

85107

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA
EKONOMİK TAŞIYICI SİSTEM TASARIMI

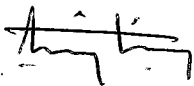
İnşaat Müh. Nuri TUNCAY

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan


YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DENEYİM MERKEZİ

Tez Danışmanı : Prof. A. Zafer ÖZTÜRK


Prof. A. Zafer ÖZTÜRK


Prof. İbrahim EKİZ


Prof. Dr. Tuncer ÇELİK

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN TARİHÇESİ	1
2. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN BETONARME YAPILARLA KARŞILAŞTIRILMASI	8
3. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN TASARIMINDA ETKİLİ OLAN YÜKLER	12
3.1. Düşey Yükler	12
3.1.1. Sabit yükler	12
3.1.2. Hareketli yükler	13
3.1.3. Montaj yükleri	14
3.2. Isı değişimi, Kar ve Yağmur Yükleri	14
3.3. Rüzgar Yükleri	15
3.3.1. Rüzgar hızı	15
3.3.2. Rüzgar basıncı	17
3.3.3. Türbülans etkisi	17
3.4. Deprem Yükleri	19
4. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARI	23
4.1. Kolonlar	23
4.1.1. Kolon ayakları	24

4.2.	Kirişler	27
4.2.1.	Kolon ve kirişlerin yangından korunması	28
4.2.2.	Kompozit kolon ve kirişler	29
4.3.	Yüksek Yapılarda Kullanılan Birleşimler.....	32
4.3.1.	Birleşimlerin sınıflandırılması	32
4.3.2.	Birleşim aracının seçimi	35
4.3.3.	Rijit çerçeve birleşimleri	36
4.3.4.	Basit çerçeve birleşimleri	41
4.3.5.	Yarı rijit çerçeve birleşimleri	45
4.4.	Kompozit Döşeme Sistemleri	48
4.4.1.	Hazır betonarme plaklar ve kirişlerin oluşturduğu kompozit birleşim	48
4.4.2.	Çelik levhaların üzerine beton dökülerek oluşturulan kompozit birleşim	50
5.	ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA KULLANILAN TAŞIYICI SİSTEMLER	55
5.1.	Kayma Çerçevesi Sistemi	57
5.2.	Kayma Kafesi ve Kayma Çerçevesi Etkileşimli Sistemleri	60
5.3.	Yatay Kafes ve Sistemi	63
5.4.	Çerçevesi Tüp Sistemi	65
5.5.	Bağlı Tüp veya Modüler Tüp Sistemi	69
5.6.	Diyagonal Tüp Sistemi	70
5.7.	Kompozit Yapı Sistemleri	72
5.7.1.	Betonarme çekirdek veya perde duvarlı kompozit çelik çerçeveler	72
5.7.2.	Betonarme podyum ve üstte çelik çerçevesi kompozit yapı sistemi	73
5.7.3.	Betonarme tüplü kompozit yapı sistemi.	75
5.7.4.	Askılı kompozit yapı sistemleri	76

6.	EKONOMİK TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİ	79
6.1.	Taşıyıcı Sistemin Maliyetini Etkileyen Faktörler	81
6.2.	Yapısal Faktörler	83
6.3.	Rijit Çerçeve Sistemi, Diagonal Destekli Rijit Çerçeve Sistemi ve Diagonal Destekli Basit Çerçeve Sistemlerinin Karşılaştırılması	84
6.4.	Rijit Çerçevlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması	86
6.5.	Kat Yüksekliği ve Yatay Deplasman Limitlerinin Yapı Maliyetine Etkisi	88
6.6.	Yapı Elemanları Sayısını Azaltmanın Yapı Maliyetine Etkisi	90
6.7.	Bulon Sayısını Azaltmanın Yapı Maliyetine Etkisi	91
6.8.	Tasarım Momentlerinin Kat Adedine Bağlı Değişiminin İncelenmesi	92
6.9.	Çeşitli Tipteki Çerçevelerin Ağırlık ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması	94
7.	SONUÇLAR	95
	KAYNAKLAR	96
	ÖZGEÇMİŞ	97

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa
Şekil 1.1	Haughwout Building binası New York 1857.[16]	2
Şekil 1.2	Woolworth Tower binası New York 1913.[16]	4
Şekil 1.3	Inland Steel Building binası, Chicago.[16]	5
Şekil 1.4	Plastik dizayn yöntemiyle inşaa edilmiş bir apartman Toronto.[16]	6
Şekil 3.1	Üç değişik yükseklik için rüzgar hızı kaydı.[14]	16
Şekil 3.2	Çeşitli pürüzlülükteki yüzeylerde ortalama rüzgar hızı profili.[14]	16
Şekil 3.3	Rüzgar basıncının yapıda meydana getirdiği hareket.[18]	17
Şekil 3.4	Türbülans etkisi.[18]	17
Şekil 3.5	Venturi etkisi.[18]	17
Şekil 3.6	Girdapların oluşumu.[18]	18
Şekil 3.7	Rüzgar etkisiyle yapıda oluşan salınımlar.[18]	18
Şekil 3.8	Deprem sırasında yapılarda meydana gelen zorlamalar.[8]	19
Şekil 3.9	Yapılarda kat sayısına bağlı titreşim modları.[8]	20
Şekil 3.10	İdealize edilmiş ivme spektrumları.[1]	20
Şekil 3.11	Deprem kuvvetlerinin katlara dağıtılması.[1]	21
Şekil 4.1	Çok katlı çelik yapılarda kullanılan kolon kesitleri.[14]	23
Şekil 4.2	Kolon eklemeleri.[11]	24
Şekil 4.3	Düşey yük aktaran kolon ayakları.[11]	25
Şekil 4.4	Moment aktaran kolon ayakları.[7]	25
Şekil 4.5	Kolon ayağı örneği.[6]	26
Şekil 4.6	Ankrajlama örnekleri.[14]	26
Şekil 4.7	Yapma kirişler.[9]	27
Şekil 4.8	Kiriş eklemeleri.[7]	27
Şekil 4.9	Beton ve çeliğin sıcaklığa bağlı gerilme-şekil değiştirme diyagramları.[15]	28
Şekil 4.10	Kolon ve kirişlerin betonla kaplanması.[15]	28
Şekil 4.11	Kolon içindeki ısı dağılımı.[15]	29
Şekil 4.12	Kompozit kolon ve kiriş kesitleri.[15]	29
Şekil 4.13	Kompozit kolon örnekleri.[15]	30
Şekil 4.14	Kompozit çerçeve örneği.[2]	30
Şekil 4.15	Kompozit kolonların hazırlanması.[2]	31
Şekil 4.16	Bağlantı geometrisine göre sınıflandırma örnekleri.[6]	33
Şekil 4.17	Rijit birleşim örnekleri.[6]	36
Şekil 4.18	Rijit kolon-kiriş birleşimleri.[7]	37

Şekil 4.19	Gövde diyagonalı rijit kolon-kiriş birleşimleri.[11]	38
Şekil 4.20	Bulon veya perçinli rijit birleşimler.[12]	38
Şekil 4.21	Kaynaklı rijit birleşim örnekleri.[6]	39
Şekil 4.22	Kaynaklı rijit birleşim detayı.[12]	39
Şekil 4.23	Takviyeli rijit birleşimler.[7,12]	40
Şekil 4.24	Basit kolon-kiriş birleşimleri.[12]	41
Şekil 4.25	Basit bağlantılı kiriş-kiriş birleşimleri.[11]	42
Şekil 4.26	Perçinli veya bulonlu basit birleşimler.[12]	43
Şekil 4.27	Basit birleşimlerde oluşabilecek deformasyonlar.[12]	43
Şekil 4.28	Gövde kaynaklı basit birleşim.[12]	44
Şekil 4.29	Kaynaklı montaj korniyerli basit birleşim.[12]	44
Şekil 4.30	Birleşimlerin rijitliğine bağlı moment diyagramları.[12]	45
Şekil 4.31	Yarı rijit kolon-kiriş birleşim örnekleri.[11]	46
Şekil 4.32	Bulon veya perçinli yarı rijit birleşimler.[12]	46
Şekil 4.33	Kaynaklı yarı rijit birleşimler.[12]	47
Şekil 4.34	Hazır betonarme plaklı kompozit döşemeler.[14]	48
Şekil 4.35	Kompozit döşemelerin oluşturulması.[4]	49
Şekil 4.36	Öngerilmeli döşeme plaklarının yerleştirilmesi.[2]	50
Şekil 4.37	Döşeme profilleri.[4]	50
Şekil 4.38	Avrupa'da kullanılan patentli döşeme profilleri.[5]	51
Şekil 4.39	Başlıklı çivilerin kaynaklanması.[4]	51
Şekil 4.40	Döşeme örneği.[4]	52
Şekil 4.41	Hasır çelik çubuk kullanılması.[4]	52
Şekil 4.42	Beton dökülmesi.[4,5]	53
Şekil 4.43	Döşemelere etki eden montaj yüklerinin doğru biçimde yerleştirilmesi.[5]	54
Şekil 4.44	Döşemelere yapılabilecek delikler.[5]	54
Şekil 5.1	Taşıyıcı sistem çeşitleri ve uygulanabilir kat adetleri.[4]	55
Şekil 5.2	Kayma çerçevelerinin yanal yükler etkisiyle yaptığı deformasyonlar.[4]	57
Şekil 5.3	Kayma çerçevesi örneği, Business Men's Assurance Kansas City.[4]	58
Şekil 5.4	Kayma kafesi ve kayma çerçevesi etkileşimli sistemleri.[4]	60
Şekil 5.5	Yapılarda kullanılan diyagonal eleman çeşitleri.[4]	61
Şekil 5.6	Yüksek yapılarda çekirdek bölgesine yerleştirilmiş asansörler.[4]	62

Şekil 5.7	Yatay kafesli sistemin yanal yüklemeler etkisiyle yaptığı salınımlar.[3]	63
Şekil 5.8	Yatay kafes sistemi örneği. First Wisconsin Center, Milwaukee.[3]	64
Şekil 5.9	Yanal kuvvetlerin dış cephede oluşturduğu lineer olmayan gerilme dağılımı.[18]	65
Şekil 5.10	Prefabrik, çerçevesiz tüp yapı elemanları.[4]	66
Şekil 5.11	Zemin kat kolonlarının birleştirilmesi.[18]	67
Şekil 5.12	Prefabrik elemanlarla yapılmış çerçevesiz tüp yapı. Worldwide Plaza, New York.[3]	67
Şekil 5.13	Çerçevesiz tüp sistemi örneği. Sixty State Street binası Boston.[4]	68
Şekil 5.14	Modüler tüp sistemi örneği. Sears Tower binası, Şikago.[4]	69
Şekil 5.15	Diyagonal tüp sistemi detayı.[4]	70
Şekil 5.16	Diyagonal tüp sistemi örneği. John Hancock Center, Şikago.[4]	71
Şekil 5.17	Betonarme çekirdek ve perde duvarlı çerçeve. Knights of Columbus.[4]	73
Şekil 5.18	Betonarme podyumlu kompozit yapı örneği. Pavillon Suisse, Paris.[4]	74
Şekil 5.19	Betonarme podyumlu ve çekirdekli kompozit yapı. Nat West Tower Londra.[4]	74
Şekil 5.20	Betonarme tüplü kompozit yapı.[14,18]	75
Şekil 5.21	Askılı kompozit sistem. Commercial Union Center Londra.[4]	76
Şekil 5.22	Askılı kompozit sistem. Tour du Midi Brüksel.[4]	77
Şekil 5.23	Askılı kompozit sistem örnekleri.[4]	78
Şekil 6.1	M tipi rijit çerçeve sistemi.[14]	85
Şekil 6.2	N tipi diyagonal destekli rijit çerçeve sistemi.[14]	85
Şekil 6.3	P tipi diyagonal destekli basit çerçeve sistemi.[14]	85
Şekil 6.4	A tipi tam rijit çerçeve sistemi.[14]	86
Şekil 6.5	B tipi rijit çerçeve sistemi.[14]	87
Şekil 6.6	C tipi rijit çerçeve sistemi.[14]	87
Şekil 6.7	D tipi rijit çerçeve sistemi.[14]	87
Şekil 6.8	Rijit çerçeve sistemi.[14]	88
Şekil 6.9	Yanal deplasman limiti ve birim yapı ağırlığının karşılaştırılması[14]	89
Şekil 6.10	Kat yüksekliği ve birim yapı ağırlığının karşılaştırılması.[14]	89
Şekil 6.11	E tipi rijit çerçeve sistemi.[14]	90
Şekil 6.12	F tipi rijit çerçeve sistemi.[14]	90
Şekil 6.13	İç kirişlerdeki tasarım momentlerinin kat adedine bağlı değişimi[16]	92
Şekil 6.14	Çok katlı yapıda çeşitli birleşimlerin ağırlık ve maliyet değerleri[16]	94

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, çok katlı çelik yapılarda taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde tasarımı konusu incelenmiştir. Yapılan çalışmada, ilk önce çelik yapıların tarihi gelişimi, çok katlı çelik yapıların avantajları ve taşıyıcı sisteme etki eden yüklemeler konusu ele alınmıştır.

Sonraki aşamada taşıyıcı sistemi oluşturan kolon, kiriş ve döşemelerin tasarım prensipleri açıklanmış, taşıyıcı sistem birleşimlerinin çeşitleri ve bu birleşimlerin ekonomik biçimde oluşturulması konusu incelenmiştir.

Çok katlı çelik yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem çeşitleri tanıtılmış ve bu sistemlerin özellikleri ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Taşıyıcı sistemlerin ekonomik biçimde uygulanabilme sınırları belirtilmiştir.

Son bölümde taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde tasarımı için yapılması gereken düzenlemeler ile ekonomik yapı tasarımı için daha önce yapılmış çalışmalar ve araştırmalar özetlenmiştir.

Bu çalışmam sırasında bana yardımcı olan danışmanım sayın Prof. A. Zafer ÖZTÜRK beye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çevirilerimde bana yardım eden kardeşim Nur Tuncay'a ve desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

ÖZET

Çok katlı çelik yapıların; yükleme özellikleri, yapım kriterleri ve yapı konforu göz önünde bulundurularak ekonomik biçimde tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla taşıyıcı sistem tipinin, taşıyıcı sistem elemanlarının ve çerçeve birleşimlerinin maliyetlerinin mümkün olduğunca düşük tutulması sağlanmalıdır.

Ekonomik bir tasarım için taşıyıcı sistemin uygun biçimde belirlenmesinin yanı sıra, yapıda kullanılan profillerin, bulon çeşitlerinin ve kaynaklama malzemelerinin istenilen zamanda ve miktarda bulunabilmesi, çerçeve birleşimlerinin, finansman ve işçilik maliyetinin düşük tutulması, inşaat ve işletme süresinin azaltılması gereklidir.

Çok katlı çelik yapılarda kolon ve kirişler, tek profilden veya çok parçalı yapma profillerden oluşturulmaktadır. Kolon ve kirişlerin yangından korunması amacıyla, kesitin etrafı betonla kaplanmaktadır. Çelik yapılarda kompozit döşemeler kullanılmakta olup bu döşemeler, kirişlere sabitlenmiş hazır betonarme plaklarla veya çelik levhaların üzerine beton dökülmesiyle elde edilir.

Birleşimlerin rijitliğine göre sınıflandırılması, rijit birleşimler, basit birleşimler ve yarı rijit birleşimler olarak yapılmaktadır. Birleşim aracı olarak perçinler, kaynaklar ve, normal veya sürtünmeyle kuvvet aktaran bulonlar kullanılmaktadır.

Yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem çeşitleri aşağıda gösterilmiştir:

- Kayma çerçevesi sistemi.
- Kayma kafesi sistemi.
- Kayma kafes ve çerçevesi etkileşimli sistemleri.
- Yatay kafes sistemi.
- Çerçevesi tüp sistemi.
- Kafes tüp sistemi.
- Bağlı veya modüler tüp sistemi.
- Kompozit sistemler.

Yapının ekonomik biçimde tasarımı; zemin durumuna, maruz kalacağı düşey ve yanal yüklemelerin şiddetine, yapının kat adedine, yapının yüksekliğinin taban alanına oranına, yapım kriterlerine, bölgesel yönetmeliklere, işgücü maliyetine, malzeme temini kriterlerine ve mekanik sistem kriterlerine bağlıdır.

Taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde belirlenmesi yapılan çalışmalar şunlardır.

- 1) Rijit çerçeve sistemi, diyagonal destekli rijit çerçeve sistemi ve diyagonal destekli basit çerçeve sistemlerinin karşılaştırılması.
- 2) Rijit çerçeveselendirme yöntemlerinin karşılaştırılması.
- 3) Kat yüksekliği ve yatay deplasman limitlerinin yapı maliyetine etkisi.
- 4) Yapı elemanları sayısını azaltmanın yapı maliyetine etkisi.
- 5) Bulon sayısını azaltmanın yapı maliyetine etkisi.
- 6) Tasarım momentlerinin kat adedine bağlı değişiminin incelenmesi.
- 7) Çeşitli tipteki çerçevelerin ağırlık ve maliyetlerinin karşılaştırılması.

ABSTRACT

In current structural engineering practice, multi-storey buildings have to be designed economically through considering gravity and lateral forces, construction criteria and comfort of the buildings. For this purpose, costs of the different types of structural system, structural system units and frame connections are minimized.

Structural system must be determined appropriately. Required amount of profiles that are used in constructions, types of bolts and welding equipment must be available on time, costs of framing constructions, financing and labor must be minimized, construction and administration term must be reduced in order to project the construction economically.

The beams and columns in multi-storey buildings are usually composed of I or U profiles. Fire resistance for columns and beams can be surrounded cross-section by concrete. Composite floors and structures that are used in multi-storey steel buildings, are composite steel deck floors and composite reinforced concrete slab and beam connections.

It's possible to classify connections into three groups according to their rigidity such as rigid, simple and semi rigid connections. Rivets, welds, normal high-strength or pre-stressed bolts are four types of fasteners to that are permitted for connections.

The evaluation of structural systems can be described in these arrangements;

- Shear frame system.
- Shear truss system.
- Shear truss-frame systems.
- Shear truss-frame-outrigger and belt trusses systems.
- Framed tube systems.
- Truss tube system.
- Bundled or modular tube system.
- Composite systems.

Design of the building depends on condition of the ground, effects of gravity and lateral forces, number of storeys, proportion of the height of the building to its construction area, construction criteria, costs of labor, availability of inputs, regional regulations and mechanical installation of plumbing, central heating and elevation.

Economical system projects has summarized in the following chapter;

- 1) Comparison of rigid framed, diagonal rigid framed diagonal simple framed systems.
- 2) Comparison of rigid framework methods.
- 3) The effect of the height of the storey and sway deflection limits on finances.
- 4) The effect of reduction in number of construction units on costs.
- 5) The effect of reducing number of bolts on cost of construction.
- 6) Examination of change in moments, that are used in projecting activities, depending on number of storeys.
- 7) Weight and cost comparison of frames that have different types.

BÖLÜM 1. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN TARİHÇESİ.

Çok katlı çelik yapıların tasarımı 1820'li yıllarda, dökme demirden yapılmış 20cm. derinliğindeki kolonların, Philadelphia şehrindeki bazı yapılarda kullanılmasıyla başladı.

İlk yapılan binalarda, dış kısımda yüklemeye karşı güçlendirilmiş kalın duvarlar, iç kısımda ise dökme demirden kolonlar kullanılıyordu. Dökme demirin kullanılması kolonlara istenilen şeklin verilebilmesini sağlamakla birlikte, bu kolonlar yangına karşı dayanıksızdı. Birleşimler elle vidalandıkları için yeterince sağlam değildi. İşlenmiş demirden yapılan döşeme kirişleri ve hatılları, yüzeysel kemerli döşemelerle birbirine bağlanmıştı. Dıştaki kalın duvarlar, binanın sadece yanal yükler karşısındaki dayanıklılığını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda dış cepheler için destek ve örtü oluşturmaktaydı.

1851 yılında Londra'da inşaa edilen Crystal Palace binasında, çift korniyerli başlıklar, levhalardan kesilen şeritler ve perçinli birleşimlerle oluşturulan demir kafes kirişler kullanılmıştır.

1854 yılında New York şehrinde inşaa edilen Harper & Bros. basımevinde ise 18cm. derinliğe sahip dövme demirden yapılmış I profiller kullanılmıştır.

1857 yılında asansörlerin icadı ve pratik bir biçimde kullanılmaya başlamasıyla, yüksek yapıların önü açılmış oldu. Bu devirde yapılmış New York'taki Haughwout binası Şekil 1.1'de görülmektedir.

1854'te New York şehrinde yapılan Cooper Union binasında buharla dönen boşaltım fanlarının kullanılması, havalandırma sistemlerinin gelişimine öncülük etmiştir. Bu dönemdeki diğer bir gelişme ise 1865 yılında demir üreticilerinin test makinelerini kullanıma sunmasıydı. Bu makinelerin kullanılmasıyla malzemelerin çekme, basınç ve eğilme mukavemetleri deneysel olarak ölçülebilmekteydi. Daha önceleri malzemelerin kalite kontrolü yapılamadığından, çok katlı bina yapımı güvenli kabul edilmiyordu.



Şekil 1.1 : Haughwout Building binası New York 1857.[16]

1860'lı yıllarda Chicago şehrinde endüstri ve ticaretin gelişmesiyle, çok katlı dökme demir binaların yapımı hızla arttı. Bu şehirdeki yapısal gelişmelerin öncüsü sayılan William LeBaron Jenney, 1883'te Chicago'daki Home Insurance Building binasını tamamladı. Bu binada tüm duvar ve zemin yükü demir kolonlar tarafından taşınmaktaydı. Ayrıca bu binanın önemi; modern çerçevesel yapıların öncüsü olması, çelik kirişlerin kullanılması ve farklı ısı etkilerinden dolayı dış kolonlarda oluşan gerilmelere karşı önlemler geliştirilmesiydi.[16]

Hızlı hidrolik asansörlerin yapılması, binaların yüksekliğinin daha da artmasını sağladı. Örgü duvarların ekonomik olmaması ve ağır olması nedeniyle bu tip binaların yerini yavaş yavaş çerçevesel veya kafes kirişli yapılar aldı. Çerçevesel yapılarda kolonlar ve kirişler; tüm döşemeler ve çatı için destek teşkil ediyorlardı.

Yüksek yapı yarışında önemli bir gelişme, 1889 yılında Paris'te 300 m. yüksekliğindeki Eyfel kulesinin inşa edilmesidir. Bu yapı yüksek binalara olan ilgiyi artırmıştır.

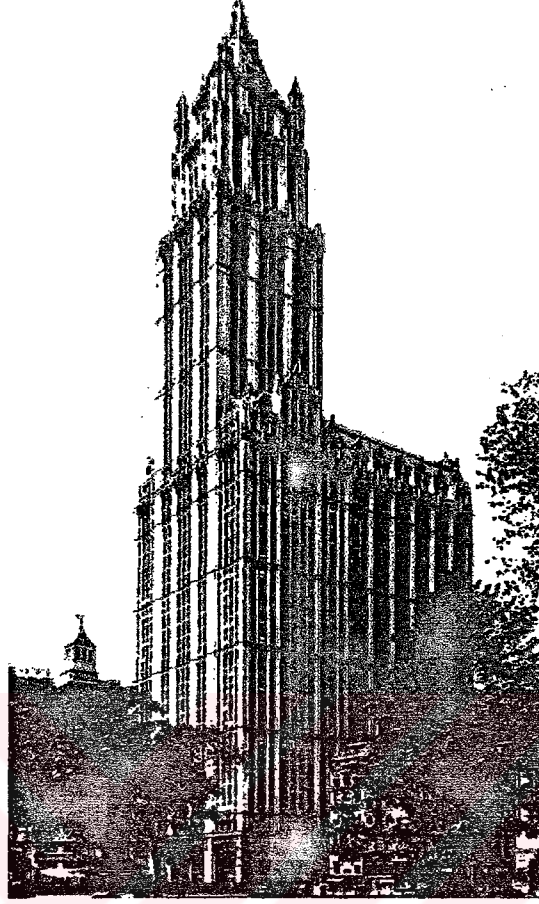
Chicago’da yapılan 13 katlı Chamber of Commerce (Ticaret Odası) binası, demir ve çelik çerçeveler dışında taşıyıcı eleman içermeyen ilk yapı olup, 1888 yılında yapımı tamamlanan Tacoma binasının önemi ise perçinli birleşimlerin kullanılmasıdır. Chicago’daki yapıların en önemli özelliği dış cephenin boydan boya camla kaplı olmasıdır.[16]

19.yy’ın son yarısında kolonlar için dökme demir, kirişler için ise işlenmiş demir kullanılmakta olup, tuğlalar ve lentolarla yapı için destek sağlanmaktaydı. Kolon ve kirişler arasındaki bağlantılar ise perçinlerle oluşturulmaktaydı. Yapılan çerçevelerin bazılarında örgü duvarlar kullanılmakta olup, bu duvarlar düşey ve yatay yükleri kolon ve kirişlerle birlikte taşımaktaydı. Çelik üretmek için geliştirilen Bessemer yöntemiyle; daha çok yük taşıma kapasitesi ve daha az deformasyon özelliklerine sahip çelik malzemeler üretilerek, çerçeveli yapı inşaatının önü açılmış oldu.

19.yy’ın sonlarında çelik yapı malzemesi, dökme demirden yapılmış kolon ve kirişlerin yerine geçmişti. Çelik malzemenin tercih edilme nedeni, çelik çerçeve profillerinin dökme demirden yapılanlardan %15 daha ekonomik olmasıdır.

Çelik çerçevelerde, geniş kolon açıklıkları kullanılabilen ve bina çevresi yalıtımlı cephe giydirmeleriyle kaplanabilmektedir. Çelik çerçevelerin yapımı binaların duvarlarla çevrilmesinden bağımsız olduğu için, inşaat hızlı biçimde devam etmektedir. Bu yöntemde önce bina çerçeveleri tamamlanmakta, daha sonra iç duvarlar ve cephe kaplamaları yapılmaktadır. Eski yöntemde ise çerçevelerin yapımı ve duvarların örülmesi, her katta birlikte yapıldığından, bina yapımı uzun sürmektedir.[4]

1920’lerin sonunda New York şehrinde de çok katlı yapılar hızla artmaktaydı. Bu dönemde yapılan en önemli örneklerden birisi, 1913 yılında yapımı tamamlanan 237 metre yüksekliğindeki 58 katlı Woolworth binasıdır. Vierendeel çerçeveleri kullanılarak yapılan ve Şekil 1.2’de görülen bu binanın yüksekliğinin fazla olması dolayısıyla, yanal yüklere karşı K-tipi destekler, oynar destekler ve tek diyagonal destekler kullanılmıştır. Yapıda kullanılan elektrikli asansörler, 180 metre/dakika hızla yükleme ve taşıma yapabilmekteydi.



