle masif olup kapı, pencere, mekanik tesisat boşlukları .. vb. için sınırlı boyutlarda geçitler sağlar. Ancak yüksek yapıda perdeler tek başlarına kullanıldıklarında, üst katlarda büyük eğilme ötelenmeleri oluşur. Çerçeve sistemler ise tek başlarına kullanıldığı vakit yapı yüksekliği arttıkça yatay yükleri karşılamada yetersiz kalarak, yapı elemanlarında hasar ve çatlaklar oluşmaktadır. Bu yüzden artan bina yüksekliklerinde yatay yükler perde ve çerçeve sistemlerin birlikte kullanılmasıyla karşılanmaktadır.

Perdeler yatay yüklerin çoğunu karşılayarak çerçevelere yardımcı olmakta, çerçeveler ise perdelerin büyük rijitlik etkisini azaltarak ve sistemin süneklik oranını arttırarak, yatay etkilerin azalmasını sağlamaktadır.

Çerçeve-Perdeli sistemlerin rijitliği düşey kafes kirişlerle arttırılır. Düşey kafes kirişler zemine ankastre kiriş gibidir. Dar kafes kirişlerin rijitliklerini arttırmak için birkaç katta diyagonal bağlantılar kat genişliğince uzatılır.

Duvar ve çerçevelerin birlikte davrandıkları bu sistem özellikle binanın üst noktalarında daha rijit bir strüktür oluştururlar. 40 – 60 kat yükseklikler için uygun olan bu yapılar çapraz kuşaklarla desteklenebilirler.

Perde-Çerçevelerin birlikte çalışması, özellikle deprem bölgelerindeki çok katlı yapılarda önem kazanmaktadır.

- Döşemeler, düşey, yatay ve kendi düzlemlerindeki yükleri aktaran rijit yatay düzlemlerdir. Yapıda kapalı bir düzen oluşturarak dış yükleri karşılar, düşey taşıyıcı sistemin elemanlarını bağlar ve sağlamlaştırır.

Bir döşeme sistemindeki eleman boyutu, açıklığa bağlı olarak değişir. Açıklık arttıkça, elemanın boyutu eğilme dayanımına göre belirlenir; daha büyük açıklıklarda ise hareketli yükler altında aşırı sehim ya da titreşim oluşmasını engelleyecek rijitliği sağlamak amaçlanır. Çok katlı binalarda, dayanımdan ziyade rijitliğe göre saptanan açıklıklar için gereken kolon dokusu, yapı elemanının maruz kaldığı yükü taşımasının yanı sıra, kullanımla ilgili bir problem yaratmama durumundan, örneğin yürürken döşemenin titrememesine göre belirlenir. Döşemenin çerçevesi rijit mesnetli kirişlerden oluşabilir. Dirsek ve diyagonal bağlantılarla rijitleştirilirler.

Ağırlığının az olması, çabuk yapımı, kalıp gerekmemesi ve montajdan hemen sonra yürünülmesi gibi avantajları vardır. Asma tavanla taşıyıcı döşeme arasındaki boşluk tesisat ve servislerin yerleştirilmesi açısından da yararlıdır.

6.1.3. Sistem Açısından Rijitleştirme İlkeleri

- Çok katlı yüksek yapıda mekanlar arasındaki geniş kullanılabilir alan esnekliğini perdelerle karşılamak güçtür. Bu yüzden geniş kullanım alanı istenen binalarda perdelerin birleştirilmesiyle oluşturulan çekirdek ya da çekirdekler kullanılır.

Sadece düşey bir kafes kirişin bulunduğu çerçeve-perdeli sistemler 40 katın üzerindeki yapılar için uygun olmamaktadır. Bu yüzden taşıyıcı sistemin rijitliği çerçeveyi çekirdeğe bağlayan yatay kafes kirişler kullanarak %30 oranında artırılabilir. Bu kafes kirişler çekirdeğe rijit, dış kolonlara basit olarak bağlanır. Böylece sistem bir bütün olarak çalışır. Taşıyıcı çekirdeğin rijitliğini arttırmak için ara ve alt katlarda diyagonal bağlantılarla kafesler oluşturulur.