Şekil 1.2 : Woolworth Tower binası New York 1913.[16]

Bu dönemde inşa edilen yapıların çoğunda Vierendeel çerçeveleri kullanılıyordu. Vierendeel çerçeveselendirme yönteminde; 6-7,5 metre açıklıklı çerçeveler, derin çerçeve kirişleri, rijitleştirilmiş mafsallı veya kemerli düğüm noktaları, ağır dış cephe giydirmeleri ve duvar bölmeleri ile betonarme döşeme plakları kullanılıyordu. Ağır duvarların ikinci mertebeye rijitlik etkileri hesaplamalara dahil edilmese bile, bu tip yapıların yatay yüklere karşı rijitliği yeterli performansı sağlamaktaydı. Çelik çerçevelerin yanal yüklemelere karşı dayanımı çeşitli yöntemlerle artırıldıkça, ağır örme duvarların kullanımı giderek azaltılmıştır.

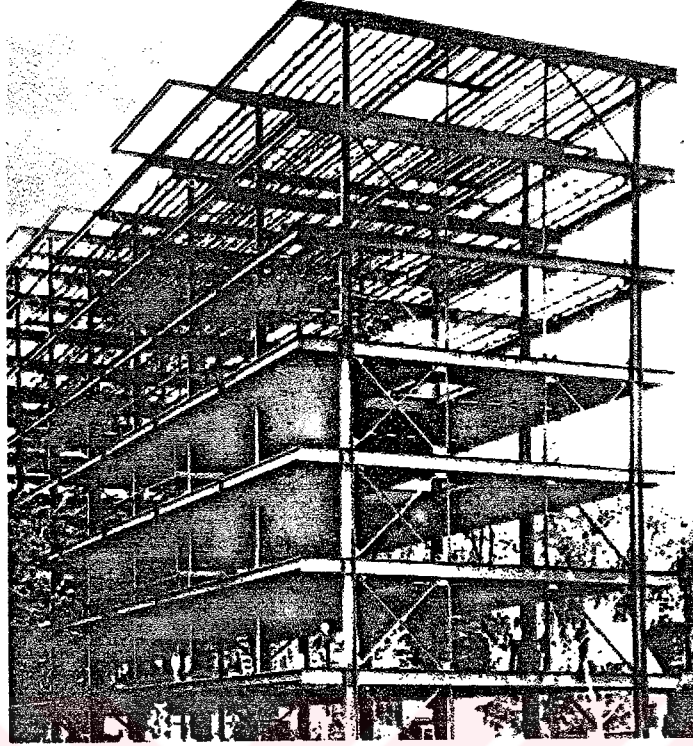
1930'lu yıllarda yapılan 30 katlı Gulf Oil Building ve 75 katlı Crysler Building binası, Vierendeel çerçevelerinin özellikleri kullanılarak inşa edilmiştir. 1931 yılında, 381 metre yüksekliğindeki 102 katlı Empire State (Hükümet) binasının tamamlanmasıyla, bu tip çerçevelerin çalışma şekli ve ekonomik avantajları daha iyi anlaşılmıştır. Yüksek yapılardaki hızlı gelişme II. Dünya Savaşının başlamasıyla azalmıştır.



Şekil 1.3 : Inland Steel Building binası, Chicago.[16]

Bina yapımındaki önemli bir diğer gelişme de elektrik arkı kaynağının kullanılmasıdır. Bu kaynak tipi 1880'li yıllardan beri küçük parçaları birleştirmekte kullanılmaktaydı. Fakat kaynaklı birleşimlerin kullanıldığı ilk çelik yapı 1920 yılında tamamlanan Electric Welding Company binasıdır. 1926'da Pennsylvania şehrinde inşa edilen Westinghouse Electric & Manufacturing Company şirketinin 5 katlı binası da tamamen kaynaklı birleşimli çerçevelerden imal edilmiştir. Tümü kaynaklı çelik çerçevelerle inşa edilmiş diğer bir yapı da Detroit kentindeki 30 katlı Michigan Consolidated Gas Company binasıdır.

Chicago'da 1955'te inşa edilen Inland Steel Building binasında kaynaklı birleşimler kullanılmakta ve iç kısımda kolon bulunmamaktadır. Şekil 1.3'te görülen 19 katlı bu bina, dış kısma yerleştirilmiş 7 çift kolon ve bunları birleştiren kirişlerden oluşmaktadır.



Şekil 1.4 : Plastik dizayn yöntemiyle inşaa edilmiş bir apartman Toronto.[16]

1930 ve 1950 yılları arasında, çok katlı çelik yapılar gittikçe narinleştirildi. Kolon ve kirişleri yangından korumak için hala beton örtü kullanılmaktaydı ve betonarme plakları ağır tuğla kemerlerin yerini aldı. Yapıların dik akslarla oluşturulması, moment ve kesme kuvveti hesaplarını kolaylaştırmış ve çerçeve hareketi daha kolay açıklanabilmiştir.

Plastik dizayn yönteminin 1950'li yıllarda geliştirilmesi, yapı davranışının daha iyi yorumlanmasını sağlamıştır. Plastik dizaynın kaynaklı birleşimlere uygulanmasına örnek olarak Toronto'daki 8 katlı apartman binası verilebilir (Şekil 1.4).

1950'lerde ortaya çıkan yüksek mukavemetli bulonlar, şantiye koşullarında montajı yapılan bağlantılar için birinci derecede tercih edilen birleşim araçları haline gelmiştir.

1950 ile 1960 yılları arasında bulonlu veya kaynaklı rijit çerçeveler kullanılarak birçok çelik yapı inşaa edilmiştir. Geniş açıklıklı çerçeveler, diyagonal destekler ve döşemeler için narin betonarme plakları bu yıllarda geniş kullanım alanına sahipti.

Çelik kafesler, 1930'lu yıllarda köprü yapıları için geliştirilmişti. Sonraki yıllarda yapıların dış çerçeveleri veya çekirdek bölgelerinde rijitliği artırmak amacıyla kullanıldı. Kafes sistemler, binanın yatay yüklere karşı dayanımında, ağır örme duvarlara göre daha etkiliydi.

Empire State binasının yeniden gözden geçirilmesi sırasında, yanal yüklemelere karşı zayıflığı fark edilmiş olup, restorasyon amacıyla geniş iç kafes kirişler ve kayma çerçevelerinin birlikte kullanılmasıyla yapının rijitliği artırılmıştır.

Düşey kafesli perdelerin yapımı; yükleme asansörlerinin birden fazla olmasıyla ve tuvalet, merdiven, yangın merdiveni ve asansörlerin çekirdek kısmında toplanacak şekilde dizayn edilmesiyle mümkündür. Bu merkezileştirme işlemi, düşey kafeslerin bu elemanların arkasına yerleştirilerek kullanılmasında büyük kolaylık sağlamaktadır.

Çekirdekte toplanacak elemanların yeri ve sayısının planlanması ile mimari ve yapısal tasarımın koordineli olarak yürütülmesi gibi süreçler, yapının ekonomik ve verimli biçimde gerçekleştirilebilmesine imkan sağlar.

1960'lı yıllarda, yatay kafesli çerçeve-kafes etkileşimli sistemleri, çerçeveli tüpler ve modüler tüplü sistemler gibi üç boyutlu sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemler kullanılarak 110 kata kadar, yanal yüklere karşı dayanıklı ve ekonomik binalar yapılabilmektedir.

1972 yılında New York şehrinde inşa edilen World Trade Center ve iki yıl sonra Chicago'da gerçekleştirilen 442 m yüksekliğindeki Sears Tower binası, tüp sistemli yapılara örnek olarak gösterilebilir.

Yüksek yapıların kat sayıları arttıkça, yanal yüklere karşı yüksek direnimli yapı sistemleri oluşturma ihtiyacı artmıştır. Bunun için çeşitli rijitleştirme düzenleri denenmiştir. Buna tipik bir örnek Chicago'daki John Hancock Center binasıdır. 100 katlı bu binanın yatay yük taşıma kapasitesini arttırmak için yapının cephelerine X diyagonaller ve düşey kafes kirişler yapılarak diyagonalli tüp sistemi elde edilmiştir.

BÖLÜM 2. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN BETONARME YAPILARLA KARŞILAŞTIRILMASI.

Çok katlı bina yapımı, ülkemizde giderek artmaktadır. Endüstriyel üretim ve pazarlama potansiyelinin büyük şehirlerde toplanması nedeniyle, nüfusumuzun büyük bir kısmı büyük şehirlere yerleşmiştir. Bunun sonucu olarak kullanılabilir arsa miktarı, barınma ihtiyacını karşılayamamaktadır. Arsa fiyatlarının yüksek olmasından dolayı çok katlı apartmanlar yapılmaya başlanmıştır. Ayrıca devlet kuruluşları ve kooperatifler tarafından çok katlı toplu konut binaları yapılmaktadır.

Ülkemizin turizm potansiyelinin yüksek olması ve büyük şehirlere iş amacıyla seyahatlerin fazla olması nedeniyle, çok katlı otel yapımı giderek artmaktadır. Ayrıca büyük şirket ve kuruluşların büro ihtiyacının çok katlı iş merkezleri tarafından karşılanması da çok katlı büro yapımını artırmaktadır.

Yüksek yapılar çelik veya betonarme olarak inşa edilebilmektedir. Tasarımın amacı binayı emniyetli, konforlu ve ekonomik biçimde inşa etmek olduğu için, uygun çözümler bazı hallerde çelik, bazı hallerde ise betonarme yapıların seçimiyle mümkün olabilmektedir.

Tasarımcının çelik ve betonarmenin faydalı ve sakıncalı yönlerini bilerek yapıyı dizayn etmesi çok önemlidir. Yapıların; proje ve finansman koşulları ile yapım amacı göz önünde bulundurularak, kapsamlı bir biçimde analizi yapılmalıdır. Alınan sonuca göre yapı tipine karar verilmelidir.

Yüksek yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılan çelik ve betonarmenin, birbirlerine göre avantajlı veya dezavantajlı yanları aşağıda özetle sıralanmıştır:

a) Otopark, otel ve konut fonksiyonundaki çok katlı yapılarda daha ziyade betonarme tercih edilmektedir. Bu tür yapılarda betonarme döşemenin alt kısmı, alt katın tavanı olarak kullanıldığından, asma tavan sistemine gerek kalmamaktadır. Çünkü bu tür yapılarda, işyeri fonksiyonuna sahip çok katlı yapılarda kullanılan ve döşeme altına yerleştirilmesi gereken tesisat, havalandırma ve ısıtma kanallarına ihtiyaç bulunmamaktadır.

Konut veya otel olarak inşaa edilecek çok katlı yapılar çelik konstrüksiyon olarak imal edilirse, çelik kirişleri saklamak amacıyla asma tavan kullanılması gerekmektedir. Öte yandan, çelik yüksek yapının yangına karşı korunması için alınması gereken tedbirler, betonarmeye göre daha pahalıdır. Örneğin; ABD koşullarında, çelik elemanları asbest esashi sprey maddelerle korumanın maliyeti kat alanının metrekaresi için 18 ABD dolarıdır(1983).

b) Çok katlı çelik yapıların inşaa edilmesi, hava ve şantiye koşullarından etkilenmediği için betonarme yapılara göre daha hızlı olur. İmalat çoğunlukla atölye koşullarında gerçekleştiği için, kötü hava koşullarından hem zamanlama ve hem de kalite açısından etkilenmez. Yapının süratle tamamlanıp kullanılabilir hale gelmesi de özellikle faiz hadlerinin yüksek olduğu hallerde toplam proje maliyetini etkileyen bir faktördür.

c) Çok katlı yüksek yapıların projelendirilmesinde, yapı ağırlığını minimize etmek için betonarme yapı yerine çelik yapı tercih edilebilmektedir. Zemin koşullarının zayıf olduğu ve bu nedenle de pahalı ve özel temel sistemlerinin gerektiği hallerde, üst yapı ağırlığını mümkün olduğu kadar hafif tutmak, temel sisteminin maliyetinde önemli oranda azalma sağlamaktadır. Ayrıca, yapı ağırlığı arttıkça depremden etkilenme şiddeti de artmaktadır.

d) Çok katlı yüksek yapılarda betonarme kat yüksekliğinin, çelik yapıya göre %10 daha kısa yapılabilmesi, yapı malzemesinden tasarruf sağlamaktadır. Bunun nedeni; betonarme yapıda kirişsiz döşeme sistemi kullanıldığında, döşeme kalınlığı 20-25 cm. civarında olabilirken, çelik yapıda döşeme kirişleri ve üzerindeki döşeme sisteminin toplam derinliği 60 cm. civarına ulaşabilmektedir.

e) İş merkezi fonksiyonundaki çok katlı binaların çelik yapı olarak imal edilmesinin sağlayacağı yararlar aşağıdaki maddelerde açıklanmıştır:

e1) Çelik yapı elemanları kullanıldığında, betonarmeye göre kolon kesitleri önemli oranda küçülmektedir. Böylece bir kattaki kullanılabilir alan miktarı da artmaktadır.

e2) Çelik yapılarda döşeme üstü ile asma tavan arasında kalan boşluktan, tüm yapı için gerekli tesisat, havalandırma ve ısıtma kanallarının geçirilmesi mümkündür. Ayrıca mevcut tesisatta, değişen ihtiyaçlar karşısında gerekli onarımları yapmak oldukça kolaydır.

Binanın betonarme olarak yapılması halinde ise bütün bu tesisat kanallarının betonarme döşeme üzerine yerleştirilmesi ve üzerlerine uygun kalınlıkta bir beton tabakası dökülmesi gerekmektedir. Bu işlem pahalı ve esnek olmayan bir çözüm olup yapı ağırlığını da arttırmaktadır.

e3) Çok katlı çelik yapılarda, değişen ihtiyaçları karşılamak amacıyla taşıyıcı sistemde değişiklikler yapmak, ana taşıyıcı sistemin veya döşeme sisteminin yük taşıma kapasitesini arttırmak veya bir merdiven ilavesi için mevcut döşemelerde delik açmak gibi tadilatlar hem ucuz ve hem de kolay olarak gerçekleştirilebilmektedir.

e4) Çelik yapı elemanlarının yük taşıma kapasitelerinin ağırlıklarına oranı, betonarme yapı elemanlarına göre daha fazladır. Bu nedenle çelik kolon ve kiriş boyutları daha küçük yapılabilmektedir. Ayrıca çelik yapılarda daha geniş kolon açıklıkları kullanılabilir.

e5) Çelik malzemenin yüksek duktilite özelliği sayesinde; deprem etkisiyle yapıya giren enerjinin, mafsallarda oluşan plastik deformasyonlarla yutulması sağlanır. Bu nedenle çelik yapılar, depremden daha az etkilenmektedir.

e6) Çelik yapı elemanları betonarme elemanlara göre daha hassas biçimde imal edilebilmektedir. Örneğin; çelik kolon ve kirişler atölyelerde milimetre mertebesinde kesilip, kaynaklama ve bulonlama işlemleri titizlikle yapılmaktadır. Betonarme iskeletin oluşturulmasında ise şantiyelerde santimetre mertebesinde hassas kalıplar kullanılmaktadır.

Çelik yapılarda kalite kontrolü daha kolay yapılabilmektedir. Projelendirme sırasında öngörülen yapı kalitesinin, yapı üzerinde gerçekleştirilebilme şansı daha yüksektir. Böylece çok katlı çelik yapıların ömrü, projenin toplam maliyeti ve yapının hizmet verebilme kabiliyeti daha fazla olmaktadır.

f) Eskiden inşaa edilmiş çok katlı iş merkezi niteliğindeki yüksek yapıların hemen hepsinde çelik malzeme tercih edilmiştir. Çünkü, betonarme yapılarda ortaya çıkan büyük kolon kesitleri, kullanılabilir hacmi azaltmakta ve hacim planlamasını zorlaştırmaktadır.

Yapı ağırlığının artması, yapıya gelen deprem kuvvetini artırdığı gibi temel sisteminin maliyetini de olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek mukavemetli beton ve süper plastikleştiriciler sayesinde bu eksiklikler kısmen de olsa ortadan kaldırılmış olup betonarme yapıların kullanımı belirli oranda artmıştır. 50 katı geçen yüksek yapı uygulamalarında betonarmenin, süper plastikleştiricilere rağmen tercihi, ABD'nin deprem yönünden aktif olmayan bölgelerinde olmuştur.

Günümüzde ABD'de inşaa edilen çok katlı iş merkezlerinin %75'inde yapı malzemesi olarak çelik kullanılmaktadır. Ülkemizde ise çelik yapı profillerinin zor bulunabilmesi, çelik malzemenin pahalı olması ve yapı işçiliğinin zor olması nedeniyle betonarme yüksek yapılar daha fazla tercih edilmektedir.

Çok katlı yüksek yapılarda; yapının inşa edileceği bölgenin deprem açısından aktif olup olmadığına, yapı fonksiyonuna (konut, otel veya iş merkezi), inşa edileceği ülkenin yapı teknolojisinin seviyesine ve işçilik ücretlerine bağlı olarak, bazen çelik yapılar betonarme yapılara, bazen de betonarme yapılar çelik yapılara üstünlük sağlamaktadır.

Deprem açısından aktif bölgelerde çeliğin betonarmeye karşı üstünlüğü tartışılmaz seviyededir. 50 katın üstündeki yapılarda ise rüzgarın dinamik etkisi önem kazanmaktadır. Çelik yapılar betonarme yapılara göre daha hafiftir ve deformasyon kabiliyeti daha fazladır. Bu nedenle çelik yapılarda rüzgar yükleri etkisiyle oluşan yatay salınımların genliği daha fazladır. Bu yüzden rüzgar etkisinin fazla olduğu bölgelerde betonarme yapılar tercih edilir.

Son yıllarda betonarme ve çeliğin avantajlarını birleştiren, çelik ve betonarme taşıyıcı sistemlerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan kompozit taşıyıcı sistemler gündeme gelmiştir. Bu taşıyıcı sistemler, betonarme veya çelik yüksek yapı taşıyıcı sistemlerine göre hem daha etkin ve hem de daha ucuz olabilmektedir.

BÖLÜM 3. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN TASARIMINDA ETKİLİ OLAN YÜKLER.

Yüksek yapılara etkiyen yükler; yerçekimi, meteorolojik ve sismik kuvvetler tarafından meydana getirilir. Yerçekimi sonucu yapı üzerinde sabit ve hareketli yükler ile montaj yükleri gibi düşey yükler oluşmaktadır. Meteorolojik kuvvetler; zamana ve bölgelere bağlı olarak değişen rüzgar, ısı, yağmur, kar ve buz yüklemeleridir. Sismolojik kuvvetler ise deprem ve toprak kayması gibi yer hareketlerinden dolayı meydana gelmektedir.[18]

Yapının yükler karşısındaki davranışlarını etkileyen faktörler; yapının ağırlığı, boyutu, şekli ve yapıda kullanılan inşaat malzemeleridir. Güvenli ve konforlu bir yapı dizaynı için, tasarımcının kuvvetleri ve yük etkilerini çok iyi bilmesi gerekir. Aşağıdaki bölümlerde yüksek yapılarda etkili olan kuvvetler ve bunların yapı üzerindeki etkileri incelenmektedir.

3.1. Düşey Yükler.

Düşey yükler; yapı elemanları, eşyalar ve insanların ağırlıklarıdır.

3.1.1. Sabit yükler.

Sabit yükler; yapının taşıyıcı elemanlarının, döşeme ve tavan kaplamalarının, sabit bölme duvarlarının, cephe kaplamalarının, depolama tanklarının ve mekanik dağıtım sistemlerinin meydana getirdiği yapı ağırlıkları olup, statik ve dinamik yükler olarak ikiye ayrılır.[18]

Statik yükler, yapıyı oluşturan elemanlardır. Dinamik yükler ise zamana, mevsimlere veya yapı içindeki mekanların fonksiyonuna bağlı olarak değişen geçici yüklerdir.

Sabit yüklerin belirlenmesinde bir takım zorluklar bulunmaktadır. Çünkü tasarım aşamasında yapıda kullanılacak taşıyıcı olmayan malzemeler tam olarak bilinmediği için bu malzemelerin ağırlıkları da tam olarak belirlenememektedir.

3.1.2. Hareketli yükler.

Hareketli yükler; yapı içinde bulunan insan veya eşyaların ağırlıklarından dolayı oluşan yüklerdir. Bu yükler taşıyıcı sistemin bir parçası olmayıp; insan, mobilya, hareketli bölmeler, mekanik aletler, arabalar, endüstri makineleri gibi sabit veya geçici yüklemelerdir. Hareketli yükler; araba, asansör ve makine yükleri gibi dinamik karakterli, insanların ve eşyaların hareketleri gibi sabit hızlı veya patlama ve çarpma gibi darbe etkili olabilmektedir.

Hareketli yükler zamana ve bulunduğu yere göre değişmekte olup bu değişkenlik kısa veya uzun süreli olabilmektedir. Yüksek yapının taşıyıcı sisteminin değişkenliği dikkate alındığında; yapıya etkiyecek hareketli yükleri belirlemenin nerede ise olanaksız olduğu görülür. Bununla birlikte, analitik çalışmalar ve uygulamalar sonucunda çeşitli durumlar için yük değerleri geliştirilmiştir. Bu değerler maksimum yükleme koşulları için, ampirik emniyet faktörleri de dikkate alınarak, yapı şartnamelerinde yük tabloları şeklinde verilmektedir.

Hareketli yük değerleri, tekil yük veya eşdeğer düzgün yayılı yük olarak alınmaktadır. Eşdeğer düzgün yayılı yükler, gerçek değerlerden büyük olup, rasgele yayılı yüklerin ortalaması şeklinde alınır. Tekil yükler ise merdiven, tavan arası, garaj gibi kritik bölgelerde meydana gelen yüksek gerilme yığılmalarıdır.

Şartname yük değerleri, gerçek değerlerden yüksek olarak verilmektedir. Çünkü yapıya etkiyebilecek ilave yüklerin dikkate alınması gerekmektedir. Şartnamelerin minimum emniyet faktörleri; insan kalabalığı, mobilya veya duvarların yeniden düzenlenmesi gibi yapının belli bölgelerinin fazladan yüklendiği durumları da içermektedir.

Döşeme üzerindeki hareketli yükler, projelendirilmede alındığı gibi üniform olmayıp farklı alanlara, farklı değerlerde dağılmıştır. Yüklemeler değişik zamanlarda olduğundan, yapıya her zaman etkimez. Yukarıda açıklanan sebeplerden dolayı hareketli yükler, azaltma faktörleriyle azaltılmaktadır.

3.1.3. Montaj yükleri.

Taşıyıcı elemanlar, genellikle sabit ve hareketli yüklere göre tasarlanırsa da, yapının imalat ve montajı sırasında tasarım yüklerinin çok üstünde yük etkisinde kalabilmektedir. Montaj yükleri denilen bu yükler taşıyıcı elemanların tasarımında önemlidir.

Yapının montajı sırasında kullanılan destekler ve bağlantılar yapıda ek yüklemeler oluşturmaktadır. Ayrıca yapının inşası sırasında yığılan ağır alet ve malzemeler de büyük tekil yükler meydana getirebilmektedir.

3.2. Isı Değişimi, Kar ve Yağmur Yükleri.

Bu yükler, meteorolojik yükler olarak adlandırılmakta ve coğrafi bölgelere bağlı olarak yük şiddetleri ve yapılara etki biçimleri değişmektedir.

Kar yükleri, çatılarda ve yükseltilmiş teras, balkon ve güneşlenme terası gibi kar yığılması olabilecek yerlerde dikkate alınır. Şartnamelerce belirlenen kar yükleri, zemindeki maksimum kar kalınlığına dayanır ve gerçek değerlerden daha fazladır. Çünkü rüzgar etkisiyle karda azalma veya çatı yüzeyindeki ısı kaybı nedeniyle erime olabilmektedir. Şartnameler çatı eğimine bağlı olarak, yük değerinde belirli yüzdelerde azaltmaya izin verir. Bazı çatılar rüzgar davranışını etkileyerek çatıda bölgesel kar yığılmalarına neden olabilir.

Yağmur yükleri, düz çatılarda oluklar tıkanıdığı zaman, suların birikmesiyle oluşmaktadır. Yağmur yükleri hesapta dikkate alınmasa da tasarımda akılda bulundurulmalıdır.

Bina cephelerinde kullanılan taşıyıcı elemanlarda, iç ve dış kısımdaki ısı farklılıkları dolayısıyla, yapıdaki genleşme ve büzülmelemlerden dolayı iç gerilmeler ve burkulmalar oluşmaktadır. Isı etkisiyle kolonlarda eğilmeler ve farklı hareketler oluşmaktadır. Ayrıca döşemeler, duvarlar ve çatı bölgesinde hasarlar görülmektedir. Isı değişiminin olumsuz etkilerine karşı yalıtımlı cephe kaplamaları kullanılmalıdır.

3.3. Rüzgar Yükleri.

İlk yüksek yapılar, rüzgarın oluşturduğu karmaşık yatay yüklerden etkilenmemişti. Çünkü taşıyıcı duvarların ağırlığı ve yapılara etkiyen düşey kuvvetler; rüzgar kuvvetlerinden çok daha büyüktü. Taşıyıcı duvar sistemi yerine rijit çerçeve sisteminin geliştirildiği yıllarda bile rüzgar kuvvetlerinin etkisi çok fazla dikkate alınmıyordu.

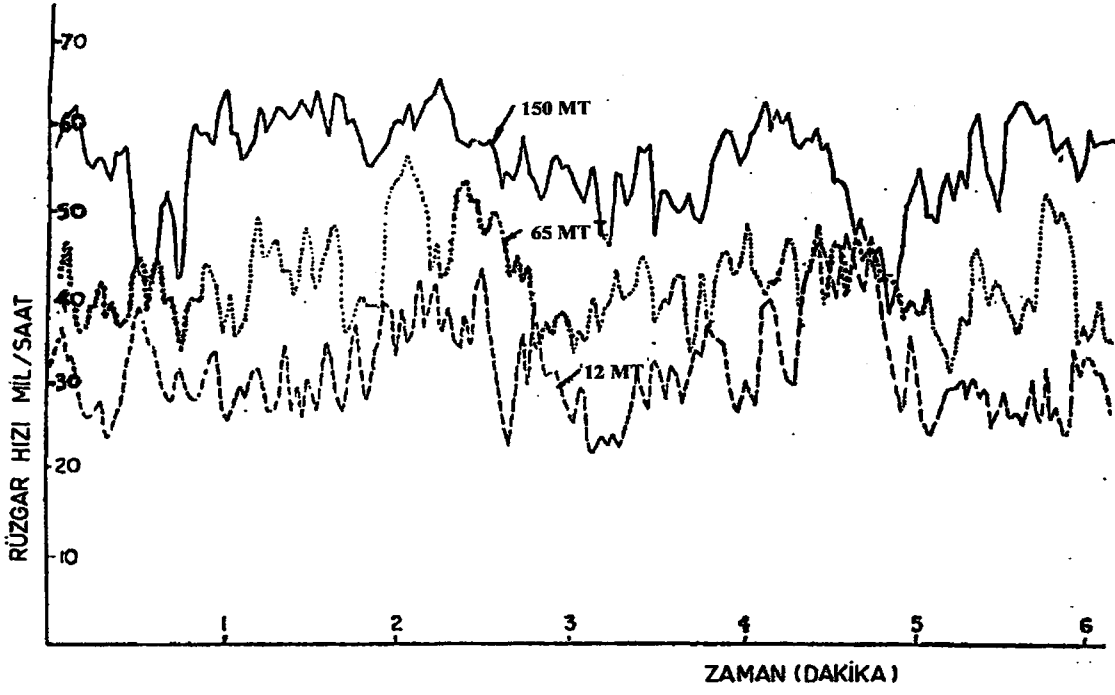
Yüksek yapılarda hafif çelik çerçevelerin kullanılmasıyla, yapı ağırlığı ve yapı rijitliği azaltıldığı için, rüzgar yüklerinin olumsuz etkileriyle karşılaşmaya başlandı. Çok yüksek yapılarda ortaya çıkan türbülans etkileri nedeniyle yapıların rüzgar yüklerine göre tasarlanması büyük önem kazandı.