Her iki katta bir taşıyıcıya gerek olmamasından zemin kat planlamasında serbestlik sağlanır. Çekirdeğin gergi elemanlarıyla asılması durumunda, zemin gerilmesi, yüksek ve bina yakınında komşu temellerin bulunması durumunda, artı bir avantaj sağlar. Çekirdekler binanın tüm ağırlığını taşıdığı için dıştaki kolonların yerleşimi estetik ve fonksiyonel gereklere uyumlu olabilecek şekilde tasarlanabilir. Çekirdekteki devrilme momentleri, her bir yatay kafes kirişin çekirdekle kesiştiği noktada uyguladığı karşıt moment ile azaltılabilir.

- Yapı yüksekliğinin artması sonucu yatay yükler önem kazanırlar. Bu nedenle tamamen rijitleştirilmiş yapı dış duvarlarının, birbirleriyle bağlantılarını sağlayarak bir tüp şekli oluşturulabilir. Tübüler sistemlerde dış cephe duvarları yatay yüklerin çoğunu ya da tümünü karşıladığından, içteki rüzgar bağlantısı ve perdeler gerek kalmamaktadır. Bununla birlikte yapı yüksekliği ya da yatay yükler arttığında iç tüplerden ya da çekirdekten yararlanılır.

Bir kafes tüpün taşıyıcılığını arttırabilmek, kolonlar arasında daha çok mesafeye imkan tanımak ve daha fazla yükselebilmek için mümkün olan bir yol, tüpün yüzeylerine çaprazlamalar eklemektir. Çapraz elemanlar eklenerek tüpte rijitlik artırılabilir. Böylece yatay yüklere karşı kolon, kiriş ve diyagoneller birlikte bütün bir duvara benzer rijitlik sağlamaktadır. Ayrıca kolon aralıkları daha açık, kiriş yükseklikleri daha az tutulabilmekte, pencere ve kapı boşluklarında da daha rahat bir

mesafe oluşmaktadır. Çapraz elemanların hem yatay hem de dűřey kuvvetleri karşılayabilmesi olanağından dolayı 100 kattan fazla binalar yapılabilmesine olanak sağlar.

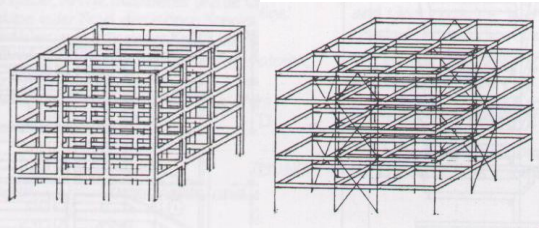
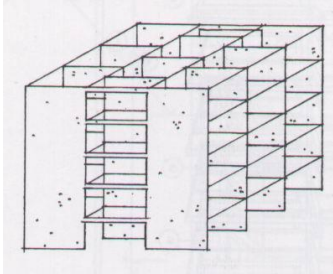
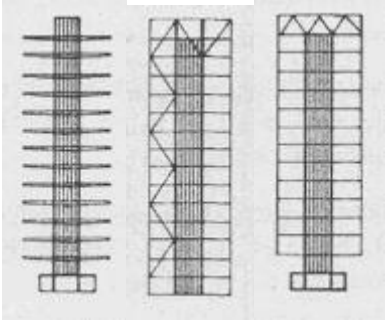
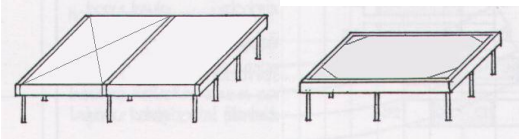
Tűbűler sistemli bina içine perde duvar ve i çekirdekler eklenmesiyle de rijitleřtirilebilir. Dıř tűbűler duvar planda i perde duvarlarla rijitleřtirilebilir. Çekirdek kullanımı ile sistemin rijitlięi, boř tűplere oranla yatay ve dűřey yűkleri birlikte tařıma açısından geliřtirilmiřtir.