Yapıdaki rüzgar davranışı dinamik etkili olup; topografyanın şekli ve pürüzlülüğü, taşıyıcı sistemin biçimi, komşu yapıların düzeni gibi çevre faktörlerinden etkilenmektedir. Bu gibi faktörler yapıya etkiyen rüzgar hızını, doğrultusunu ve davranışını değiştirmektedir.

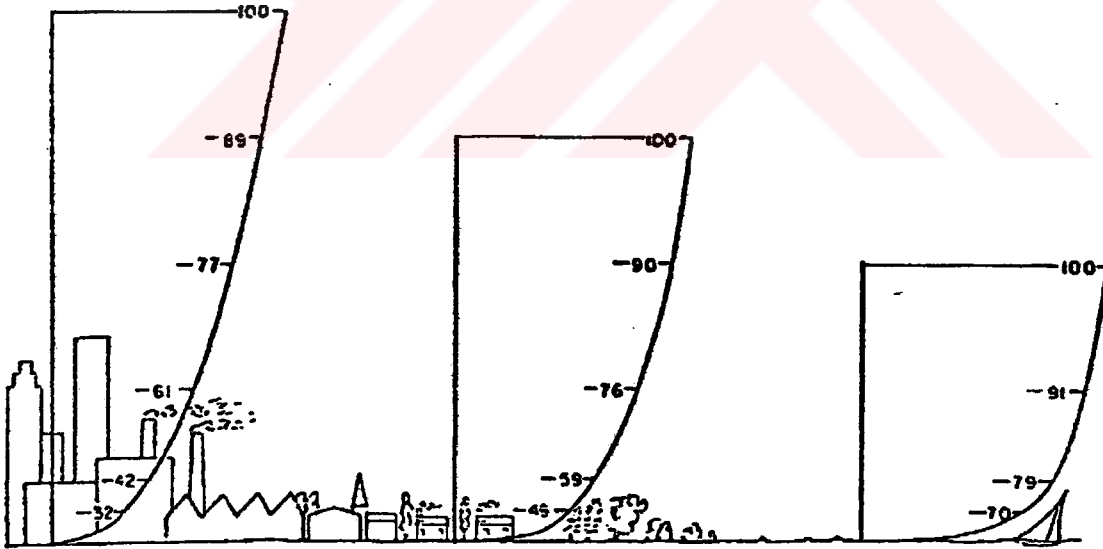
3.3.1. Rüzgar hızı.

Yüksek yapılarda rüzgar yüklerinin belirlenmesinde, yapı yüksekliğine bağlı ortalama bir hafif rüzgar hızı ile rüzgarın dinamik karakterini yansıtan değişen şiddetli fırtına hızı bileşenleri kullanılmaktadır. Bu durum 150 metre yüksekliğindeki bir anten direğinin üç farklı seviyesinden alınmış rüzgar hızı kayıtlarında, Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu şekilde, rüzgarın statik ve dinamik bileşenleri açıkça görülmektedir.

Hafif rüzgar hızı, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi yüksekliğe bağlı olarak artar. Hızdaki artış oranı arazinin pürüzlülüğüne bağlıdır. Çünkü rüzgar hızı zemine yakın yerlerde sürtünme etkisiyle azalır. Çevredeki nesnelere etkisi ne kadar fazlaysa, maksimum rüzgar hızı değeri o kadar yüksekte olur.



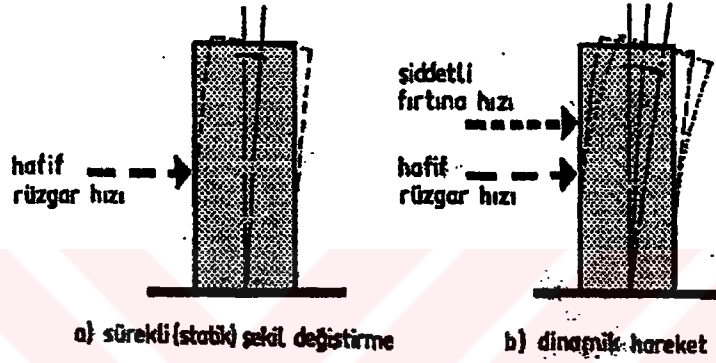
Şekil 3.1 : Üç değişik yükseklik için rüzgar hızı kaydı.[14]



Şekil 3.2 : Çeşitli pürüzlülükteki yüzeylerde ortalama rüzgar hızı profili.[14]

3.3.2. Rüzgar basıncı.

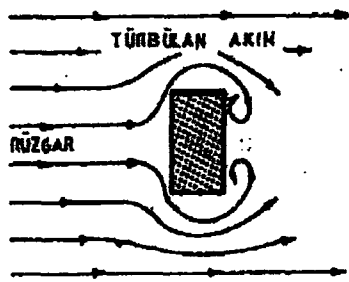
Rüzgar basıncı, hafif rüzgar hızı ve şiddetli fırtına hızı bileşenlerinin etkileriyle oluşmaktadır. Hız olarak uzun bir zaman sürecinin ortalaması alınmakta ve rüzgar basıncı da ortalama bir değer olmaktadır. Şekil 3.3'te görüldüğü üzere hafif rüzgar hızları, sürekli yer değiştirme meydana getirmektedir. Değişken şiddetli fırtına hızlarında ise ivmelenme ve titreşimler oluşmakta, yapı rüzgar doğrultusunda sallanmaktadır.



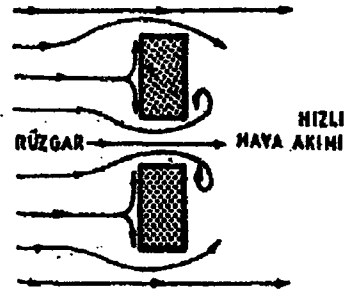
Şekil 3.3 : Rüzgar basıncının yapıda meydana getirdiği hareket.[18]

3.3.3. Türbülans etkisi.

Hareket halindeki hava kütlesi yapı ile karşılaştığında, yapı çevresinden geçerek arka cephede, Şekil 3.4'te görüldüğü biçimde türbülans oluşturmaktadır. Şekil 3.5'te görülen Venturi etkisinde ise, hava akımı iki yüksek bina arasındaki dar aralıktan geçerek türbülansı meydana getirmektedir.

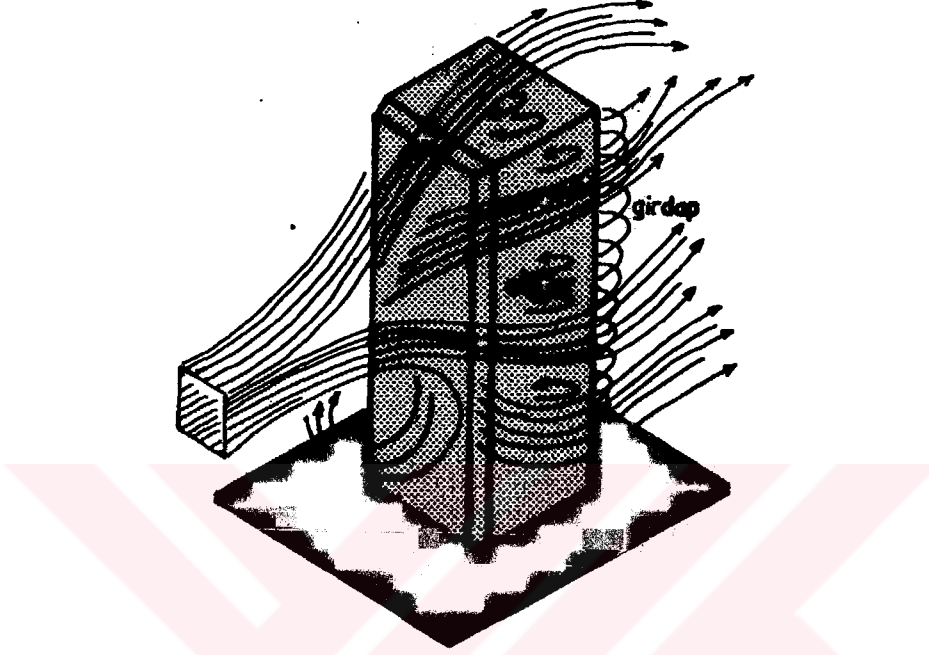


Şekil 3.4 : Türbülans etkisi.[18]



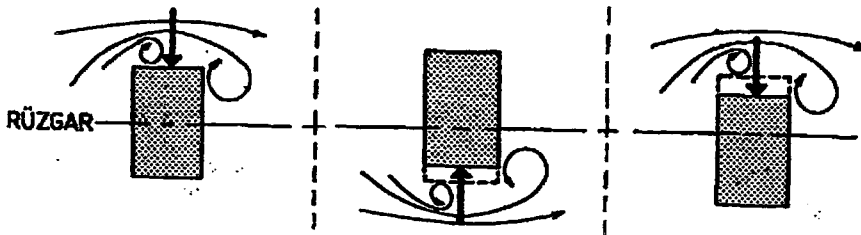
Şekil 3.5 : Venturi etkisi.[18]

Girdaplar, yapının yan cephelerinde, yukarı doğru dairesel hava hareketi oluşturan yüksek hızlı hava akımlarıdır. Şekil 3.6’da görülen bu girdaplar, rüzgarın alçak basınç bölgelerinde oluşturduğu dairesel hava akımlarıdır.



Şekil 3.6 : Girdapların oluşumu.[18]

Rüzgar periyodu yapının doğal frekansına yaklaşırsa yapıda salınımlar meydana gelir. Bundan doğacak hareket Şekil 3.7’de görüldüğü gibi rüzgar doğrultusuna diktir. Genel kural olarak yapının yükseklik/genişlik oranı dörtten küçük ve yapı yüksekliği 120 metreden az ise, yapı dizaynında türbülans etkisi dikkate alınmaz.



Şekil 3.7 : Rüzgar etkisiyle yapıda oluşan salınımlar.[18]

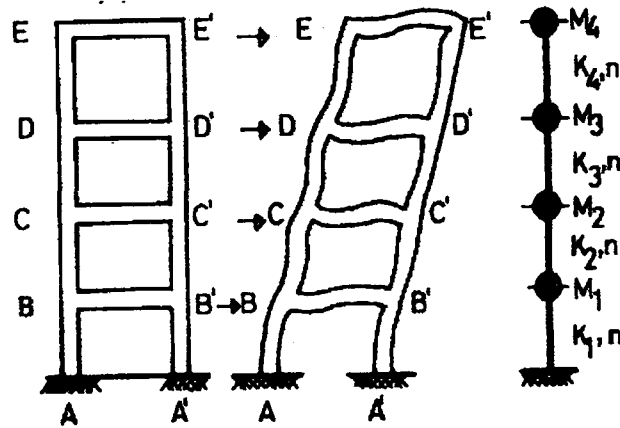
Yapı şartnameleri rüzgarın dinamik davranışını statik açıdan yorumlamaktadır. Rüzgarın yapı yüzeyindeki basıncı, ortalama rüzgar hızı ve yapı şekil katsayısına bağlıdır. Şartnameler fırtınanın dinamik yapısını ve yapıdaki çarpma etkilerini dikkate almadığı için gerçek rüzgar davranışının bulunması açısından yetersizdir.

Yapıların rüzgar hareketlerine göre tasarımında insan faktörü önem kazanmaktadır. Rüzgar basıncı taşıyıcı sistemi olumsuz etkilemese bile, yapı konforunun dikkate alınması gerekmektedir. Yapının yatay salınımı insanların kullanabileceği sınırlara göre azaltılarak, yapılarda meydana gelen gıcırtilar, pencere kenarlarında duyulan rüzgar sesleri, emme veya basınç yüzünden camların kırılması gibi kötü etkiler önlenmeye çalışılmalıdır.[18]

3.4. Deprem Yükleri.

Depremler, yer kabuğunda meydana gelen gerilme yığılmalarının ve biriken deformasyon enerjisinin, fay hatlarında oluşan ani kaymalarla serbest kalması sonucu ortaya çıkan sismik dalga hareketleridir. Deprem dalgaları yeryüzünde kesme, yarıma ve dalgalanma şeklinde etki göstererek, yapılarda kütlelerine bağlı olarak yatay kuvvetler meydana getirmektedir.

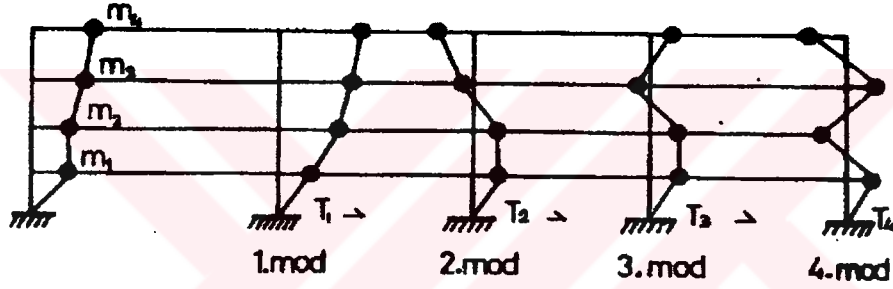
Depremin boyutu Richter ölçeğiyle, şiddeti düzenlenmiş Mercalli sayısıyla belirtilmekte olup, depremin olduğu merkezin yeryüzüne dik olan noktasına episantr denilmektedir.



Şekil 3.8 : Deprem sırasında yapılarda meydana gelen zorlamalar.[8]

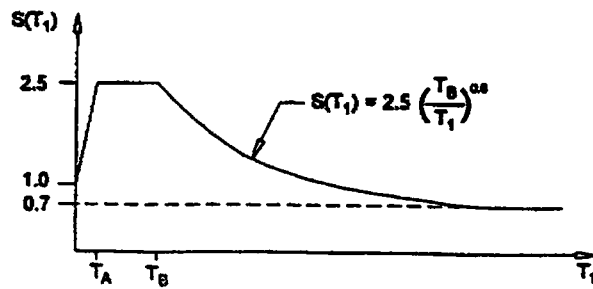
Yüksek yapıların dizaynında, deprem yükleri ve yapının bu yüklere karşı gösterdiği tepkinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Deprem kuvveti yapıyı, temellerden itibaren sallayarak yatay ve düşey doğrultuda titreşim yapmaya zorlamaktadır. Bu durum yapıda ek deplasman ve dönmeler meydana getirmektedir. Şekil 3.8'de deprem sırasında yapılarda meydana gelebilecek zorlamalar gösterilmiştir.

Deprem sırasında zemin ve yapı ayrı ayrı titreşmektedir. Deprem hareketi sırasında, her kattaki kütlelerin, yay gibi çalışan kolonlarla bağlanarak, yatay kuvvet etkisi altında titreştiği varsayılır. Şekil 3.9'da görüldüğü gibi yapıda, kat adedi kadar farklı titreşim modu yani titreşim şekli bulunmakta ve yine kat adedi kadar farklı periyot bulunmaktadır.



Şekil 3.9 : Yapılarda kat sayısına bağlı titreşim modları.[8]

İvme spektrumları, sistemlerin titreşim periyotları ile bu periyotlara karşı gelen maksimum ivme değerlerini gösteren şekillerdir. Yönetmeliklerde, zemin durumu ve yapının birinci moddaki doğal titreşim periyoduna göre spektrum eğrileri belirlenmektedir. Şekil 3.10'da görülen bu eğrilerden yararlanarak spektrum katsayısı bulunmaktadır.



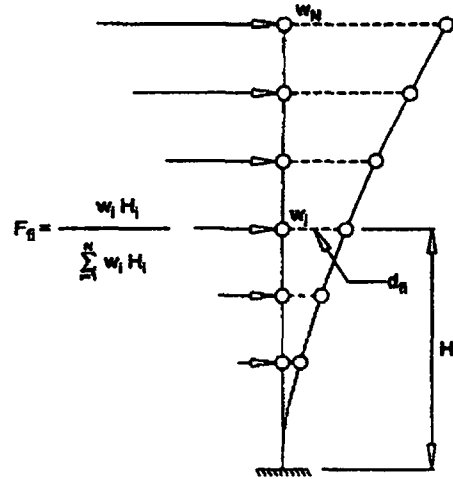
Şekil 3.10 : İdealize edilmiş ivme spektrumları.[1]

Zeminin hakim titreşim periyodunun, yapı periyodu ile uyuşması halinde rezonans olayı meydana gelerek, yapıdaki deplasmanları büyük ölçüde artırmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanları, oluşan harekete karşı atalet kuvvetleriyle direnmekle birlikte, depremin şiddetinin büyüklüğüne göre yapıda kalıcı deformasyonlar şeklinde hasarlar oluşabilmektedir.

Yapıların deprem yüklerine karşı hesabında eşdeğer statik kesme kuvvetleri yöntemi veya dinamik analiz metodu kullanılmaktadır.

Eşdeğer deprem kuvvetleri metodunda yapıya, ağırlığına bağlı kesme kuvveti etki ettiği varsayılmaktadır. Taşıyıcı elemanların bu yükleri taşıması esasına göre boyutlandırma yapılmaktadır. Bu metotta yapılara taşıyıcı sistem davranış katsayısına bağlı bir eşdeğer kesme kuvveti etkidiği varsayılır. Bu katsayı binanın toplam ağırlığına, deprem bölgelerine göre değişen etkin yer ivmesi katsayısına, binanın birinci moddaki doğal titreşim periyoduna, ivme spektrumu periyoduna ve süneklığe bağlıdır [1].

Binaya etkiyen toplam kesme kuvveti, Şekil 3.11'de görüldüğü gibi rijitlikleri oranında çerçevelere ve oradan, yüksekliklerine göre katlara dağıtılmaktadır. Bu konu ile ilgili geniş bilgi, deprem yönetmeliklerinde mevcuttur.



Şekil 3.11 : Deprem kuvvetlerinin katlara dağıtılması.[1]

Şartların, deprem hesabında eşdeğer kesme kuvveti yönteminin kullanılmasına imkan vermediği durumlarda dinamik hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Dinamik hesap yöntemleri içinde, kolayca uygulanabilen ve yeterli yaklaşıklıkta sonuç veren mod birleştirme yöntemi, en çok kullanılan yöntem olarak kabul edilmektedir.

Mod birleştirme yöntemi; deprem doğrultusundaki yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan toplam yatay kesme kuvvetlerinin; her katta her iki yönde, kaydırılmış ağırlık merkezlerine etkililerek, statik hesabının yapılmasına dayanır. Böylece yapının ikinci ve üçüncü modlarının doğurduğu atalet kuvvetleri de hesaba katılmaktadır. Bu konuyla geniş bilgi ve hesaplama yöntemi yönetmeliklerde belirtilmiştir.[1]

Deprem hasarlarını azaltmak için alınacak önlemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır.

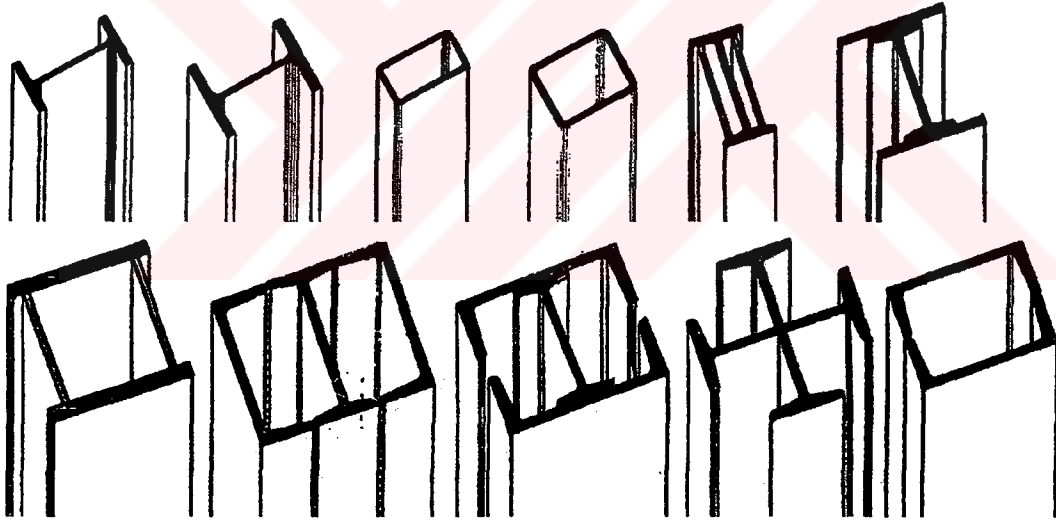
- Simetrik yapılar dizayn ederek, yapılarda meydana gelen burulma etkileri ve düşey yüklerin bazı bölgelerde yığılarak yapıda ek devirme kuvvetleri oluşturması önlenmelidir.
- Yapılarda çekmeye dayanıklı olan çelik profillerin kullanılması depreme karşı avantaj oluşturmaktadır. Sünek malzemeler; kopma veya ezilmeden önce büyük şekil değiştirme yapabilen malzemeler olup, deprem yüklerinin absorbe edilmesinde etkilidirler.
- Yapının mukavemetinde azaltmalara gidilmeden hafifliği sağlanmalıdır. Çünkü depremden dolayı oluşan yanal kuvvetler, yapı ağırlığına bağlıdır. Ayrıca taşıyıcı olarak hesaba katılmayan bölme duvarlarının da yanal kuvvetleri taşımada büyük katkısı bulunmaktadır.
- Sönüm yüzdeleri yüksek yapılar meydana getirmek amacıyla bölme duvarlarının sayısı fazla tutularak depreme karşı dayanım artırılmalıdır.
- Çok esnek yapılarda meydana gelen deformasyonlar, yapısal olmayan hasarlara ve konforsuz yapılara neden olabilmektedir. Bu nedenle yapı rijitliği yeterli seviyede olmalıdır.
- Düşey yüklerin en kısa yoldan zemine aktarılması sağlanmalı, yapıda süreksiz kolonlar ve kolonsuz kiriş-kiriş birleşimleri bulunmamalıdır.
- Projelerde öngörülen yapıım şekilleri ve detayların eksiksiz biçimde yapıya uygulanması sağlanmalı, yapıım hataları minimuma indirilmelidir.

BÖLÜM 4. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARI.

Çok katlı çelik yapılarda, taşıyıcı sistem elemanları olarak kolonlar, kirişler, çeşitli tipte birleşimler ve eklemeler, döşeme elemanları ve diyagonal stabilite elemanları kullanılmaktadır. Bu bölümde taşıyıcı sistem elemanları tanıtılacak ve yapı elemanlarının ekonomik biçimde seçimi hakkında bilgiler verilecektir.

4.1. Kolonlar.

Çok katlı çelik yapılarda kolonlar, döşeme ve kirişler tarafından kendisine aktarılan düşey ve yanal yükleri temellere ve oradan zemine aktaran düşey elemanlardır. Kolonlar düşey yükler dolayısıyla aksenal veya eksantrik basınca, yanal yükler sebebiyle eğilme momentine göre çalışmaktadır.

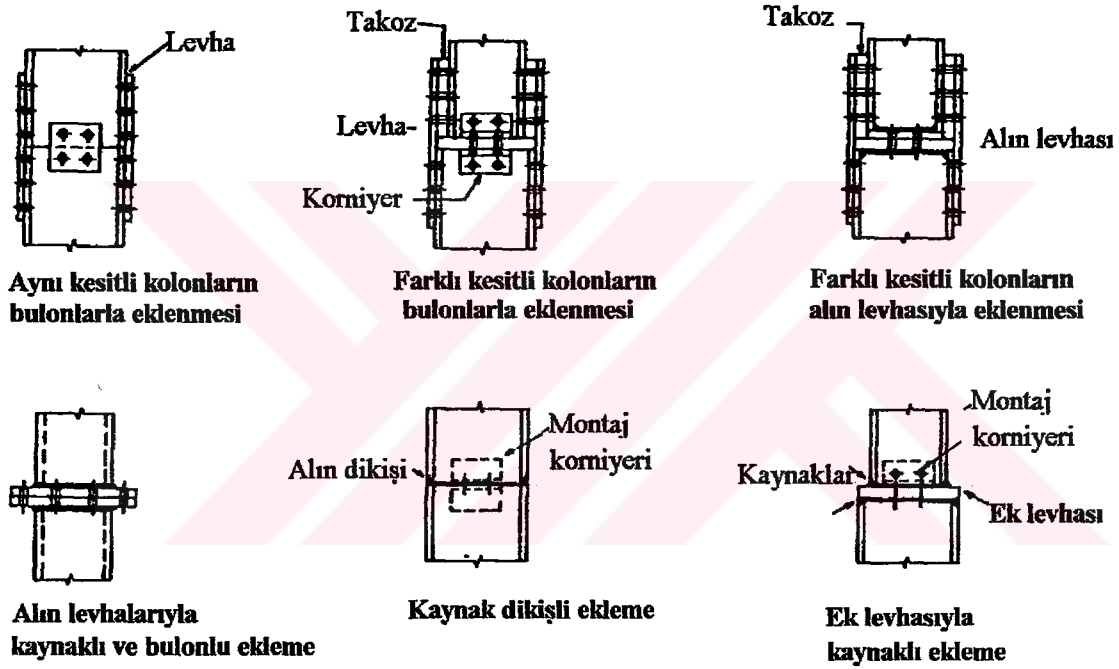


Şekil 4.1 : Çok katlı çelik yapılarda kullanılan kolon kesitleri. [14]

Çok katlı çelik yapılarda kolonlar, genellikle I, U veya kutu profillerden yapılmaktadır. Bu profillerin mukavemetinin yetmediği veya eleman derinliklerinin sınırlandırıldığı durumlarda, mevcut profillere levha kaynaklanarak veya çeşitli profil tipleri birleştirilerek çok parçalı kolonlar oluşturulabilir. Ayrıca levhalarla oluşturulan yapma kesitler de kullanılabilir. Tek parçalı ve çok parçalı kolon kesitleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Kolonun şekli, genellikle yanal yüklemelerden dolayı kesitte oluşacak gerilmelere bağlıdır. Dar başlıklı IPE profilleri, tek yönde düşük yanal yüklemelere maruz kolonlarda tercih edilirken, geniş başlıklı HE profilleri ise iki yönde de yanal yüklemelerin etkisi altında olan kolonlarda kullanılır. Tek profilin yetmediği durumlarda ise kesit tesirlerine uygun çok parçalı kolonlar yapılmaktadır.[9]

Kolon eklemeleri, profillerin boylarına bağlı olarak iki veya üç katta bir yapılır. Şekil 4.2'de kolon eklemelerine örnekler verilmiştir. İlk üç şekilde bulunlu eklemeler görülmekte olup eklenecek kolon kesitlerinin farklı olması durumunda nasıl birleştirme yapılacağı açıklanmıştır. Diğer üç şekilde ise kaynaklı kolon eklemeleri görülmektedir.