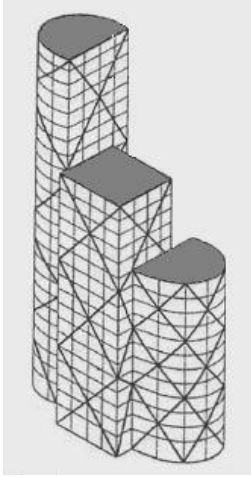
İkiden fazla birbirinden baęımsız tűpler bir araya getirilerek birlikte davranırlar. Bűylece i kolon dizileri ve kiriřleri binanın içinde bir aę gibi davranarak kesme kuvvetlerine karřı dev bir konsol kiriř gibi davranırlar. Dolayısıyla daha fazla açıklıklı kolonları tasarlanmasına olanak saęlar. Bu i diyaframların yanı sıra binanın dıřında ve içinde yer alan kolonlar dűnme momentine karřı binaya rijitlik saęlamaktadır. Bu sistemin en bűyűk avantajı, geniř açıklıklı kolon uygulaması ve cephede esnek tasarım yapılabilmesine olanak saęlamasıdır. Ayrıca bu sistem, en fazla yűkseklięe ve dűřeme alanına olanak saęlar.

Yűksek yapıların yatay rijitlięini arttırmak amacıyla beton ve elik birlikte kullanılabilir. Bu sistemde dıř elik ereve, yatay deformasyona karřı yerinde dűkme beton dűkme bořluklu cephe duvarı ile rijitleřtirilir. Bűylece elik bir yapının hızlı yapım ve ve yűksek dayanımı, iç mekanda serbestlik ile beton kesme duvarının yangın koruyuculuk, yalıtkanlık, yatay rijitlik ve řekil verilebilirlik űzelliklerini bir araya getirmektedir.

Tűbűler sistemlerin yararı ve etkinlięi, yapının birim alanına dűřen yapısal malzemenin, geleneksel çerçeveli bűrolardakinin yarısına dűřmesiyle belirgin bir řekilde ortaya çıkmaktadır.

Tablo 6.1. Çelik taşıyıcı sistemlerde rijitleştirme ilkeleri

	NEDEN	ÇERÇ.	ELEM.	SİST.	ÇİZİM	İLKELER
ÇERÇEVE SİSTEMLER	Planlamada esneklik					Bağlantı noktalarıyla
						Kafes kiriş türü çapraz ya da dirsek elemanlarıyla
						Kafes kiriş türü çelik perde elemanlarıyla
ÇERÇEVE-PERDE SİSTEMLER	Çerçeveler yapı yüksekliği arttıkça yatay yükleri karşılamada yetersiz kalmaktadır.					Düşey kafes kirişlerle
						Çapraz kuşaklarla
						Cephe çekirdekleriyle
ÇEKİRDEKLİ SİSTEMLER	Mekanlar arasındaki kullanılabilir alan esnekliğini yalnız perde duvarlarla karşılamak güçtür.					Yatay kafes kirişlerle
						Ara ve alt katlarda diyagonal bağlantılarla
						Gergi elemanlarıyla
DÖŞEME SİSTEMLERİ	Yatay yüklerin akış yönünü belirleyerek yapı iskeletinin geometrisini biçimlendirmek					Rijit mesnetli kirişlerle
						Dirsek ve diyagonal bağlantılarla

	NEDEN (devam)	ÇERÇ.	ELEM.	SİST.	ÇİZİM (devam)	İLKELER (devam)
TÜBÜLER SİSTEMLER	Yükleri binanın çekirdeğinden dış duvarlara doğru taşıyarak daha hafif ama taşıma gücü yeterli bir yapı oluşturmak için					Rijit çerçeveye
						Tüpün yüzeylerine çaprazlamalar eklenmesiyle
						Bina içine perde duvar ve iç çekirdekler eklenmesiyle
						İkiden fazla birbirinden bağımsız tüpün bir araya getirilmesiyle
						Beton ve çeliğin birlikte kullanılmasıyla