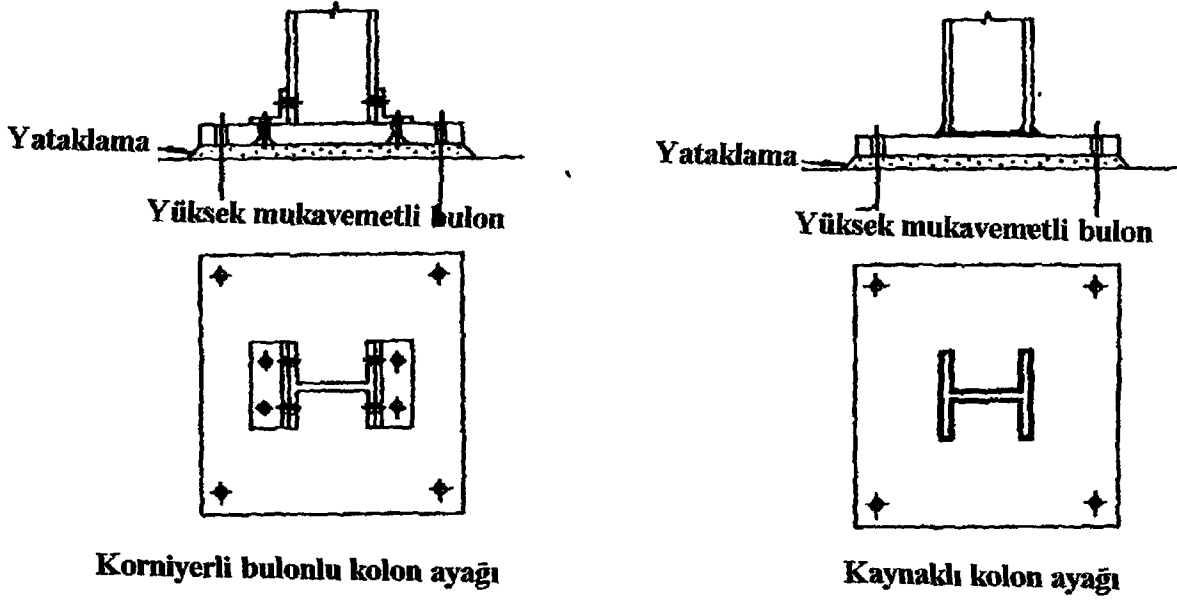


Şekil 4.2 : Kolon eklemeleri.[11]

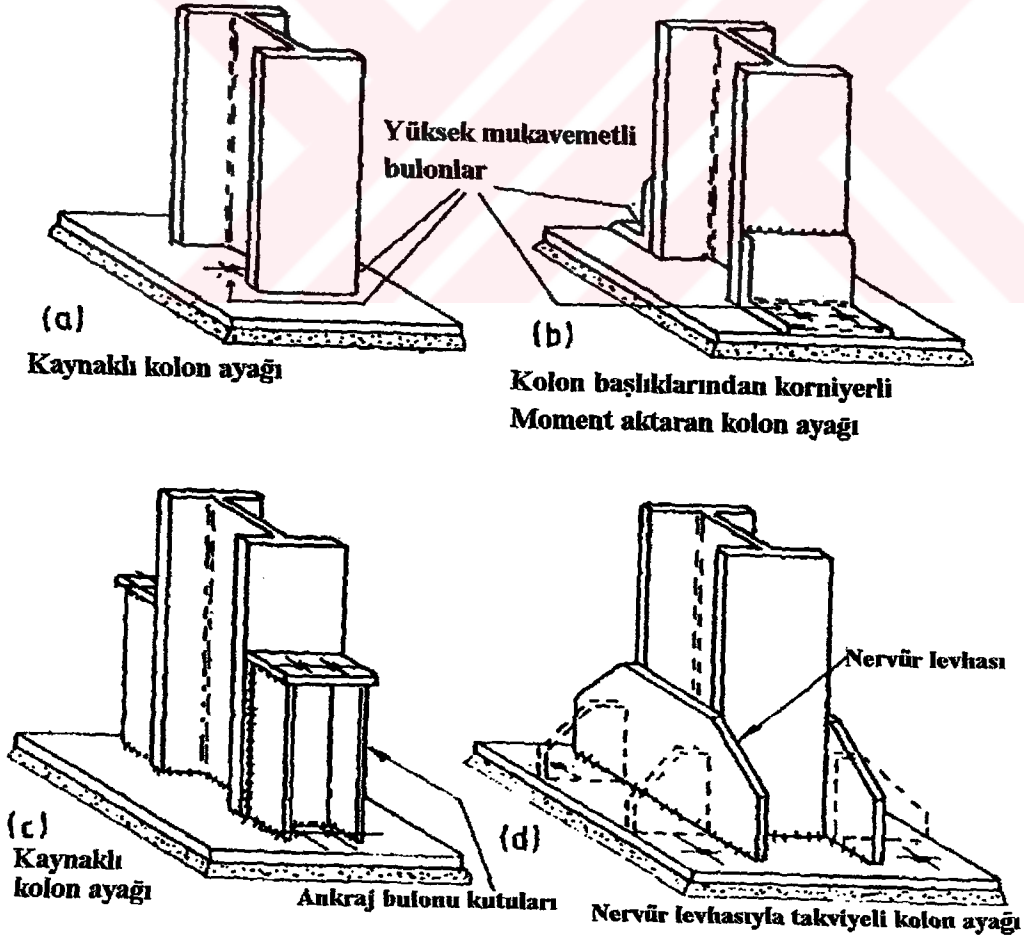
4.1.1. Kolon ayakları.

Kolon ayakları, kolondan gelen yükleri temele ve zemine aktarmak için yapılır. Bu yükler normal kuvvet, kesme kuvveti veya moment olabilmektedir. Moment aktaran kolon ayaklarına ankastre ayak, diğerlerine mafsallı ayak denmektedir. Şekil 4.3'te düşey yük aktaran kolon ayakları ve Şekil 4.4'te moment aktaran kolon ayakları görülmektedir.

Kolon ayakları bulonlu veya kaynaklı yapılabilmektedir. Ayakların alt kısmına taban levhası konmakta ve levhanın altına betonarme yataklama yapılmaktadır. Kesme kuvvetini zemine iletmek için ise taban levhası altına profil kaynaklanmaktadır(Şekil 4.5).

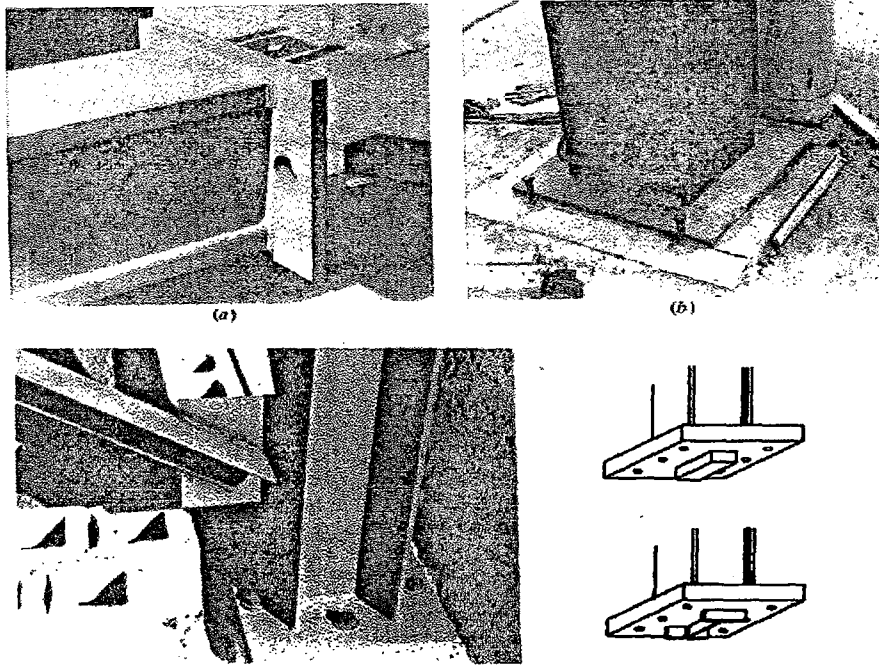


Şekil 4.3 : Düşey yük aktaran kolon ayakları.[11]



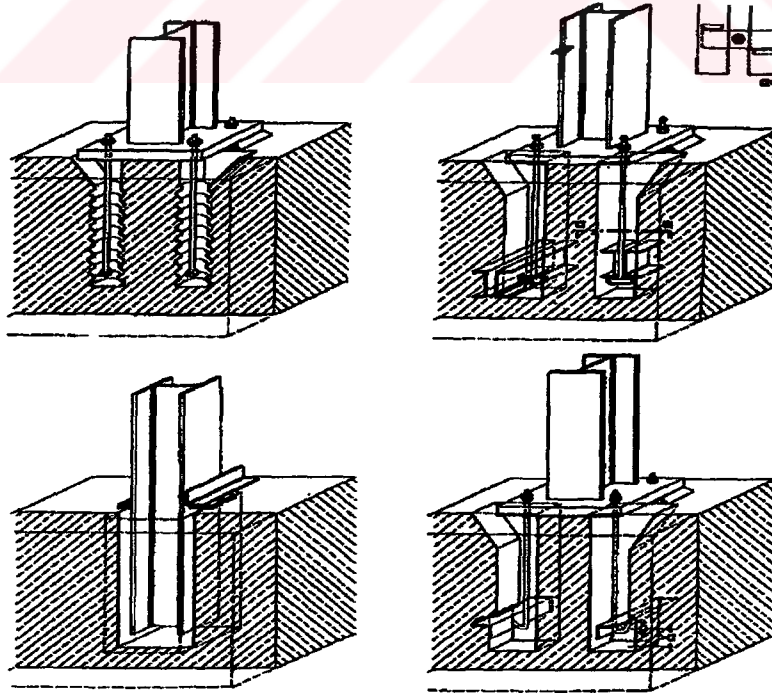
Şekil 4.4 : Moment aktaran kolon ayakları.[7]

Moment aktaran kolon ayaklarında eğilme rijitliğini artırmak için nervür levhaları yapılır.



Şekil 4.5 : Kolon ayağı örneği.[6]

Moment aktaran kolon ayaklarında, momentlerin zemine iletilmesinde ankrajlardan yararlanır. Ankraj bulonlarına çekme kuvveti etki etmektedir. Demir çubuklar, uçlarından kıvrılıp derine gömülerek ve profiller yardımıyla ankrajlanmaktadır. Kolon profilinin temel betonuna gömülmesiyle de ankrajlama yapılabilir. Şekil 4.6'da ankrajlara örnekler verilmiştir.

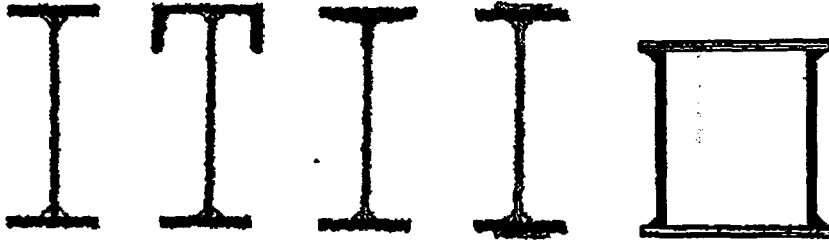


Şekil 4.6 : Ankrajlama örnekleri.[14]

4.2. Kirişler.

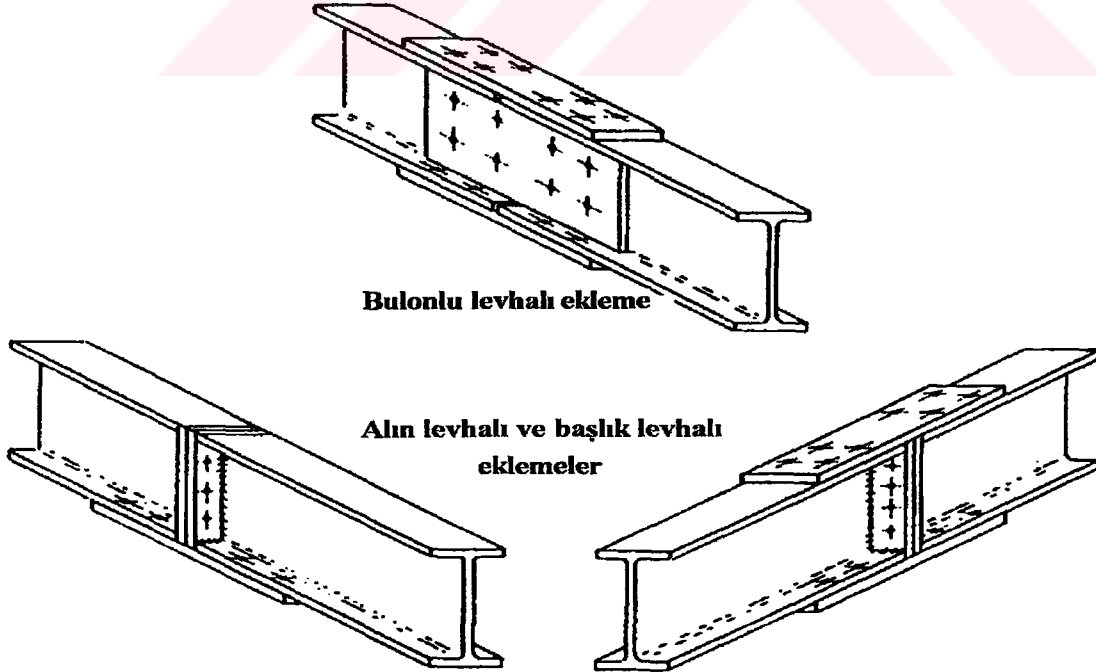
Çok katlı çelik yapılarda kiriş enkesitleri, tek profil kullanılarak, profillere levha eklenerek veya profiller birleştirilerek oluşturulabilir. Döşeme kirişleri ve tali elemanlarda dar başlıklı IPE profilleri, kat kirişlerinde ise eğilme rijitliği fazla olan HE profilleri kullanılır.

Yapma kirişler ise profillerin istenilen eğilme rijitliğini sağlayamaması durumunda tercih edilir. Bu amaçla profil başlıklarına levha veya başka profil kaynaklanabilir veya levhalardan profil yapılabilir. Şekil 4.7'de yapma kirişler görülmektedir.



Şekil 4.7 : Yapma kirişler.[9]

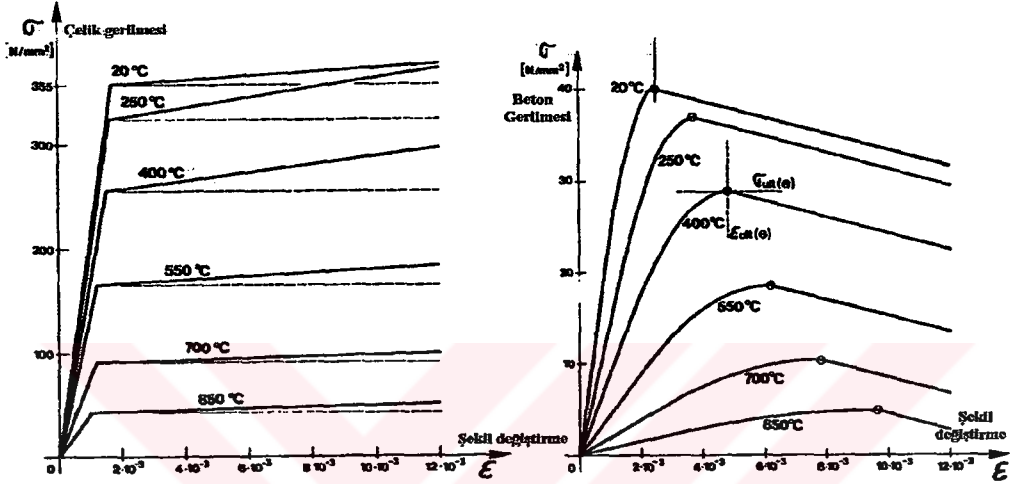
Kiriş eklemeleri alın levhalı veya yan levhalı olarak yapılabilir. Alın levhalı birleşimlerde levhalar atölyede kirişe kaynaklanmakta ve şantiyede bulonlarla birleştirilmektedir. Şekil 4.8'de kaynaklı ve bulonlu kiriş eklemeleri görülmektedir.



Şekil 4.8 : Kiriş eklemeleri.[7]

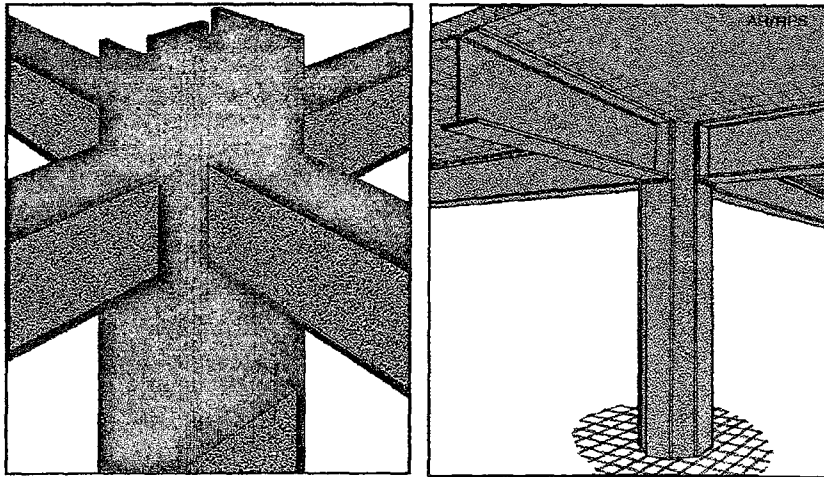
4.2.1. Kolon ve kirişlerin yangından korunması.

Çok katlı çelik yapılarda taşıyıcı sistemin yangından korunması büyük önem taşımaktadır. Çünkü çeliğin akma gerilmesi sıcaklıkla düşmektedir. Profillerin yangına karşı tasarımı, belirli bir kritik sıcaklık için, kesitin yangına karşı mukavemet süresine göre yapılır. Örneğin F90, yangına karşı 90 dakikalık mukavemet demektir. Şekil 4.9'da beton ve çeliğin ortam sıcaklığına bağlı gerilme-şekil değiştirme diyagramı görülmektedir.[15]



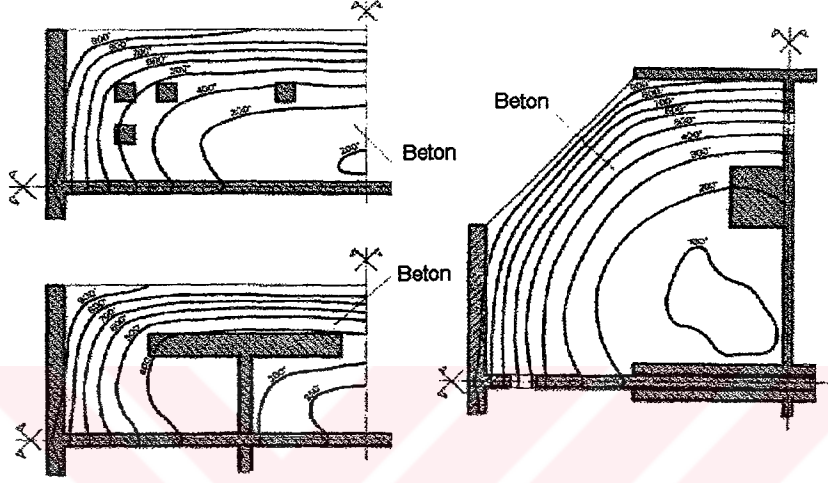
Şekil 4.9 : Beton ve çeliğin sıcaklığa bağlı gerilme-şekil değiştirme diyagramları.[15]

Kolon ve kirişlerin yangından korunması amacıyla, kesitin etrafı betonla, asbest esaslı sıvayla veya alçı levhalarla kaplanmaktadır. Bu sayede dış ortam sıcaklığının düşük bir kısmı yapı elemanlarına yansıtılmaktadır. Şekil 4.10'da betonla kaplama görülmektedir.



Şekil 4.10 : Kolon ve kirişlerin betonla kaplanması.[15]

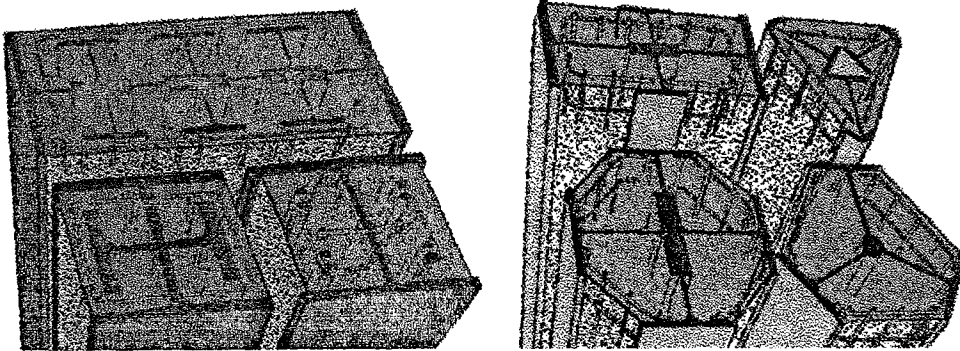
Kesitlerin etrafının yalıtım elemanlarıyla kaplanması, içteki çelik profillerde ısının daha düşük tutulmasını sağlamaktadır. Böylece elemanın yangına karşı hasar görmesi önlenmektedir. Yapı elemanlarının yangına karşı dayanıklılığı testlerle kontrol edilmektedir. Betonla kaplanmış kolon içindeki ısı dağılımı Şekil 4.11'de görülmektedir. Dış ortam sıcaklığı $900C^0$ iken, betonun ısı iletkenliğinin az olması sayesinde kolon iç kısmında sıcaklığın $100C^0$ ye düştüğü görülmektedir. Konuyla ilgili testler Kaynak 15'te mevcuttur.



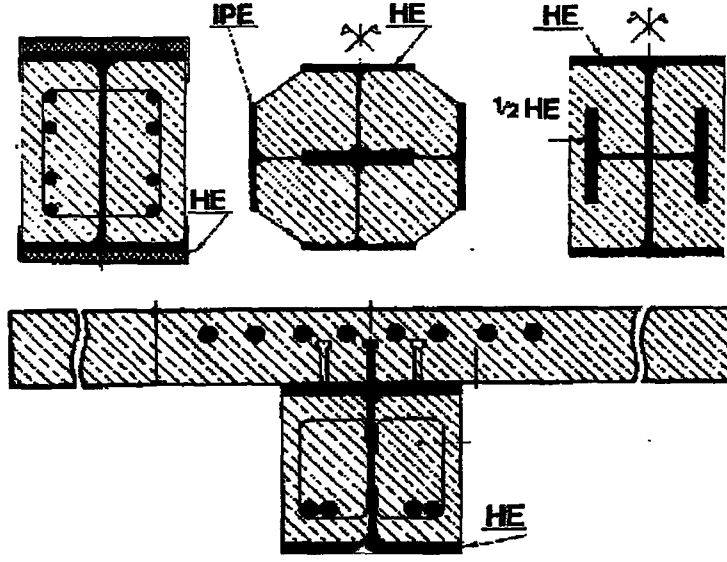
Şekil 4.11 : Kolon içindeki ısı dağılımı.[15]

4.2.2. Kompozit kolon ve kirişler.

Profillerin iç kısmının betonla kaplanması ve demir çubuklarla desteklenmesi, kesitin kompozit biçimde çalışmasına neden olmaktadır. Bu durum hem yangından korunma sağlamakta, hem de elemana fazladan mukavemet kazandırmaktadır. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te kompozit kolon ve kiriş kesitlerine örnekler verilmektedir.



Şekil 4.12 : Kompozit kolon örnekleri.[15]

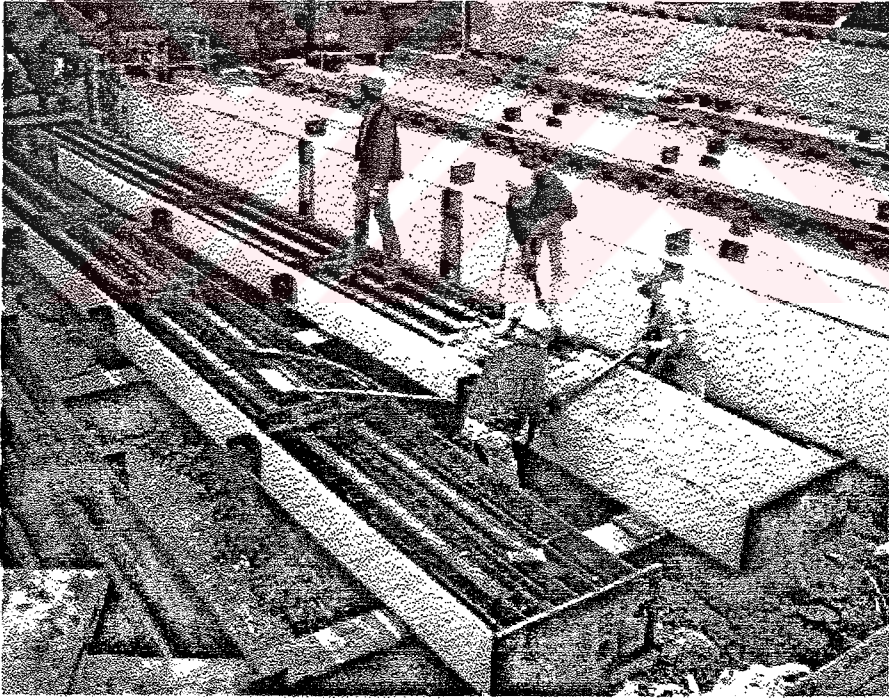
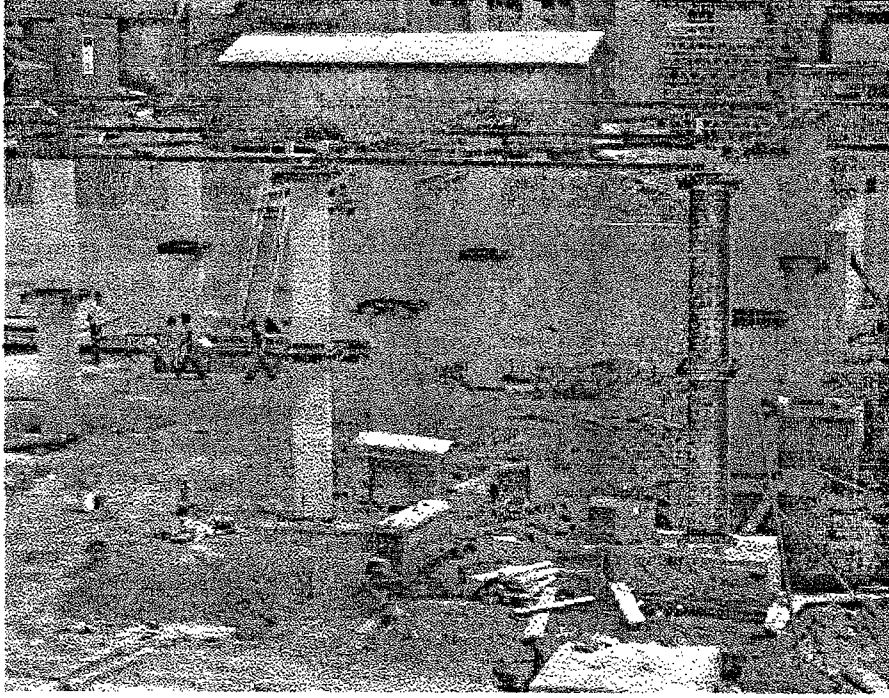


Şekil 4.13 : Kompozit kolon ve kiriş kesitleri.[15]

Kompozit kolon ve kirişler çerçevesi yapıların büyük çoğunluğunda kullanılmaktadır. Şekil 4.14'te kompozit çerçevesi yapı örneği verilmiştir. Bu yapıda kolon ve kirişlerin etrafı betonla kaplanmıştır.



Şekil 4.14 : Kompozit çerçeve örneği.[2]



Şekil 4.15 : Kompozit kolonların hazırlanması.[2]

Şekil 4.15'te kompozit kolonların yapımı görülmektedir. Çelik kolon ve kirişler atölyede imal edildikten sonra şantiye sahasında betonla kaplama yapılmaktadır.

4.3. Yüksek Yapılarda Kullanılan Birleşimler.

4.3.1. Birleşimlerin sınıflandırılması.

Çelik yapılar, çerçeve elemanlarının birleştirilmesi sonucu elde edilmektedir. Birleşimler, yükün düzenli biçimde diğer elemanlara ve temellere aktarılmasını sağlar. Birleşimler, yükü bitişikteki elemanlara aktarmakta veya onlardan yük almaktadır. Birleşim tipleri güvenli biçimde yük aktaracak şekilde yapılmalı, ekonomik biçimde tasarlanmalı ve pratik olarak uygulanabilir olmalıdır.

Pratik biçimde yapılmış olan birleşimler genellikle daha ekonomiktir. Çünkü birleşimlerin yapım maliyetleri; perçinlerin, bulonların, kaynak çubuklarının ve ek levhalarının fiyatları ile birleşimlerin işçiliğine bağlıdır.

Birleşimler aşağıdaki özelliklerine göre gruplara ayrılmaktadır.[6]

1) Bağlantı çeşidine göre:

Perçinli, bulonlu veya kaynaklı birleşimlere ayrılmaktadır.

2) Bağlantıların rijitliğine göre:

Rijit, basit veya yarı rijit çerçeve birleşimleri şeklinde gruplara ayrılmaktadır.

2a) Rijit çerçeve birleşimleri: Bu birleşimler moment aktarmakta olup düğüm noktalarının hareketi ve dönmesi kısıtlanmıştır.

2b) Basit çerçeve birleşimleri: Bu tip birleşimler kesme kuvveti aktarmakta olup, moment aktarmakta kullanılmazlar. Çünkü birleşim elemanları serbestçe dönebilmektedir. Bu birleşimler az miktarda moment taşıyabilseler de bu durum tasarımda göz ardı edilir.

2c) Yarı rijit çerçeve birleşimleri: Yarı rijit çerçeve birleşimlerinde, kiriş uçlarında taşınabilecek maksimum moment değeri sınırlandırılmıştır. Bu tip birleşimlerde düğüm noktaları, etkiyen yükün şiddetine bağlı olarak plastik deformasyonlar yaptığından, rijit bağlantılara göre daha az uç momenti taşımaktadır.

3) Yapısal birleşimlerin aktardığı kuvvet çeşidine göre:

3a) Kesme kuvveti aktaran birleşimler: Kirişler ve kolonlar arasındaki bağlantılarda sıkça kullanılır. Birleşim elemanları serbestçe dönebilmektedir.

3b) Moment aktaran birleşimler: Eğilme veya burulmanın hakim olduğu bağlantılarda kullanılmakta olup buralardaki dönmeler kısıtlandırılmıştır.

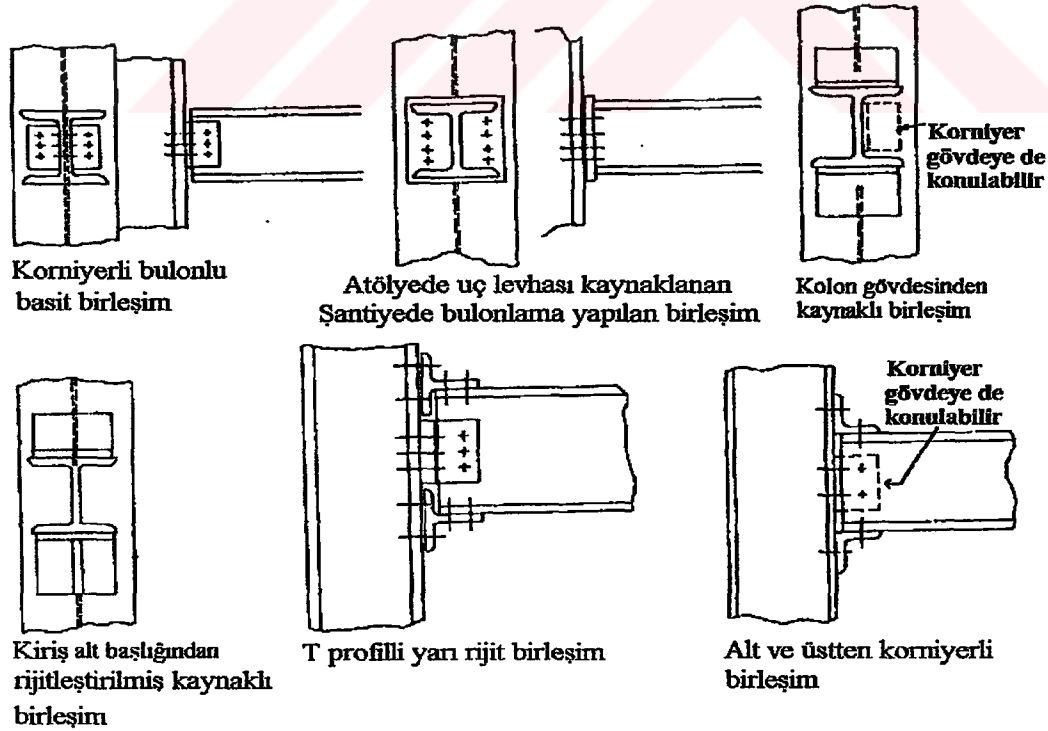
3c) Kesme kuvveti ve moment aktaran birleşimler: Rijit ve yarı rijit birleşimlerdir.

3d) Çekme veya basınç aktaran birleşimler: Kolon ek yerlerinde veya kafes kiriş elemanlarında kullanılır.

3e) Çekme veya basınç kuvvetiyle birlikte kesme kuvveti aktaran birleşimler: Diyagonal desteklerde sıkça kullanılmaktadır.

4) Bağlantı geometrisine göre sınıflandırma:

Bağlantı geometrisine örnekler Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16 : Bağlantı geometrisine göre sınıflandırma örnekleri. [6]

4a) Döşemeleri kolon ve kirişlere bağlamak için kullanılan korniyerli birleşimler.

4b) Levha ve korniyerlerle oluşturulmuş kaynaklı birleşimler.

4c) Alın levhali kolon-kiriş ve kiriş-kiriş birleşimleri.

Alın levhaları kullanılarak bulonlu veya kaynaklı birleşimler yapılabilmektedir.

4d) Tek doğrultuda levha kullanılan (yanlarda veya üst ve altta) birleşimler.

Bu birleşimlerde kiriş üst ve alt başlıklarına veya kiriş gövdesine levha konarak bulonlu veya kaynaklı birleşimler yapılmaktadır.

4e) Normal veya rijitleştirilmiş birleşimler.

Bu birleşimlerde kiriş alt başlığına korniyer veya T profilden rijitleştirmeler yapılır.

5) Birleşimlerin yapıldığı yere göre sınıflandırma:

5a) Atölyede imal edilen birleşimler: Genellikle bulonlu birleşimler olup atölyede şantiyede monte edilmektedir.

5b) Atölyede kaynaklama ve bulon delikleri yapıldıktan sonra, şantiyede elemanların montaj işlemlerinin gerçekleştirildiği birleşimler.

5c) Şantiyede imal edilen birleşimler: Genellikle tümü kaynakla yapılan eklemeler ve küt kaynaklı birleşimlerdir.

6) Birleşimlerin mukavemetine göre sınıflandırılma:

6a) Sürtünmeyle kuvvet aktaran birleşimler: Bu tip birleşimlerde tasarım yükü çok fazla aşmadığı sürece bağlı parçalar arasında moment aktarılmaz. Bu birleşimler ön gerilmeli bulonların sıkıştırılmasıyla veya kenetlenmiş elemanlar arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan kuvvetlerin etkisiyle kuvvet aktarırlar.

6b) Kesme ve delik çevresinde ezilmeye göre yük aktaran birleşimler: Bu tip birleşimler normal veya yüksek mukavemetli bulonlarla yapılmaktadır.

4.3.2. Birleşim aracının seçimi

Çelik yapılarda kolon-kiriş ve kiriş-kiriş birleşimleri çeşitli tiplerde yapılabilmektedir. Kullanılan bağlantıların tipine göre dört çeşit birleşim aracı kullanılmaktadır. Bunlar perçinler, kaynaklar, normal bulonlar ve sürtünmeyle kuvvet aktaran öngerilmeli bulonlardır.

Birleşim aracının seçimine birçok faktör etki etmektedir. Bunlardan bazıları, inşaat yönetmelikleri, ekonomik koşullar, tasarımcı ve üreticinin tercihleri, birleşim aracının bulunabilirliği ve elde bulunan gerekli teçhizat çeşididir.

Birleşimlerin seçiminde göz önünde bulundurulacak noktalar şunlardır:

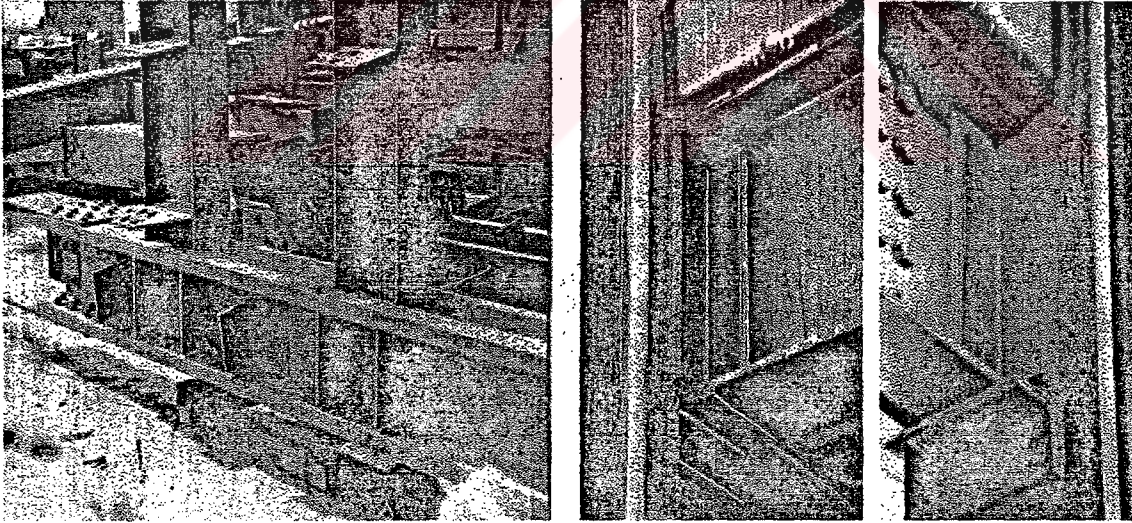
- 1) Normal bulonlu birleşimler, az yük taşıyan hafif yapılarda, geniş yapılardaki diyagonal destekler gibi yardımcı elemanlarda ve basit birleşimlerde ekonomik sonuç verir.
- 2) Şantiye sahasında bulonlama hem hızlıdır, hem de az deneyimli elemanlarla kolayca uygulanabilir. Fakat yüksek mukavemetli bulonların maliyeti, perçin ve kaynak maliyetinden daha fazladır.
- 3) Eğer yapı daha sonra parçalara ayrılarak taşınacaksa, perçinli ve kaynaklı birleşim tasarımı sakıncalıdır. Böyle durumlarda bulonlu birleşimler tercih edilmelidir.
- 4) Ağır yüklemeler için sürtünmeyle kuvvet aktaran öngerilmeli yüksek mukavemetli bulonlar çok iyi sonuç verir. Bununla birlikte kaynaklar ve yüksek mukavemetli bulonlar da ağır yüklemelerde ekonomik biçimde kullanılmaktadır.
- 5) Kaynaklı birleşimler daha az çelik malzeme sarfiyatı sağlamaktadır. Ayrıca birleşimin dış görünümü estetikdir ve farklı tipte birleşimler meydana getirilebilmektedir.
- 6) Moment aktaran birleşimlerle, kolon ve kirişlerin devam ettiği bölgelerde kaynaklı birleşimler tercih edilmektedir. Çünkü kaynaklı birleşimler daha rijittir.
- 7) Kaynaklama yöntemi, atölye çalışmaları için tüm dünyada kabul görmüş bir yöntemdir. Kaynak makineleriyle hızlı ve ekonomik biçimde yapılmaktadır.

Yukarıda, birleşim çeşitleri birçok farklı biçimde sınıflandırılmıştır. Bununla birlikte, en yaygın sınıflandırma biçimi birleşimlerin rijitliğine göre yapılandır. Bu tip sınıflandırmada rijit birleşim, basit birleşim veya yarı rijit birleşim tipleri bulunmaktadır. Aşağıda bu tip birleşimler geniş bir biçimde açıklanmıştır.

Rijit birleşimler, moment aktaran bağlantılardır. Basit birleşimler; esnek, serbest dönme hareketi yapabilen, moment aktarmayan bağlantılardır. Yarı rijit birleşimlerde düğüm noktaları, etkiyen yükün şiddetine bağlı olarak plastik deformasyonlar yaptığından sınırlı miktarda moment aktarabilmektedir.

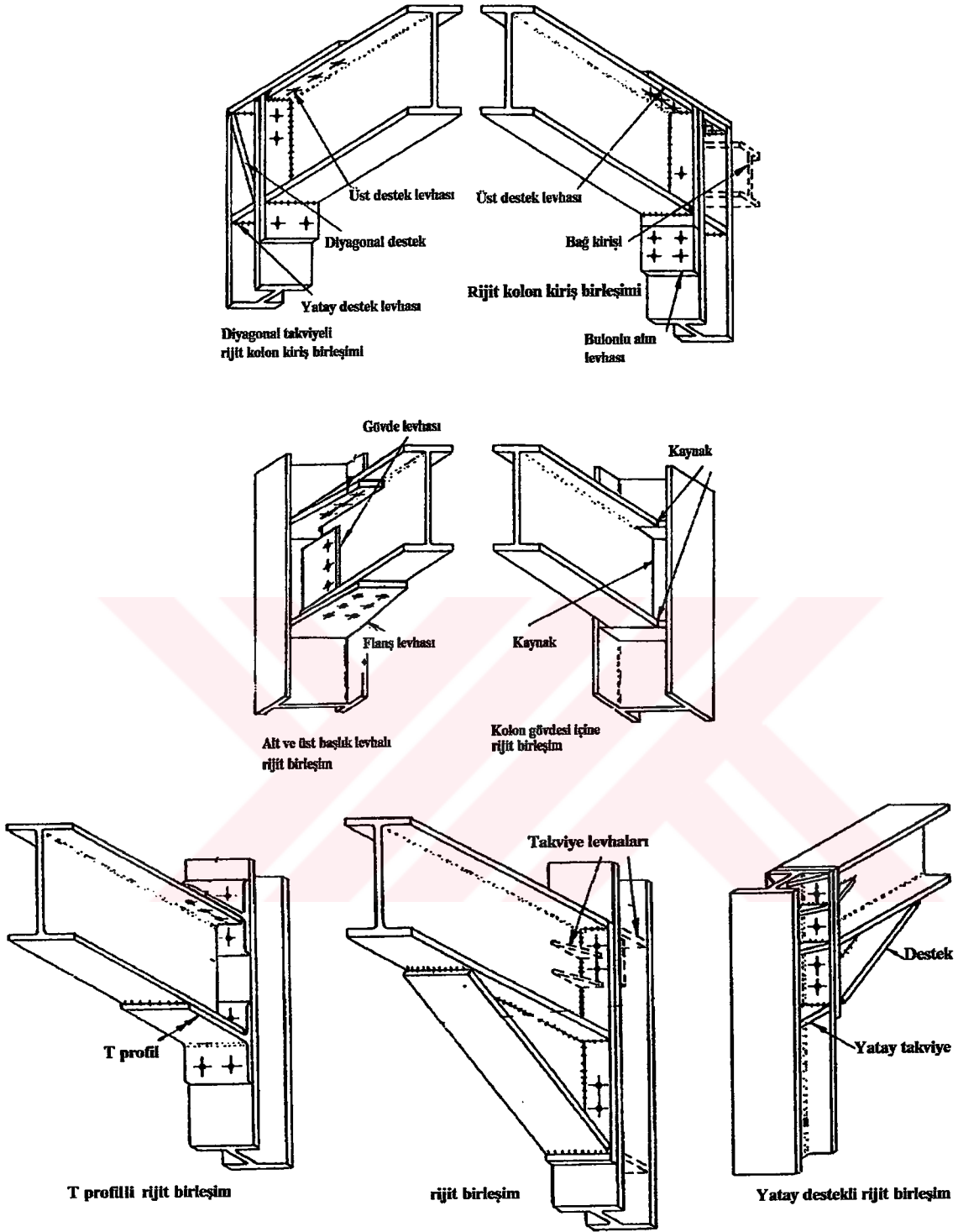
4.3.3. Rijit çerçeve birleşimleri.

Rijit çerçeve birleşimleri, bağlantı elemanlarının dönme hareketi yapmadığının varsayıldığı, moment aktaran birleşimlerdir. Rijit birleşimler yüksek binalarda, tüm yapı elemanlarının yanal yüklere karşı rijit bir davranış göstermesi için kullanılmaktadır (Şekil 4.17).



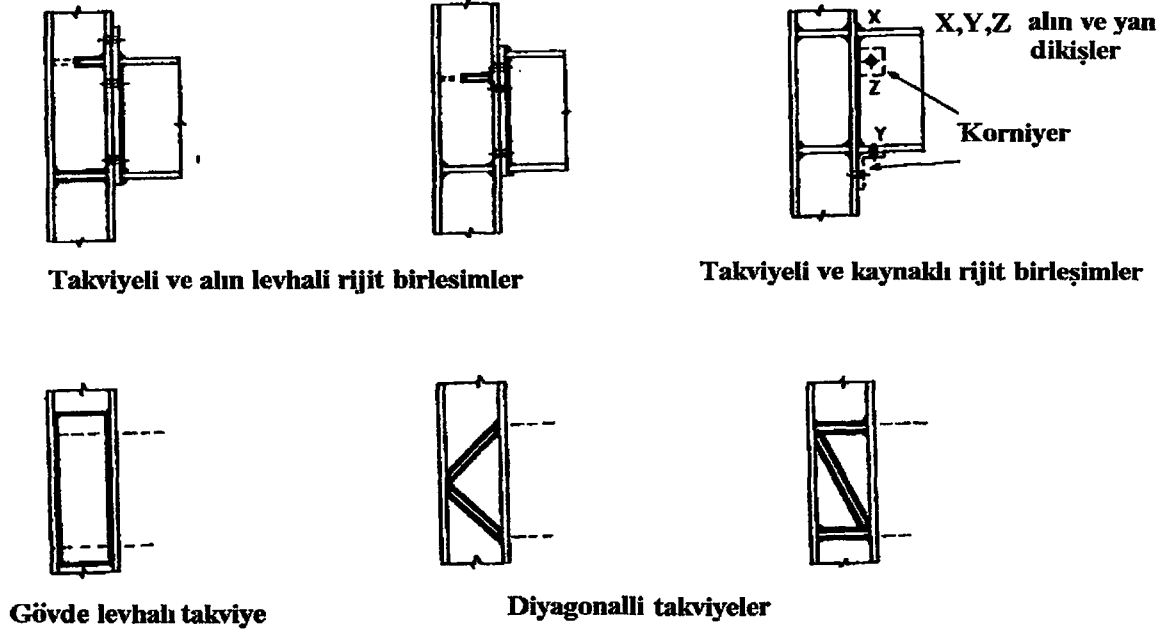
Şekil 4.17 : Rijit birleşim örnekleri.[6]

Rijit birleşimlerin kullanılması, kirişlerin boyutlarını azaltmaktadır. Bu bağlantıların çeşitleri belirlenirken, kiriş-kiriş ve kolon-kiriş birleşimlerinin taşıyacağı momentler göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4.18 : Rijit kolon-kiriş birleşimleri.[7]

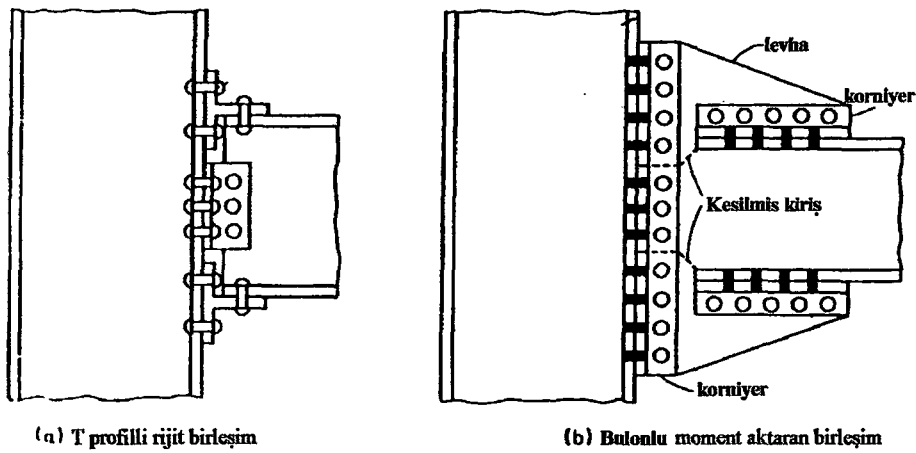
Şekil 4.18'de değişik şekilde dizayn edilmiş kolon-kiriş birleşimleri görülmektedir. Özellikle şiddetli yanal yüklemelerde, birleşimin deformasyon kabiliyetini minimuma indirmek için kolon gövdesine diyagonal elemanlar ve kiriş alt başlığına rijitleştirmeler yapılmaktadır.



Şekil 4.19 : Gövde diyagonal rişit kolon-kiriş birleşimleri.[11]

Şekil 4.19'da kolon gövdesine takviyeler yapılmış kolon-kiriş birleşim örnekleri bulunmaktadır. Bu birleşimler moment aktarmakta olup kolon burkulmalarını önlemek amacıyla takviyeler yapılmıştır. İlk üç şekilde kolonlara, kiriş başlıklarının devamı şeklinde levha kaynaklanmıştır. Diğer üç şekilde ise kolonlara gövde levhaları ve diyagonal desteklerle yapılan takviyeler görülmektedir.

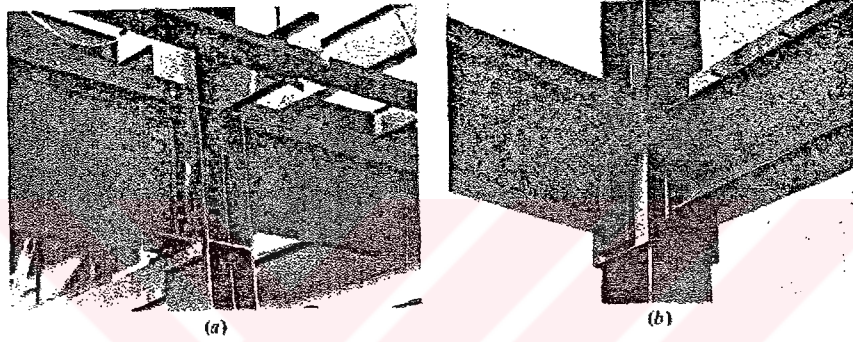
Bulon veya perçinli rişit birleşimler, çok sayıda birleşim elemanı gerektirdiğinden oldukça pahalıdır. Bu yüzden kaynaklı birleşimlerden daha az kullanılmaktadır.(Şekil 4.20)



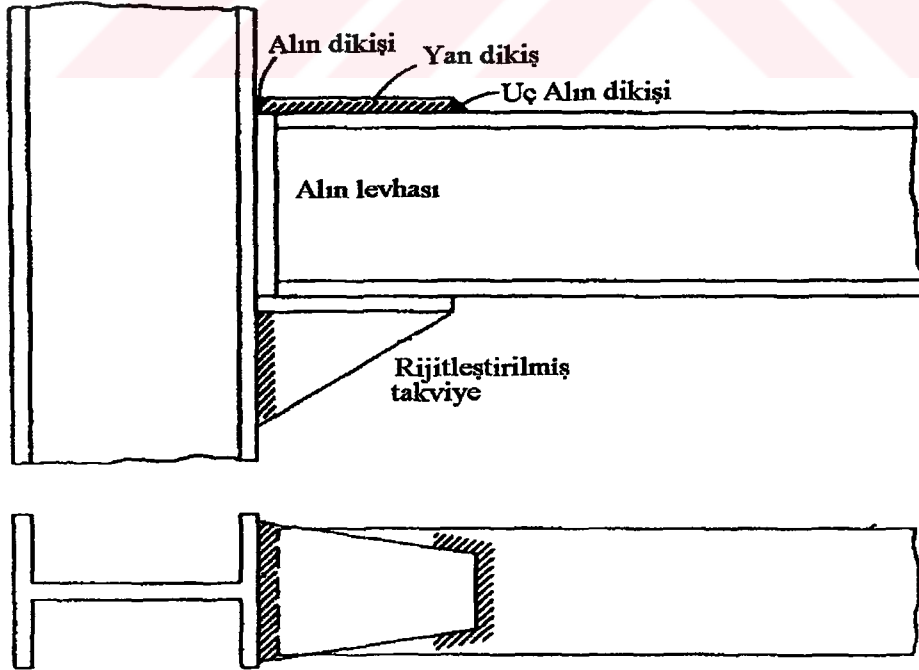
Şekil 4.20 : Bulon veya perçinli rişit birleşimler.[12]

Kirişlerde eğilme oluşturan gerilmelerin çoğu kiriş alt ve üst başlığı olan flanşlar tarafından karşılanır. Bunun için moment aktaran kaynaklı bileşimlerde kaynaklama, kirişlerin alt ve üst başlıklarında yoğunlaştırılmalıdır.