7. SONUÇLAR

Yüksek katlı çelik yapılarda, farklı şekillerdeki taşıyıcı sistemlerde rijitleştirme ilkelerinin düzenlenmesi konusunda, gerek mevcut örneklerin analizi, uygulama alanları ve değerlendirilmesi amacıyla oluşturulan çalışma, rijitleştirme ilkelerinin irdelenmesi ve bu ilkelerin rijitleştirme de söz konusu taşıyıcı sistemler açısından belirlenmesi amacını kapsamaktadır. Altıncı bölümde ayrıntılı olarak anlatılan çelik taşıyıcı sistemlerde, rijitleştirme ilkelerinin düzenlenmesi ve bu ilkelerin “çerçeve”, “eleman” ve “sistem” açısından irdelenerek seçilmesi, Tablo 6.1’de bir araya getirilmiştir.

Seçilmesi düşünülen çelik taşıyıcı sistemlerde rijitleştirme ilkelerinin “çerçeve”, “eleman” ve “sistem” açısından irdelenmesinin, yüksek yapı üzerine etkiyen düşey ve yatay yüklerin zemine güvenle aktarılması için ne derece önemli olduğuyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma sonucuna göre, rijitleştirmenin, özellikle iç çekirdek (tüpün) dış çekirdeğin birlikte kullanıldığı “sistem” açısından rijitleştirme ilkelerinde, yüklerin paylaşılmasından dolayı diğer rijitleştirme ilkelerine oranla daha etkin bir rol oynadığı söylenebilir. Bu çalışma sonucunda göze çarpan diğer sonuç ise, birden fazla tüpün bir arada kullanılmasının taşıyıcı sistemin rijitliğini arttıracak ve sistemin en fazla yüksekliğe ve döşeme alanına olanak sağlayacağıdır.

Yapılan bu değerlendirmeler sonucu, çelik yapı tasarımı yapan mimar ve mühendislerin seçmek isteyecekleri taşıyıcı sistemdeki rijitleştirme ilkelerini “çerçeve”, “eleman” ve “sistem” açısından irdelleyerek tasarımın ilk aşamalarından başlayarak, işlevsel çözümle birlikte düşünmeli ve sonuca gitmelidir.

KAYNAKLAR

- Ali, M.M., Armstrong, P.J.**, 1995, "Architecture of Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 30", McGraw-Hill, Inc., New York.
- Ali, M.M.**, 1990, "Integration of Structural Form and Esthetics in Tall Buildings Design: The Future Challenge", Council on Tall Buildings and Urban Design, Collected Papers, Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- Beedle, L.S., Rice, D.B.**, 1995, "Structural Systems for Tall Buildings, Council on Tall Buildings and Urban Habitat Committee 3", McGraw-Hill, Inc., New York.
- Bennett, D.**, 1995, "Skyscrapers: Form and Function", Simon and Chuster, Rockefeller Center, 1230 Avenue of the Americans, New York.
- Blanc, A., McEway, M.**, 1990, "Architecture and Construction in Stell", Reidor Bjorhowale, Londra.
- Çakıroğlu, A., Özmen, G.**, 1973, "Çerçeveler ve Boşluklu Perdelerden Oluşan Yapıların Yatay Yüklere Göre Hesabı", İTÜ İnşaat Fakültesi, Teknik Rapor, No 16, İstanbul.
- Çeçen, H.**, 1974, "Computer Aided, Reliability Based, Optimum Design of Multi-Storay Steel Frames", MS Thesis, Washington University, St. Lois.
- Deren, H.**, 1995, "Çelik Yapılar", İTÜ Kütüphanesi Katoloğu, İstanbul.
- Deren, H., Ardan, F.**, 1976, (Çevirenler)-«Monografiler 3. Çelik Yol Köprüleri», İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 1049.
- Duman, N., Özgen, K.**, 1973, "Çelik Yapılar", İTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul.
- Engel, H.**, 1997, "Structure Systems", Max Dorn Press, Germany.

- Erşen, N.**, 1996, “Çelik Yapılar ve Çözömlenmiş Problemler”, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Hart, F., Henn, W., Sontag, H.**, 1974, “Multi-Storey Buildings in Steel”, Collins.
- Hasol, D.**, 1995, “Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü”, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- Karataş, H.**, 1979, “Asma Sistemler”, İTÜ Mimarlık Faköltesi, İstanbul.
- Öke, A.**, 1991, “Dünyada ve Türkiye’de Yüksek Binaların Gelişmesi”, Yapı 116, YEM Yayınları, İstanbul.
- Özdil, S.**, 2001, “Çelik Yapıların Ekonomisi, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri”, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Faköltesi, İstanbul.
- Özer, F.**, 1989, “Yüksek Yapıların Tarihsel Evrimi”, Yüksek Binalar I. Ulusal Sempozyumu”, İTÜ Mimarlık Faköltesi, İstanbul.
- Özfiliz, S.**, 2002, “Çelik Yapılarda Taşıyıcı Sistemle Dış Duvarları Bütünleştirme Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgen, A.**, 1989-a, “Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler: Çerçevesel-Perdeler-Çekirdekler-Tüböler Sistemler”, MSÜ Mimarlık Faköltesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özgen, A.**, 1989-b, “Çok Katlı Yüksek Yapıların Tarihsel Gelişimi ve Son Aşama Tüböler Sistemler”, Yapı 89, YEM Yayınları, İstanbul, s.47-53.
- Özgen, A.**, 1989-d, “Yüksek Yapılarda Tüböler Taşıyıcı Sistemlerin Kullanılması”, Yüksek Yapılar Sempozyumu, YEM, İstanbul.
- Özgen, A., Bayramoğlu, G.**, 2002, “Çok Katlı Çelik Yapılar”, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Çelik Yapılar Seminerleri, İTÜ, Gebze, Mart.
- Özgen, A., Sev, A.**, 2000, “Çok Katlı Yüksek Yapılarda Taşıyıcı Sistemler”, İstanbul.
- Özmen, C.**, 1989, “Depreme Dayanıklı Çok Katlı Yapılarda Tasarım ve Üretim Sorunları”, Çok Katlı Yapılar Sempozyumu, İzmir İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir.
- Piroğlu, F.**, 2001, “Çok Katlı Çelik Yapılar”, Yapısal Çelik Haftası Seminerleri, İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Faköltesi, İstanbul.

Schueller, W., 1977, “High Rise Building Structures”, John Wiley & Sons, Çeviri; Ö.G.Özşen, E.F.Yamantürk, Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemler, YTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Skidmore, Owings ve Merrill, 1997, “The Master Architect Series”, Selected and Current Works, Second Edition, Everbest Printing, Hong Kong.

Smith, B.S., Coull, A., 1991, “Tall Building Structures Analysis and Design”, New York.

Taranath, B.S., 1988, “Structural Analysis and Design of Tall Buildings”, Mc-Graw Hill, New York.

<http://www.lera.com>

<http://www.aviewoncities.com>

<http://www.city.osaka.jp>

<http://www.dcm-group.com>

<http://a4d.hypermart.net>

<http://www.aviewoncities.com>

<http://www.aviewoncities.com>

<http://www.aviewoncities.com>

<http://www.structurae.de>

<http://www.landmark.ne.jp>

<http://www.aviewoncities.com>

<http://home.t-online.de>

<http://www.skyscraperpicture.com>

<http://www.skyscrapers.com>

<http://www.pbs.org>

<http://www.skyscrapers.com>

<http://www.lehigh.edu>

ÖZGEÇMİŞ

Mimar Murat Doğan Çelik, 08.08.1977'de Ankara'da doğmuştur. 1994 yılında İstanbul Kabataş Erkek Lisesi'nden mezun oldu. 1995 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde lisans öğrenimine başlayıp, 1999 yılında mezun olmuştur. 1999'da İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Ana Bilim Dalı Yapı Bilgisi Programında Yüksek Lisans eğitime kayıt olmuş ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Yüksek okulunda bir yıl süre ile İngilizce hazırlık okumuştur. 2000 yılında akademik çalışmalara başlamış ve tez çalışmalarını Doç. Dr. Lemi Yücesoy ile sürdürmüştür. Aynı yıl YMF İnş. LTD Şti.'yi kurarak sektörde olan çalışmalarını, halen ortağı olduğu bu şirketin çatısı altında devam ettirmektedir.