Kaynaklı rijit birleşimler, kirişlerin devam ettiği durumlarda daha verimlidir. Çünkü negatif momentler kiriş uç bölgelerinde oluşmakta ve bunlar kaynaklı birleşimler tarafından kolayca aktarılabilir. Kaynaklı birleşimlerin diğer avantajı da yüklemelerin daha kolay dağıtılabilmesidir. Şekil 4.21'de kaynaklı rijit birleşim örnekleri görülmektedir.

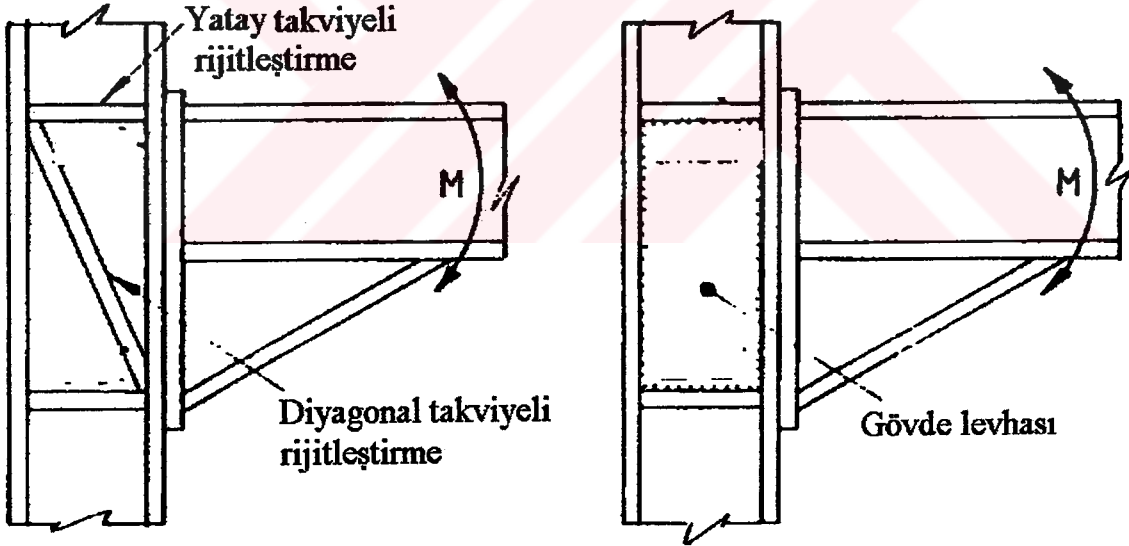
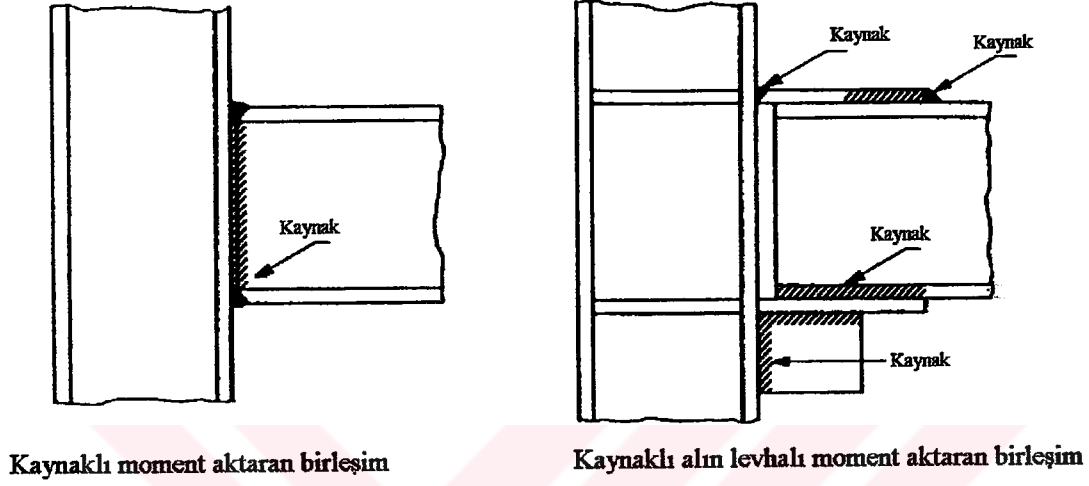


Şekil 4.21 : Kaynaklı rijit birleşim örnekleri.[6]



Şekil 4.22 : Kaynaklı rijit birleşim detayı.[12]

Şekil 4.22'de moment aktaran tipik bir kaynaklı birleşim görülmekte olup üst kısımdaki çekme gerilmeleri, yan dikişlerle kiriş üstündeki levhaya iletilmektedir. Yükler daha sonra alın dikişleri vasıtasıyla kolona aktarılmaktadır. Kolay bir kaynaklama için üstteki levha, şekilde görüldüğü gibi yamuk şeklinde kesilebilir.

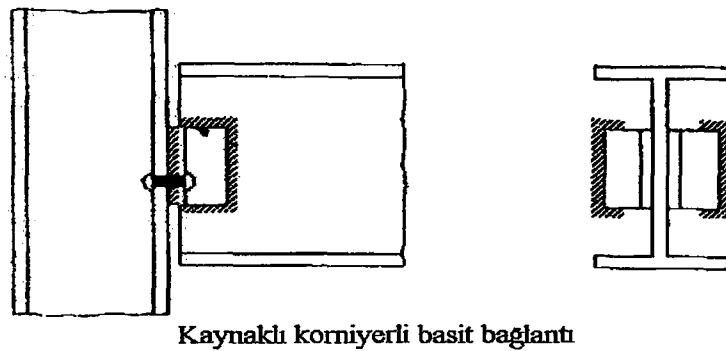
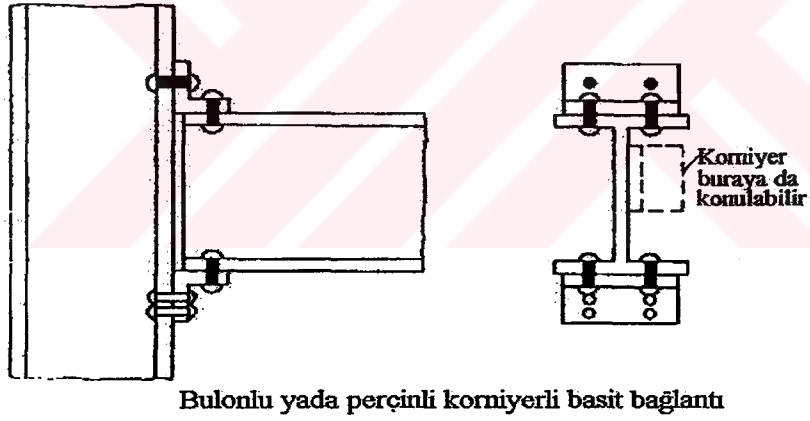
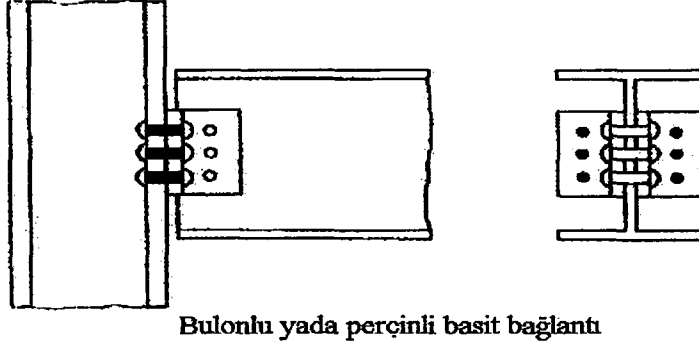


Şekil 4.23 : Takviyeli rijit birleşimler.[7,12]

Moment aktaran kaynaklı birleşimlerin en yaygın kullanım şekli, kiriş üstüne yan dikişlerle levha kaynaklamak ve alın dikişleri ile kolona bağlamaktır. Kirişin kolona daha rijit oturması için kiriş ucuna alın levhası kaynaklanır. Ayrıca kiriş alt başlığında takviye amacıyla rijitleştirmeler de yapılmaktadır. Bu rijitleştirmeler Şekil 4.23'te görülmektedir.

4.3.4. Basit çerçeve birleşimleri.

Basit çerçeve birleşimlerinde, sadece kesme kuvveti etkisi bulunmaktadır. Bu birleşimler yük altında dönme serbestliğine sahiptir. Bunun sonucunda daha geniş kolon açıklıkları elde etmek mümkündür. Kiriş uç momentlerinin kaldırılması, daha basit birleşimlerin yapımını sağlamakla birlikte, kolonlardaki eğilme momentini de azaltır.



Şekil 4.24 : Basit kolon-kiriş birleşimleri.[12]

Şekil 4.24'te bazı basit kolon-kiriş birleşimleri gösterilmiştir. Şekilde görülen birleşimlerde tek tip bağlantı elemanı kullanılmış olup, pratikte kaynaklama ve bulonlama aynı birleşimde yapılabilmektedir. Örneğin kiriş gövdesindeki korniyerler atölyede kaynaklanmakta ve şantiyede bulonlarla kolonlara monte edilmektedir.

Moment mukavemetli bağlantıların yokluğu yanal stabilitenin; komşu yapılara bağlanma, diyagonal destekler veya kalın örme duvarlarla karşılanmasını gerektirmektedir.

Bu tip birleşimlerin moment taşımadığı kabul edilse de gerçekte yanal yüklerden dolayı oluşan momentin bir kısmını karşılamaktadır. Basit birleşimlerin pratik olarak kullanılmasının nedeni çeliğin yüksek düktiliteye sahip olması, bu tip bağlantılarla ilgili geniş tecrübe ve bilgi birikimi oluşu ve rijit birleşimlerin üretim maliyetinin yüksek olmasıdır.

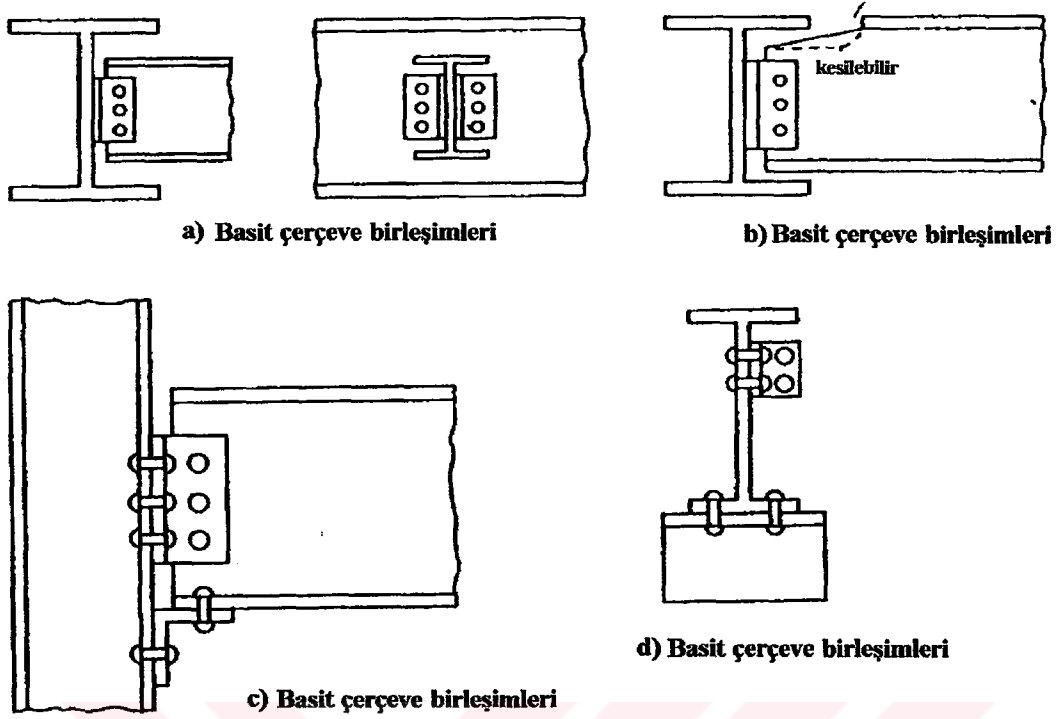


Şekil 4.25 : Basit bağlantılı kiriş-kiriş birleşimleri.[11]

Şekil 4.25'te basit kiriş-kiriş birleşimleri gösterilmiştir. Alın levhali ve yan levhali basit birleşimlerde kaynaklama işlemi atölyede, bulonlama ise şantiyede yapılmaktadır.

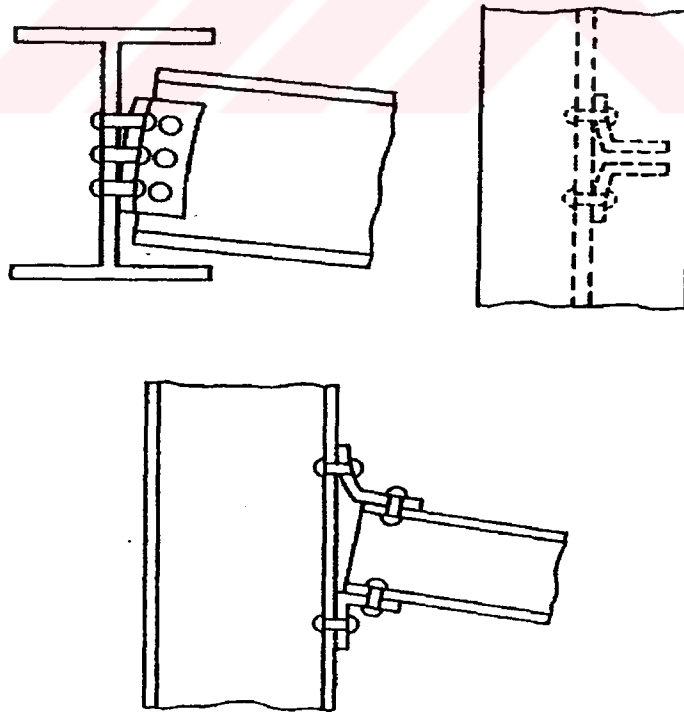
Perçinli veya bulonlu basit birleşim çeşitleri Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Bu tip birleşimler genellikle kesme kuvveti aktarmaktadır. Şekil 4.26a,b'de kiriş gövdelerinden korniyerle birleştirilmiş bağlantılar görülmektedir. Kiriş yüksekliklerinin elvermediği durumlarda flanşın üst kısmı şekildeki gibi kesilebilir.

Şekil 4.26c,d'de ise birleşimler kiriş alt bölgesinden korniyerle desteklenmektedir. Bu korniyerler de kirişlere atölyede bağlanmaktadır. Kiriş üst başlığında korniyer kullanılması sakıncalı ise şekildeki gibi gövdeye konulabilir.



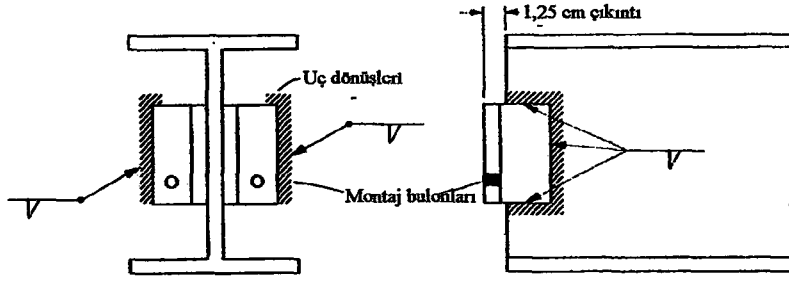
Şekil 4.26 : Perçinli veya bulonlu basit birleşimler.[12]

Kullanılan korniyerlerin hafif ve esnek olması durumunda, basit bağlantılarda kiriş dönmelerinin neden olduğu deformasyonlar aşağıda görülmektedir. (Şekil 4.27).



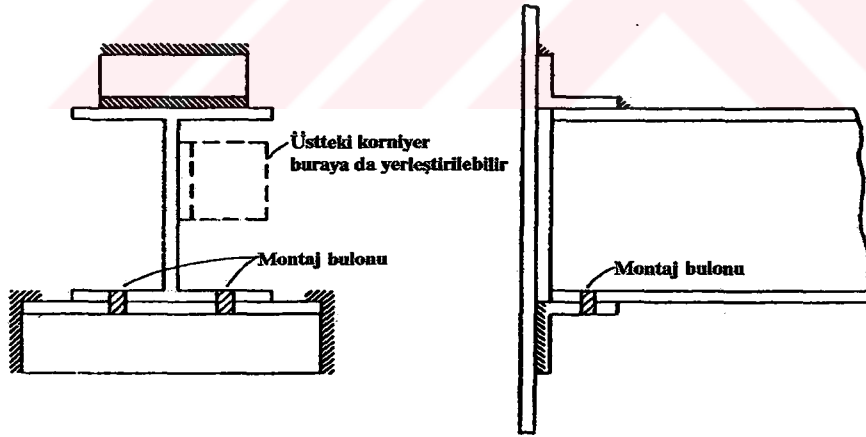
Şekil 4.27 : Basit birleşimlerde oluşabilecek deformasyonlar.[12]

Kesme kuvvetleri daha çok kiriş gövdesi tarafından karşılandığı için, basit birleşimlerde kaynaklamanın kiriş gövdesinde yapılması gereklidir. Kaynaklı basit birleşimler; gövde korniyerli birleşimler ve montaj korniyerli birleşimler şeklinde incelenir. Kaynaklı birleşimleri dizayn eden tasarımcının yapıdaki gerilme dağılımlarını ve bu gerilmelerin nasıl aktarıldığını bilerek bağlantı tipini seçmesi gerekir.



Şekil 4.28 : Gövde kaynaklı basit birleşim.[12]

Gövde korniyerli kaynaklı birleşimler, kiriş alt ve üst başlıkları serbest bırakıldığından kolayca dönebilmektedir. Şekil 4.28'de görüldüğü gibi kiriş gövdesine atölyede korniyer kaynaklanmakta ve korniyer üzerine montajı kolaylaştırmak için bulon delikleri açılmaktadır. Şantiyede montaj sırasında bulonlarla yerine kolayca yerleştirilen kiriş, daha sonra diğer elemana kaynaklanmaktadır. Kiriş gövdesi dışına çıkan korniyer miktarı 1.25 cm civarındadır.

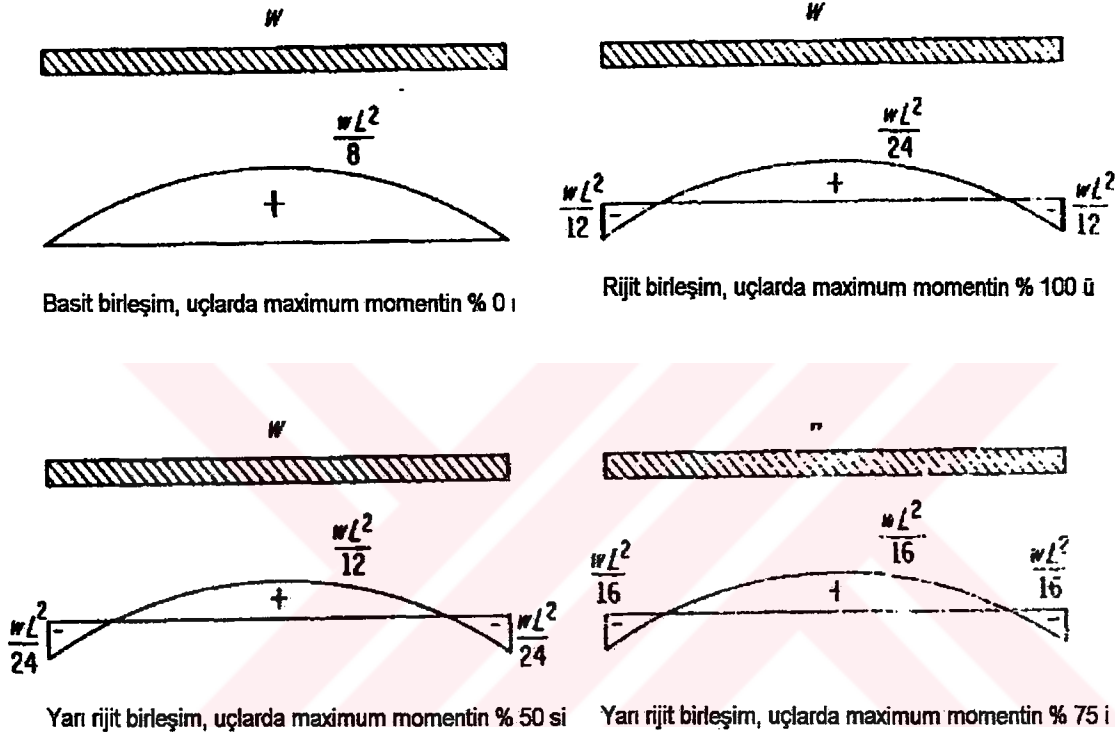


Şekil 4.29 : Kaynaklı montaj korniyerli basit birleşim.[12]

Kaynaklı montaj korniyerli birleşimlerde kolon gövdesine atölyede korniyer kaynaklanmakta ve ağır yüklemeler sırasında kirişin hareket etmesi kısıtlanmaktadır. Ayrıca kiriş alt başlığının montaj bulonları sayesinde daha rahat birleştirilmesi sağlanmaktadır. Şekil 4.29'da kaynaklı, montaj korniyerli birleşim örneği görülmekte olup, kiriş üst kısmına korniyer konulmasının sakıncalı olduğu durumlarda, kiriş gövdesine korniyer kaynaklanmaktadır.

4.3.5. Yarı rijit çerçeve birleşimleri

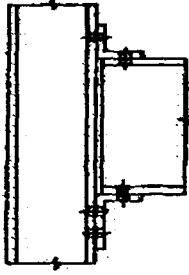
Yarı rijit çerçeve birleşimlerinde, kiriş uçlarında taşınabilecek maksimum moment değeri sınırlandırılmıştır. Bu tip birleşimlerde düğüm noktaları, etkiyen yükün şiddetine bağlı olarak plastik deformasyonlar yaptığından, rijit bağlantılara göre daha az uç momenti taşımaktadır.



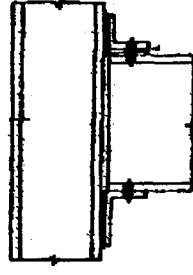
Şekil 4.30 : Birleşimlerin rijitliğine bağlı moment diyagramları.[12]

Şekil 4.30'da üniform yüklü kirişlerin moment diyagramları, uçlarındaki birleşimlerin rijitliklerine bağlı olarak çizilmiştir. Toplam moment değerinin ($w \cdot L^2/8$) olduğu göz önünde bulundurularak, basit bağlantılarda toplam moment değerinin hepsinin kiriş ortasında, rijit bağlantılarda ise $1/3$ 'ünün açıklıkta ve $2/3$ 'ünün kenarlarda olduğu görülür.

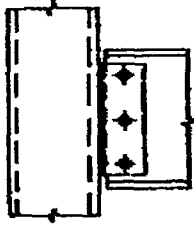
Şekil 4.31'de yarı rijit kolon-kiriş bağlantıları gösterilmiş olup, bu birleşimlerde bağlantının yanal yüklemeler sırasında eğilmesi engellemektedir. İlk iki şekilde korniyerli birleşim örnekleri görülmektedir. Diğer şekillerde ise yan levhalı ve alın levhalı yarı rijit birleşimler görülmekte olup kaynaklamalar atölyede, bulonlamalar şantiyede yapılmaktadır.



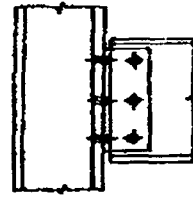
Bulonlu yarı rijit birleşim



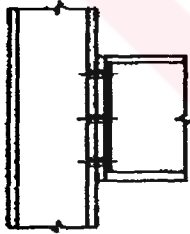
Kaynaklı bulonlu yarı rijit birleşim



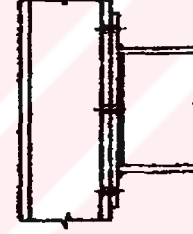
Tek taraflı gövde levhalı yarı rijit birleşim



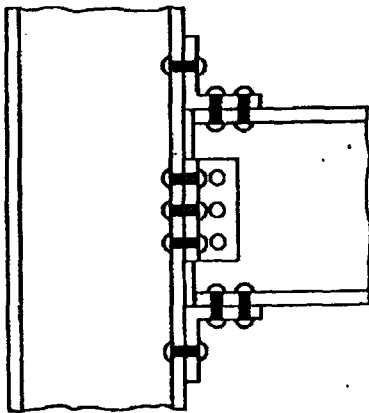
Bulonlu gövde levhalı yarı rijit birleşim



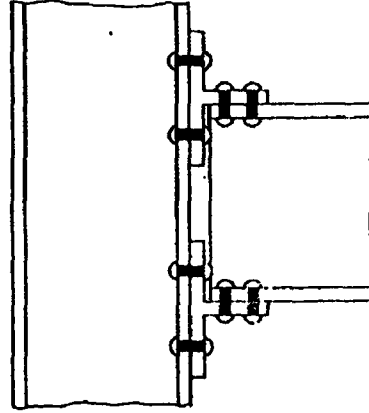
Alın levhalı bulon ve kaynaklı yarı rijit birleşim



Şekil 4.31 : Yarı rijit kolon-kiriş birleşim örnekleri.[11]



Kiriş çevresinden komiyele bağlanmış yarı rijit perçinli yada bulonlu birleşim

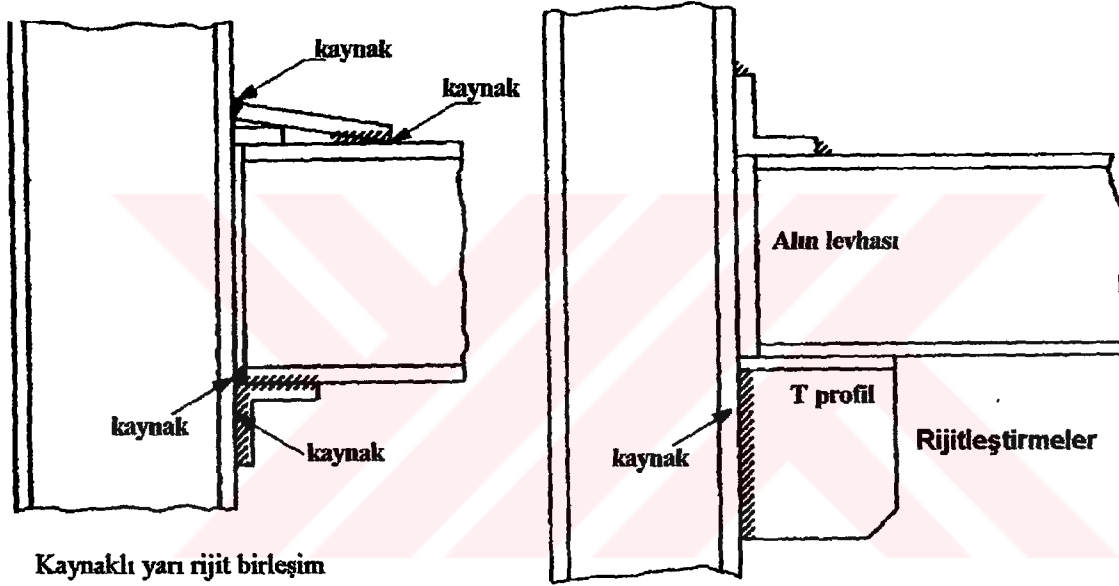


T profille yapılmış perçinli yada bulonlu yarı rijit birleşim

Şekil 4.32 : Bulon veya perçinli yarı rijit birleşimler.[12]

Bulon veya perçinli yarı rijit birleşim örnekleri Şekil 4.32'de görülmektedir. Bulonlu yarı rijit birleşimlerde birleşim elemanları birbirine tam olarak bağlanmakla birlikte, aşırı yüklemelerde korniyerlerin şekil değiştirmesi sonucunda kirişler bir miktar dönebilmektedir. Ayrıca korniyerlerde rijit birleşimlere göre daha az miktarda bulon veya perçin kullanıldığı için, kesit tesirleri elemanların taşıma kapasitesine ulaşmadan bulonlar akmaktadır.

İlk şekilde kolon, kirişin dört tarafından da korniyerler yardımıyla bağlanmıştır. İkinci şekilde ise T profil kullanılarak kiriş üst ve alt başlığında kolona bağlantı yapılmıştır. Bu sistemde aşırı yüklemeler altında kirişin dönmesi daha kolay olmaktadır.



Şekil 4.33 : Kaynaklı yarı rijit birleşimler.[12]

Kaynaklı yarı rijit birleşimler Şekil 4.33'te görülmektedir. Birinci şekilde kiriş alt başlığı korniyerle kolona sabitlenmiştir. Kiriş üst başlığına ise önce lama kaynaklanmakta, daha sonra üzerine çapraz biçimde levha kaynaklanarak yüklemeler altında kirişin bir miktar dönebilmesi sağlanmaktadır.

Kiriş reaksiyon kuvvetlerinin korniyeri bükebileceği durumlarda, kiriş altına T profil konularak rijitleştirmeler yapılmaktadır. T profil yerine korniyer ortasına levha kaynaklayarak da rijitleştirme elemanları elde edilebilmektedir. Rijitleştirme elemanlarının bükülme tehlikesi çok azdır. Pratikte bu elemanların kalınlığı en azından kiriş gövde kalınlığına eşit olmalıdır.

4.4. Kompozit Döşeme Sistemleri.

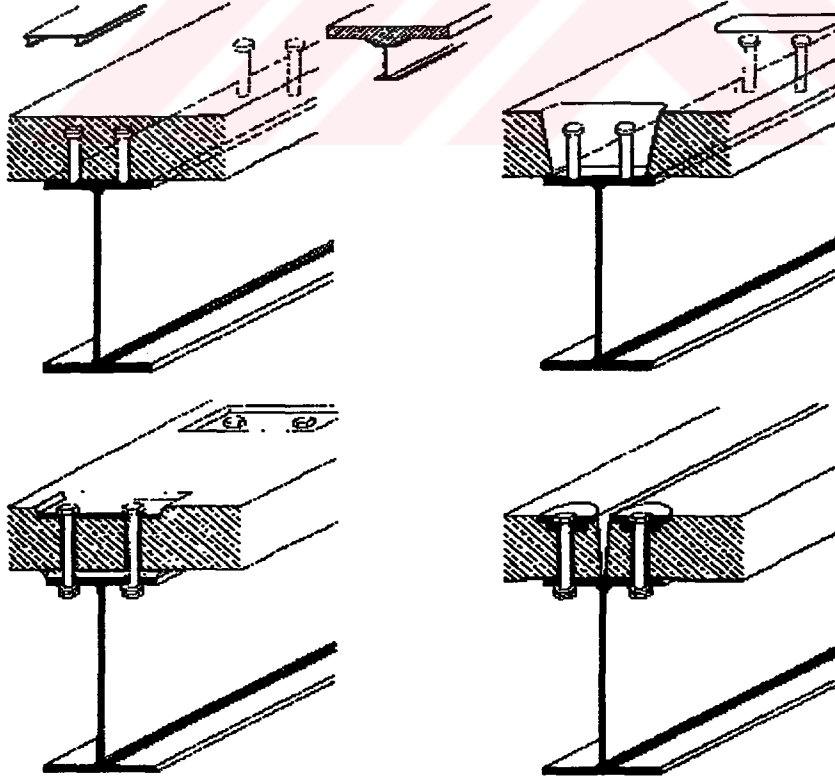
Çok katlı çelik yapılarda döşemeler genellikle kompozit yapılmaktadır. Kompozit döşemelerde, beton malzemenin basınç mukavemeti ve ucuzluğu ile çelik malzemenin çekme mukavemeti ve duktilitesinden yararlanarak verimli ve ucuz bir sistem oluşturulmaktadır.

Kompozit döşemelerin; hafif olması dolayısıyla kolayca taşınıp monte edilebilmesi, az miktarda çelik sarfiyatı olması, döşeme kalıbı gerektirmemesi, elektrik ve ısıtma tesisatının profilin altındaki boşluktan geçirilebilmesi gibi avantajları vardır. Fakat profil alt yüzü asma tavan yapılarak veya spreyci boyalarla yangına karşı korunmalıdır.

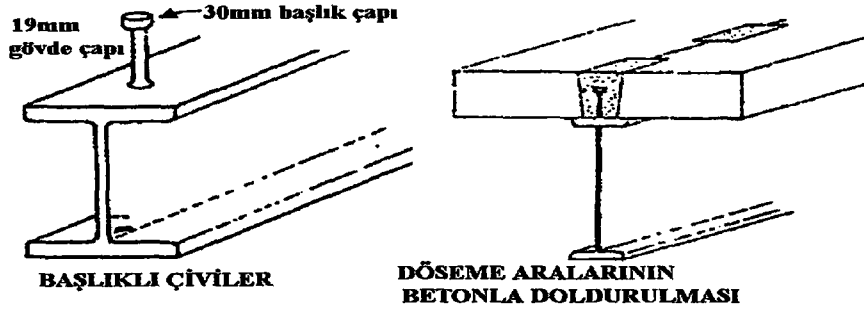
İki tip kompozit döşeme mevcuttur. Bunlar hazır betonarme plakların çelik profillere tutturulmasıyla oluşturulan döşemeler ve çelik profil levhaların üzerine beton dökülerek oluşturulan döşemelerdir. Her iki tip de yaygın biçimde uygulanmaktadır.

4.4.1. Hazır betonarme plaklar ve kirişlerin oluşturduğu kompozit birleşim.

Bu tip döşemeler çelik çerçeve kirişlerinin üzerine prefabrik döşeme elemanlarının yerleştirilmesiyle elde edilmektedir. Şekil 4.34'te bu tip döşemelere örnekler verilmiştir.



Şekil 4.34: Hazır betonarme plaklı kompozit döşemeler. [14]

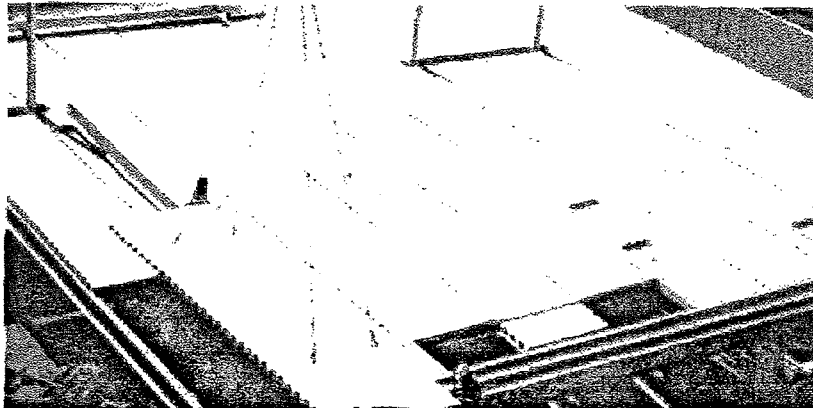


Şekil 4.35 : Kompozit döşemelerin oluşturulması.[4]

Döşeme ve kiriş elemanlarının kompozit biçimde çalışması için kiriş uçlarına 19mm çapında başlıklı çiviler kaynaklanmakta ve üzerleri betonla örtülmektedir (Şekil 4.35). Kesme kuvveti aktaran bu çiviler, kiriş ve döşeme elemanları arasında yük alışverişini sağlayacak rijitlikte olmalıdır.

Ön gerilmeli döşemelerin yerleştirilmesi sırasında kiriş üzerine kesikli veya devamlı boşluklar bırakılmaktadır. Daha sonra bu boşluklar betonla doldurularak kiriş ve döşemelerin kompozit davranış gösterecek şekilde birleştirilmesi sağlanmaktadır.

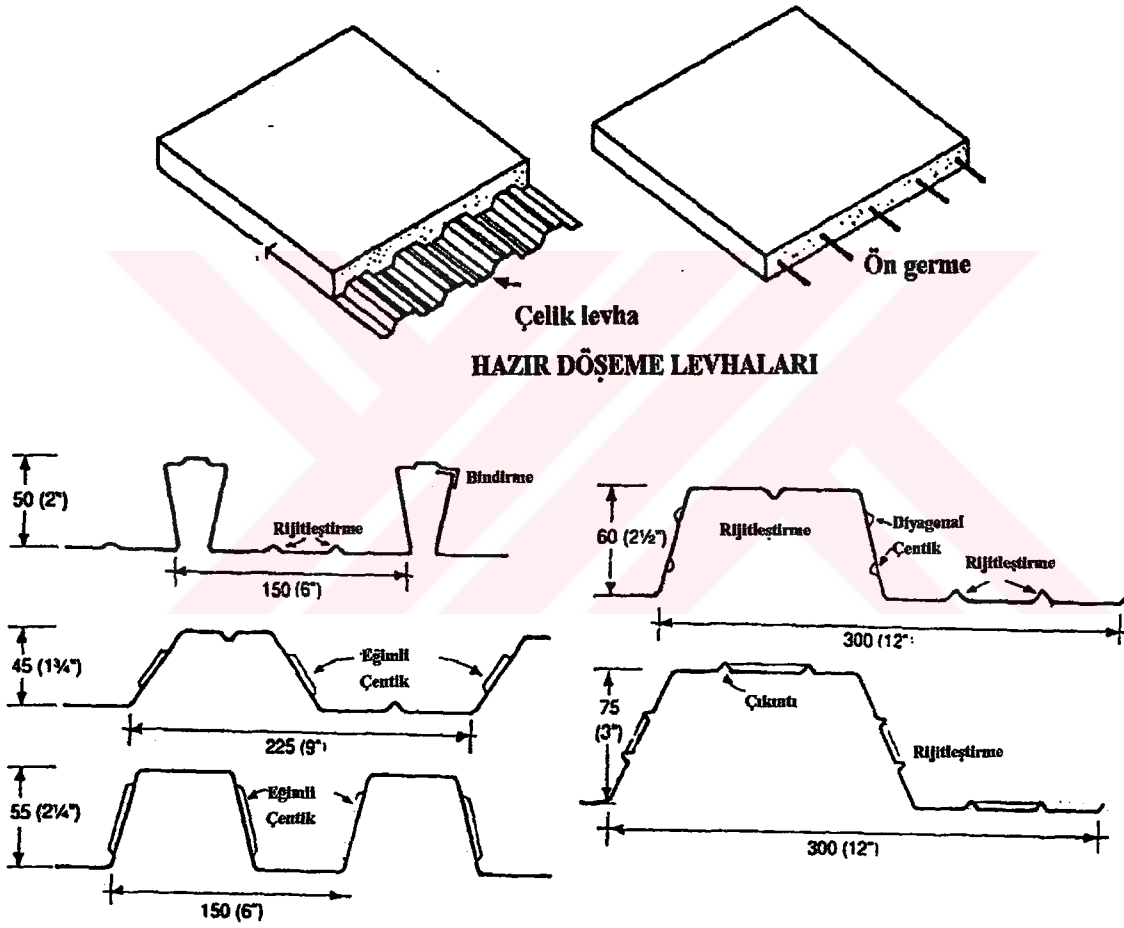
Bu döşeme tipinde kompozit kiriş oluşturulması, çelik kirişlerin boyutlarını küçülttüğünden, kullanılan profil miktarını azaltmaktadır. Ayrıca döşeme uçlarının kirişler tarafından tutulması nedeniyle, açıklık momentleri ve buna bağlı olarak döşeme kalınlığı azaldığından, dolaylı olarak ekonomi sağlanmaktadır. Fakat döşeme plakları ve kirişler arasında yapılan bağlantıların, maliyeti bir miktar artırdığı unutulmamalıdır. Şekil 4.36'da öngerilmeli döşeme plaklarının vinç yardımıyla yerleştirilmesi görülmektedir.



Şekil 4.36 : Öngerilmeli döşeme plaklarının yerleştirilmesi.[2]

4.4.2. Çelik levhaların üzerine beton dökülmesiyle oluşturulan kompozit birleşim.

Kompozit çelik levhalı döşemeler, tek doğrultuda çalışan, uygun şekil verilmiş çelik profil levhalar üzerine çelik hasır çubuklar konulması ve beton dökülmesiyle oluşturulur. Bu döşemelerde, beton kalınlığı 65-120 mm. ve uygulanabilir maksimum döşeme açıklığı 3,5 m. civarındadır. Bu tip döşemeler tek yönde çalışmakta olup profil kesitine paralel yöndeki döşeme açıklığı sehimleri azaltmak ve ekonomik bir yapı biçimi oluşturmak amacıyla sınırlandırılmaktadır.



Şekil 4.37 : Döşeme profilleri.[4]

Döşeme profilleri, eğilme rijitliğini artıracak biçimde şekillendirilmiş, 0,9mm-1,2mm kalınlığa sahip galvanizli çelik levhalarla imal edilmektedir. Aderansı artırmak amacıyla profil yüzeyine çentik ve çıkıntılar bırakılmaktadır (Şekil 4.37). Bu döşeme sistemleri Avrupa ve Amerika'da geniş kullanım alanına sahip olup, profil tipleri Şekil 4.38'de gösterilmiştir.

Çelik Profil Kesitleri	Çentik ve Çıkıntı Tipleri
<p>Super HOLORIB 51</p>	<p>COFRASTRA 40</p>
<p>MONTARIB 58</p>	<p>COFRADAL 60</p>
<p>COFRASTRA 40</p>	<p>COFRASTRA 70</p>
<p>COFRASTRA 70</p>	<p>HIBOND 55</p>
<p>HAIRCOL 555</p>	<p>HAIRCOL 555 + HAIRCOL 805</p>
<p>HAIRCOL 805</p>	<p>CF70</p>
<p>COFRADAL 60</p>	<p>CF46</p>
<p>HIBOND 55</p>	<p>Föbdeck 60</p>
<p>HIBOND 77</p>	<p>ALPHALOK</p>
<p>PRINS PVS 73</p>	<p>PRINS PVS 73</p>

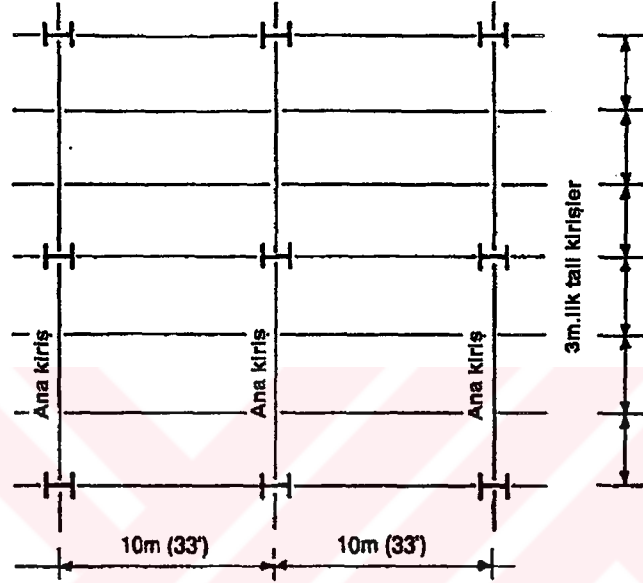
Şekil 4.38 : Avrupa'da kullanılan patentli döşeme profilleri.[5]

Kompozit döşeme levhalarının kirişlere bağlanması da başlıklı çivilerle yapılmaktadır. Bu çiviler levhann kirişe değdiği noktalarda levha boyunca kaynaklanmaktadır (Şekil 4.39).

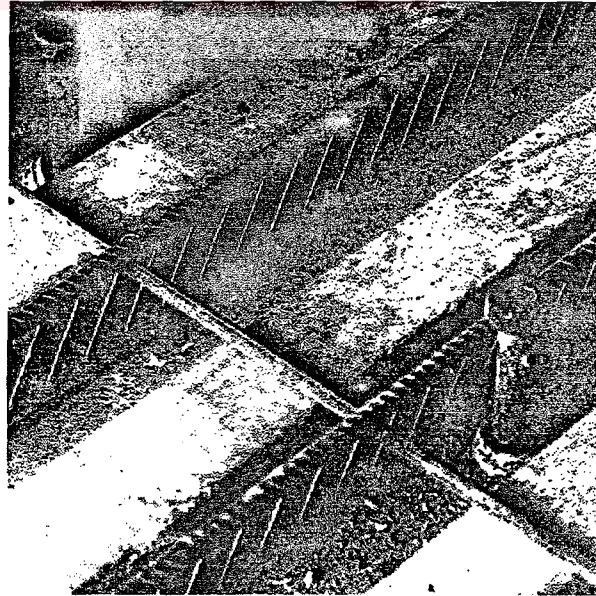


Şekil 4.39 : Başlıklı çivilerin kaynaklanması.[4]

Çelik profil levhalardan yapılmış döşemelerde açıklıklar, kullanılacak profil tipine ve yüklemelerin şiddetine bağlıdır. Profil kesitine dik yöndeki açıklık 3m.ile sınırlandırılmış olup Şekil 4.40'taki örnekte görüldüğü üzere profil doğrultusunda 10m. açıklık elde edilebilmektedir. Çelik levha üzerindeki betonun çatlamaması ve levha ile birlikte çalışması için Şekil 4.41'deki gibi hasır çelik çubuklar kullanılmaktadır.

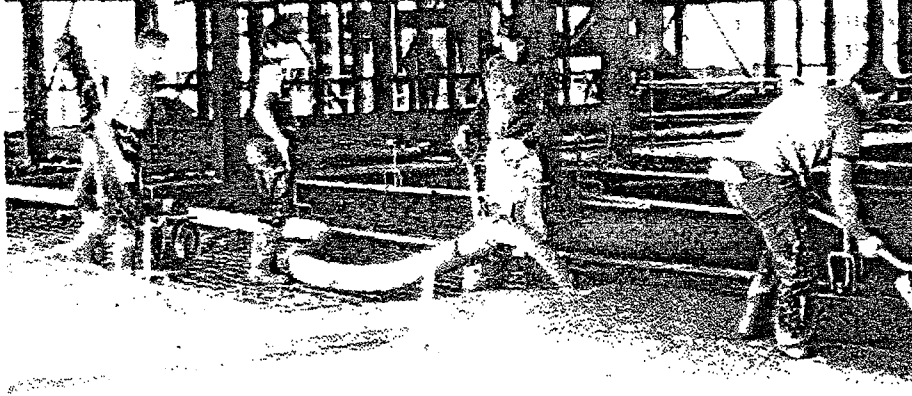


Şekil 4.40 : Döşeme örneği. [4]



Şekil 4.41 : Hasır çelik çubuk kullanılması. [4]

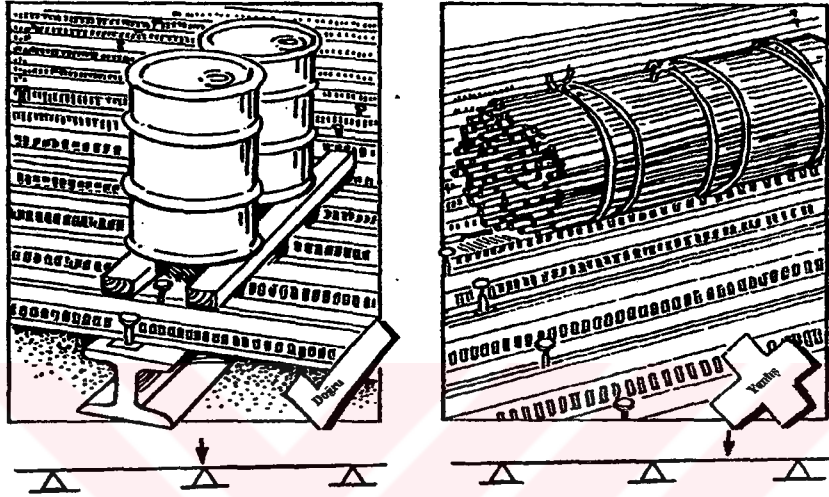
Kompozit döşemelerin yapımında 19 kN/m^3 yoğunluğundaki hafif beton yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonlama işlemi Şekil 4.42'de görüldüğü gibi pompa kullanılarak kolay ve hızlı biçimde yapılmakta ve istenilen kalınlıkta beton dökülebilmektedir.



Şekil 4.42 : Beton dökülmesi. [4,5]

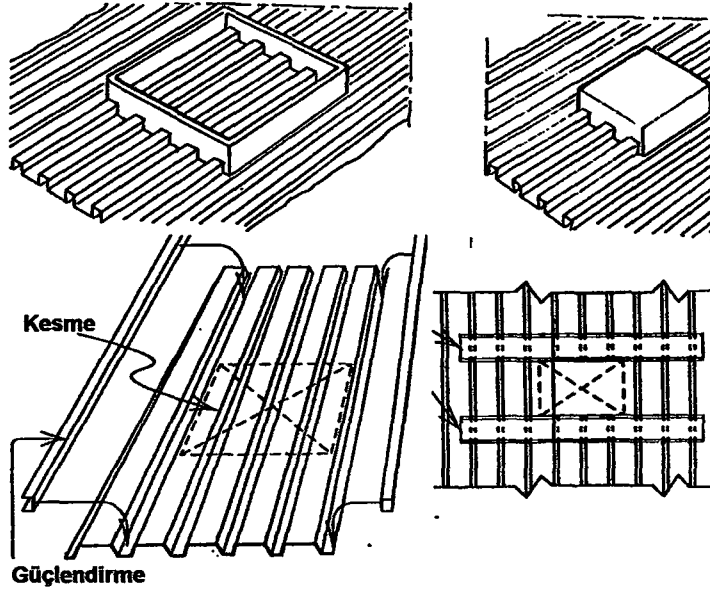
Kompozit döşemelerin tasarımında aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Çelik döşeme levhalarının yaş betonu taşıyıp taşımayacağı kontrol edilmelidir. Çünkü çelik levhalar ve yaş beton, yapım safhasında kompozit davranış göstermemektedirler.
- Kompozit döşemeler kullanım yükleri altında fazla sehim yapmamalıdır.
- Yapım aşamasında profillerin ortasına kesinlikle yükleme yapılmamalıdır. Mecbur kalındığında Şekil 4.43'te görüldüğü gibi kiriş üzerine yükleme yapılmalıdır.



Şekil 4.43 : Döşemelere etki eden montaj yüklerinin doğru biçimde yerleştirilmesi.[5]

- Döşemelere açılacak delikler profil şeklini bozmayacak biçimde ve makul boyutlarda açılmalıdır. Delik boyutlarının fazla olması durumunda delik etrafına korniyerlerden rijitleştirmeler yapılmalıdır (Şekil 4.44).

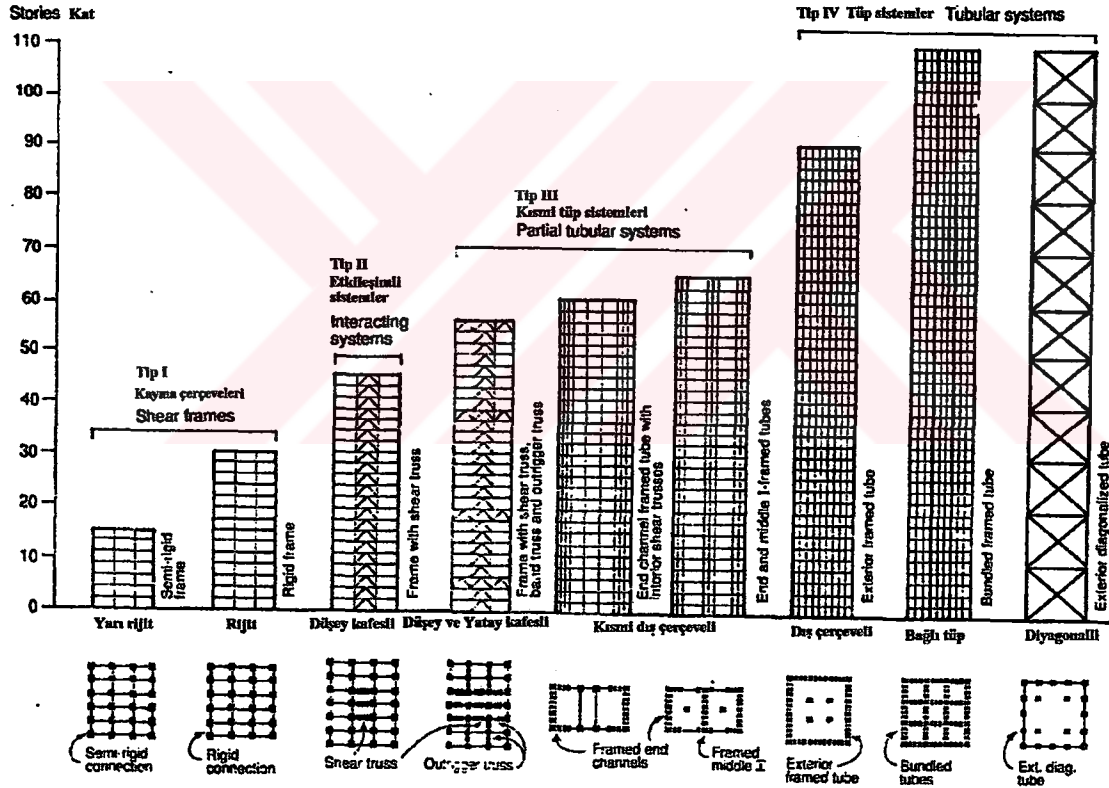


Şekil 4.44 : Döşemelere yapılabilecek delikler.[5]

BÖLÜM 5. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA KULLANILAN TAŞIYICI SİSTEMLER.

Çok katlı çelik yapıların tasarımında çeşitli tipte taşıyıcı sistemler kullanılmaktadır. Her bir taşıyıcı sistem tipinin kendine özgü avantajları ve uygulanabilme sınırları olup, taşıyıcı sistem seçiminde bu özellikler göz önünde bulundurulmalıdır.

Taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde tasarımı, yapı ağırlığı ve kullanım yükleri gibi düşey yükler ile, rüzgar veya deprem gibi yanıl yüklemelere karşı dayanıklı, verimli ve düşük maliyetli binaların inşaa edilmesini hedefler. Ekonomik taşıyıcı sistem tasarımında, uygun taşıyıcı sistemin seçilmesi, yapı elemanlarının ebatlarını küçültmeye tercih edilmelidir.



Şekil 5.1 : Taşıyıcı sistem çeşitleri ve uygulanabilir kat adetleri. [4]

Taşıyıcı sistemlerden istenen özellikler, yüksek verimlilik ve sistemler arasında minimum fiyat farkıdır. Şekil 5.1'de taşıyıcı sistem çeşitleri ve ekonomik biçimde uygulanabilen kat adetleri gösterilmiştir. Taşıyıcı sistem seçimi yapılırken, sistemlerin özellikleri ve uygulanabilir kat adetleri dikkate alınmalıdır.

Taşıyıcı sistemlerde, düşey yükler dolayısıyla kiriş çarpılmaları, kolon kısalmaları ve eğilmeler oluşabilmektedir. Yanal yükler ise, yapılarda yatay deplasmanlar ve burkulmalar meydana getirmektedir. Yüksek yapılarda ekonomik sistem tasarımı için hafiflik ve yeterli rijitliğin yanı sıra, eğilme ve deplasmanların sınırlandırılması da gerekmektedir.

Yapı sistemleri karşılaştırılırken rijitlik özelliklerinden yararlanılmaktadır. Yapılarda kullanılan taşıyıcı sistem çeşitleri aşağıda özetle açıklanmıştır[4];

- Kayma çerçevesi sistemi: Kolonlar, kirişler ve rijit düğüm noktalarından oluşan, birbirine dik akslar boyunca dizilen düzlem çerçevelerdir.

- Kayma kafesi sistemi: Çerçeve gözleri arasına yapılan diyagonal elemanların, düşey kafes perdeler oluşturacak şekilde yerleştirilmesiyle elde edilir.

- Kayma kafes ve çerçevesi etkileşimli sistemleri : Kayma çerçevesi ve kayma kafesinin, aynı sistemde birlikte kullanılmasıyla oluşturdukları etkileşimli sistemdir.

- Yatay kafes sistemi : Kayma çerçeveleri ve çekirdek bölgesine konulan düşey kafes perdelerle oluşturulan sistemde, bazı katlara yatay kafesler konulmasıyla meydana getirilir.

- Çerçevesi tüp sistemi : Bu sistemde bina cephesine, sık kolonlu ve rijit çerçeveler yapılarak tüp şekli verilmekte, iç kısımda geniş ve kapalı hacimler oluşturulmaktadır.

- Kafes tüp sistemi :Bu sistemin cephesinde rijit çerçevesi tüpler kullanılmakta olup, geniş açıklıklı kolonlar tüm cephe boyunca diyagonallerle bağlanmaktadır.

- Bağlı veya modüler tüp sistemi : Bu sistem çerçevesi ve kafesli tüplerin, kat adetleri farklı gruplar oluşturacak şekilde üst üste dizilmesiyle meydana getirilir.

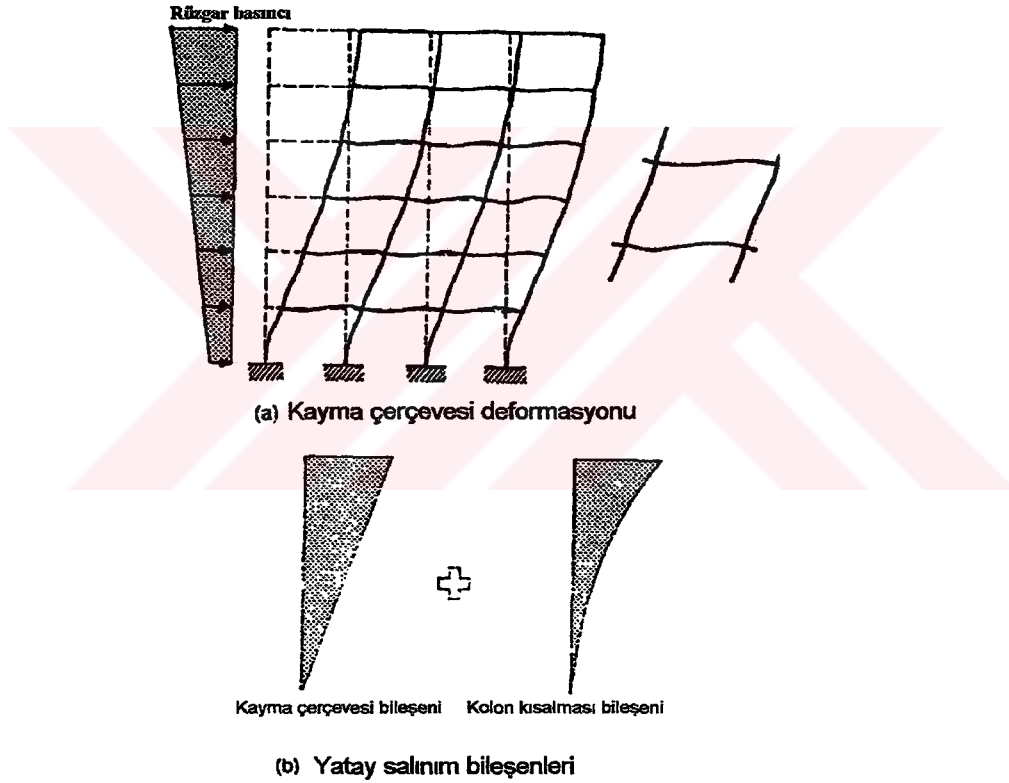
- Kompozit sistemler : Çelik çerçevelerin; betonarme çerçevesi tüplerle, betonarme çekirdeklerle veya betonarme perdelerle birlikte kullanılmasıyla oluşturulan sistemlerdir.

Tasarım yapılırken yapı sistemlerinin özellikleri dikkate alınmalı ve sistem seçimi aşağıda geniş biçimde açıklanan özelliklere göre yapılmalıdır.

5.1. Kayma Çerçevesi Sistemi.

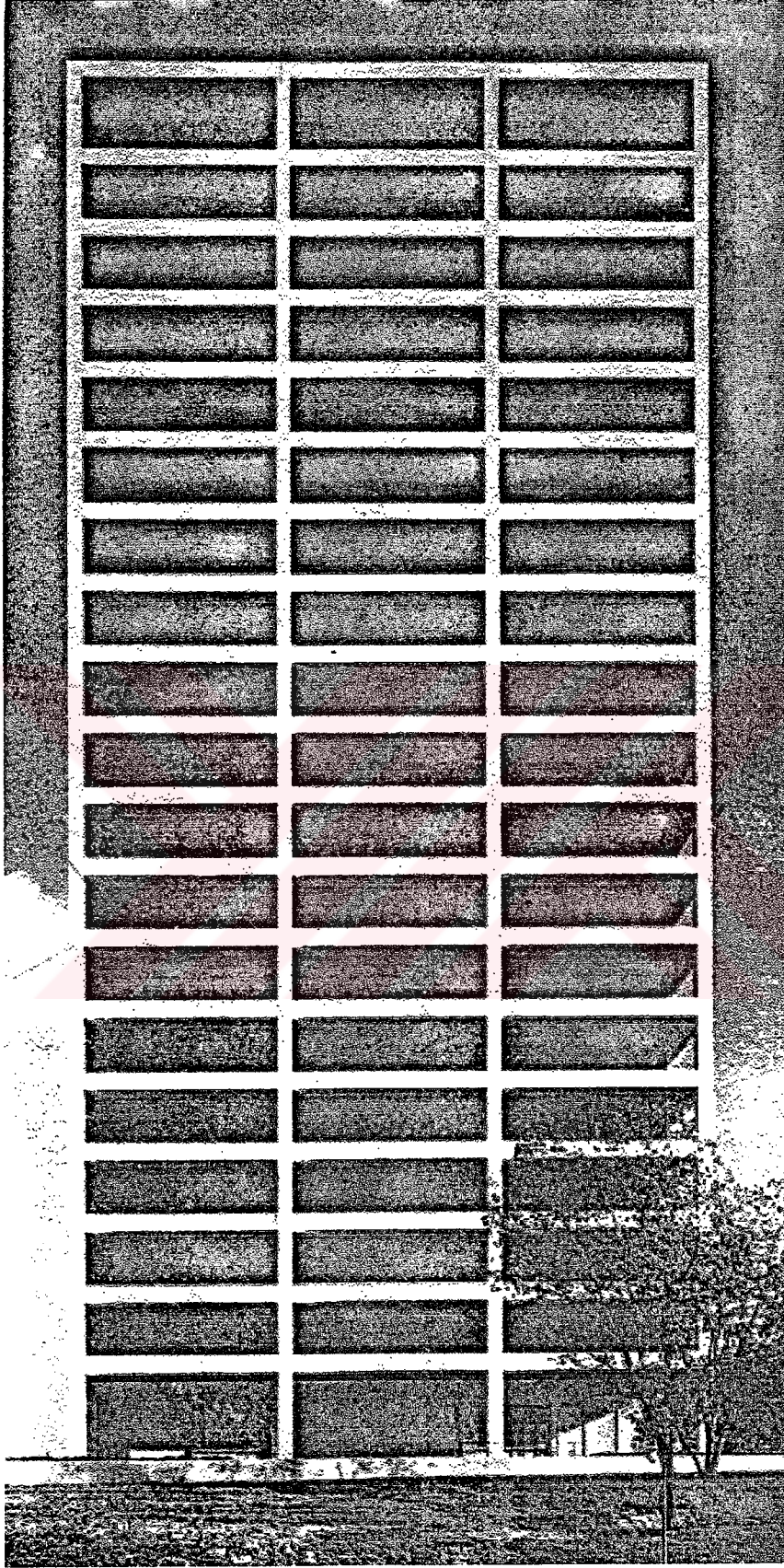
Kayma çerçeveleri veya diğer adıyla Vierendeel çerçeveleri, birbirine dik doğrultuda yerleştirilmiş rijit çerçevelerden oluşmaktadır. Rijit çerçevelerin tasarımında, kolon açıklıklarının boyutu, çerçevelerdeki açıklık sayısı, yapıda kullanılan çerçeve sayısı ve çerçeve elemanlarının derinliği gibi faktörler göz önünde bulundurulmaktadır.

Tüm yapı boyunca verimli ve ekonomik bir taşıyıcı sistem oluşturulabilmesi, kolon açıklıklarına ve eleman derinliklerine bağlıdır. Açıklık boyutlarının ve kat adedinin artırılması, aşırı ağır elemanların oluşmasına yol açmakta ve bu durum sistemin yanal yüklemelere karşı dayanımını ve uygulanabilirliğini sınırlandırmaktadır.



Şekil 5.2 : Kayma çerçevelerinin yanal yükler etkisiyle yaptığı deformasyonlar.[4]

Kayma çerçevelerinde yanal yüklemelerden dolayı oluşan deformasyonların ana nedeni, kolon ve kirişlerde meydana gelen eğilmeler ve kolon kısalmasının neden olduğu küçük deplasmanlardır (Şekil 5.2). Deplasmanların % 80-90'ı yapı elemanlarının eğilmelerinden dolayı meydana gelir. Bu yüzden kayma çerçevelerinin tasarımında, eğilme rijitliği yüksek elemanlar kullanılmalıdır.



Şekil 5.3 : Kayma çerçevesi örneği, Business Men's Assurance Kansas City.[4]

Kayma çerçevelerinin tasarımı, en elverişsiz yanal yükler dikkate alınarak yapılmaktadır. Her bir doğrultudaki toplam yanal kuvvetler, o doğrultudaki tüm çerçevelere, rijitlikleri oranında paylaştırılmaktadır. Her bir çerçeve de, karşı duracağı yanal kuvvete göre mukavemete ihtiyaç duymaktadır.

İlk çerçeve sistemlerinin tasarlandığı 1930'lu yıllarda, düzensiz ve sık biçimde yerleştirilmiş, değişik açıklıklara sahip çerçeveler ve ağır örme duvarlar kullanılmaktaydı. Modern yapıların başlamasıyla birlikte, hafif cephe giydirmeleri, yangın koruması için spreyci boyalar ve uygun aralıklı düzenli çerçeveler sıkça kullanılmaya başlandı.

Önceden yapılmış bazı binalarda dıştaki kolon yüzeyi, duvar bölmelerine ve cephe giydirme elemanlarına temel sağlamaktaydı. Ağır örme duvarların yerini ön gerilmeli beton duvarlar, metal paneller, taş kaplamalar ve cam cephe giydirmelerinin almasıyla, mimari açıdan daha estetik ve daha hafif yapılar elde edildi.

Kayma çerçeveleri kullanılarak 20 kata kadar olan binalar ekonomik biçimde uygulanabilmektedir. Şekil 5.3'te Kansas City'de yapılmış 19 katlı bir kayma çerçevesi örneği görülmektedir. Çerçeve profilleri yangından korunması amacıyla betonla kaplanmıştır.

20 katın üzerindeki yüksek yapılarda, yapı içindeki çerçeve kiriş derinlikleri, sabit kat yüksekliği elde etmek amacıyla servis oluklarıyla kesişebilir. Bu durumda kolon yerleşim bölgeleri ve kiriş derinliklerinin, daha serbest biçimde organize edilmesi gerekmektedir. Ancak bu durumda cephelerin dış mimarisi daha fazla düzenlemeye ihtiyaç göstermektedir.

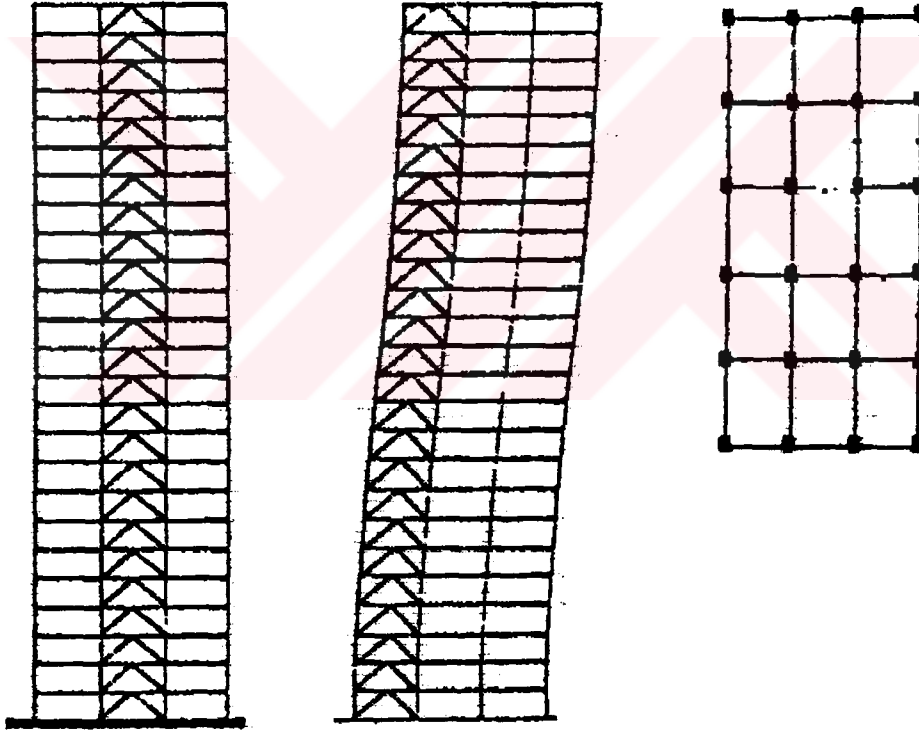
Kayma çerçevelerinin tüp yapılara göre pahalı ve daha az verimli olmasının nedeni, kullanılan çelik malzeme miktarlarının fazlalığı ve rijit çerçeve birleşimlerinin yapımının pahalı olmasıdır. Bu yüzden, çerçevelerin maliyetlerini düşürmek amacıyla, düğüm noktaları sayısının, bulonlu ve kaynaklı birleşimlerin ve eklemelerin sayısının minimum düzeyde tutulması gerekmektedir.

İkinci Dünya Savaşı ile birlikte yapım maliyeti ve inşaat işgücü maliyeti arttığundan, ekonomik yönden geçerliliği bulunmayan rijit bağlantı yöntemleri gittikçe azaltılmıştır.

5.2. Kayma Kafesi ve Kayma Çerçevesi Etkileşimli Sistemleri.

Bu sistemde kayma çerçevelerinin bazı düşey gözlerine, diyagonal elemanlar kullanılarak rijitleştirmeler yapılmakta ve kafes kiriş biçimi verilmektedir. Böylece moment aktaran rijit birleşimler, yanal yüklemeler etkisi altında daha az deplasman yapmakta, kolon ve kirişlerin eğilip bükülmeleri önlenmektedir.

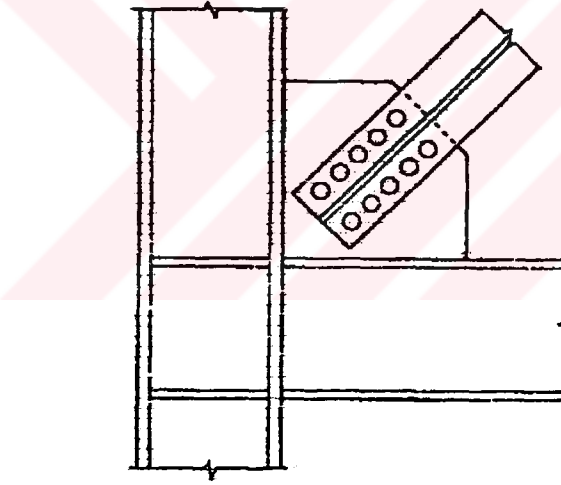
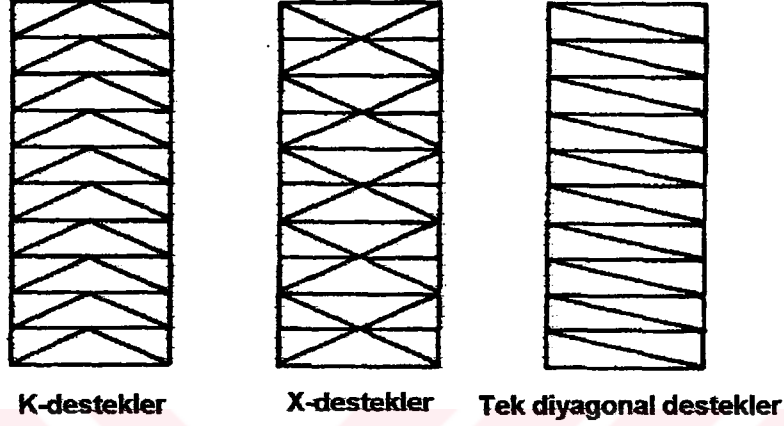
Kayma kafesi ve kayma çerçevesi etkileşimli sistemleri genel olarak, asansör, merdiven ve ıslak alanların yapının merkezine toplanması ve çekirdek bölgesindeki çerçevelerin, kafes biçimli perdeler oluşturacak şekilde diyagonal desteklerle birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Bu sistemlerin yapısal davranışı Şekil 15.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4 : Kayma kafesi ve kayma çerçevesi etkileşimli sistemleri.[4]

Yapısal bakış açısı olarak düşey kafesler, yanal yüklemelere karşı betonarme perde duvarlar gibi direnmekte olup, bu yüzden kayma çerçevelerinden daha verimlidirler. Bununla birlikte kafesli çerçeve sayısı yan yana dizilmiş asansör sayısına bağlı olarak değiştiği için, sistemin uygulanma alanı sınırlanmaktadır.

Kayma kafesi ve kayma çerçevesi etkileşimli sistemlerinde K-tipi destekler, X-tipi destekler ve tek diyagonal destek biçimleri kullanılmakta olup Şekil 5.5'te gösterilmiştir. K-tipi destekler düşey yüklerin taşınmasında diğerlerine göre daha az katkı sağlamakta ve yapılarda daha fazla kullanılmaktadır. K-tipi destekler, düşey yüklemeleri dikkate almadan, sırf yanal yüklemelere karşı direnim için projelendirilirler.

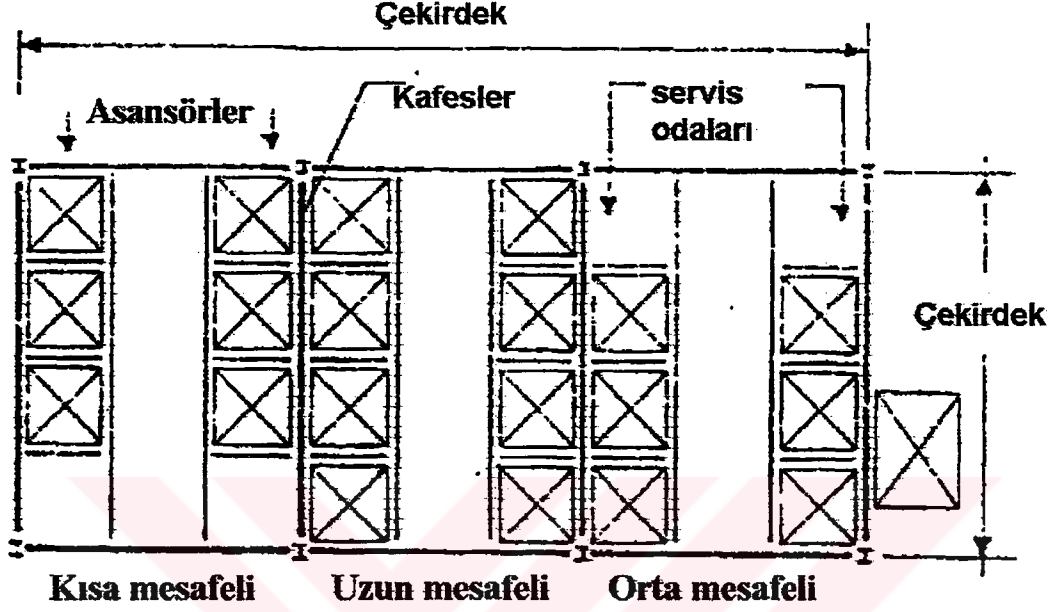


Şekil 5.5 : Yapılarda kullanılan diyagonal eleman çeşitleri.[4]

X-tipi destekler ve tek diyagonal destekler, düşey yüklemelerin hakim olduğu yapılarda kullanılmaktadır. Bu destekler genellikle iki doğrultuda, T veya U profilden yapılmakta olup, atölyede kaynaklanan köşe levhasına bulonlar yardımıyla tutturulmaktadır.

Diyagonalli düşey kafeslerin verimliliği, kafeslerin derinliğine ve sayısına bağlıdır. Kayma çerçeveleri ve düşey kafeslerin birlikte kullanılmasıyla, ekonomik olarak uygulanabilir yükseklik 40 kata kadar çıkmaktadır.

15-20 kattan daha yüksek binalarda, çok sayıda asansör kullanma ihtiyacı nedeniyle, çekirdek bölgesinde birden fazla düşey kafes kullanımına izin verilmektedir. Şekil 5.6'da 40 katlı bir binada çekirdek içine yerleştirilmiş kısa, orta ve uzun mesafeli asansörlerin düzenleniş biçimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Yüksek yapılarda çekirdek bölgesine yerleştirilmiş asansörler.[4]

Etkileşimli sistemlerde, kayma çerçevelerinin oluşturduğu lineer yatay deplasmanlar ile düşey kafeslerin oluşturduğu parabolik yatay deplasmanlar süperpoze edilmekte ve bu sayede verimli bir eğilme biçimi oluşturulmaktadır.

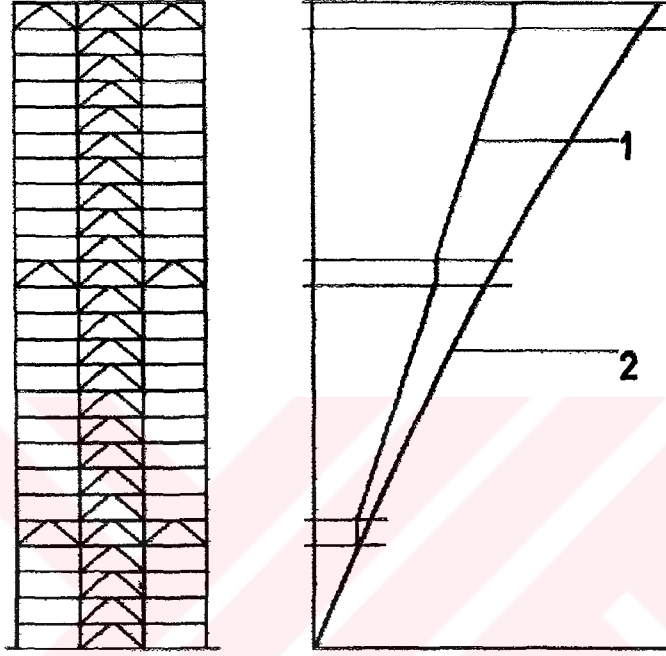
Bu etkileşimin varlığı 1960'lı yıllarda, bu sistemde dizayn edilmiş bir yapının statik hesaplarının tamamlanmasıyla açığa kavuşturulmuştur. Yapımı tamamlanan 30-35 katlı birçok bina üzerinde yapılan gözlemlerle de etkileşimli sistemlerin özellikleri belirlenmiştir.

Bu tip etkileşimli sistemler, üç boyutlu çerçeve analiz programlarının geliştirilmesiyle yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kayma kafesi ve kayma çerçevesi etkileşimli sistemlerinde döşemeler, tüm çerçevelere rijit olarak bağlanmaktadır. Döşemelerin deformasyonu, iki doğrultuda yanal yer değiştirme ve dönme olarak tanımlanabilir.

Çerçeveler ve kafes kirişler, taşıyıcı sistemde istenilen rijitliği sağlayabilmek için değişik biçimlerde yapılabilmektedir. Bu özellik, yapısal bileşenleri düzenlemede önemli bir şekil esnekliği ve yapı boşluklarını istenilen bölgelerde bırakabilme kolaylığı sağlar.

5.3. Yatay Kafes Sistemi.

Yatay kafes sistemi; kayma çerçeveleri ve çekirdek bölgesine konulan düşey kafes perdelerle oluşturulan etkileşimli sistemde bazı katlara, düşey ve yanal yüklemelere direnmesi amacıyla, yatay kafesler konulmasıyla elde edilir. Bu sistem ile 45 kata kadar olan yapılar ekonomik biçimde inşa edilebilmektedir.

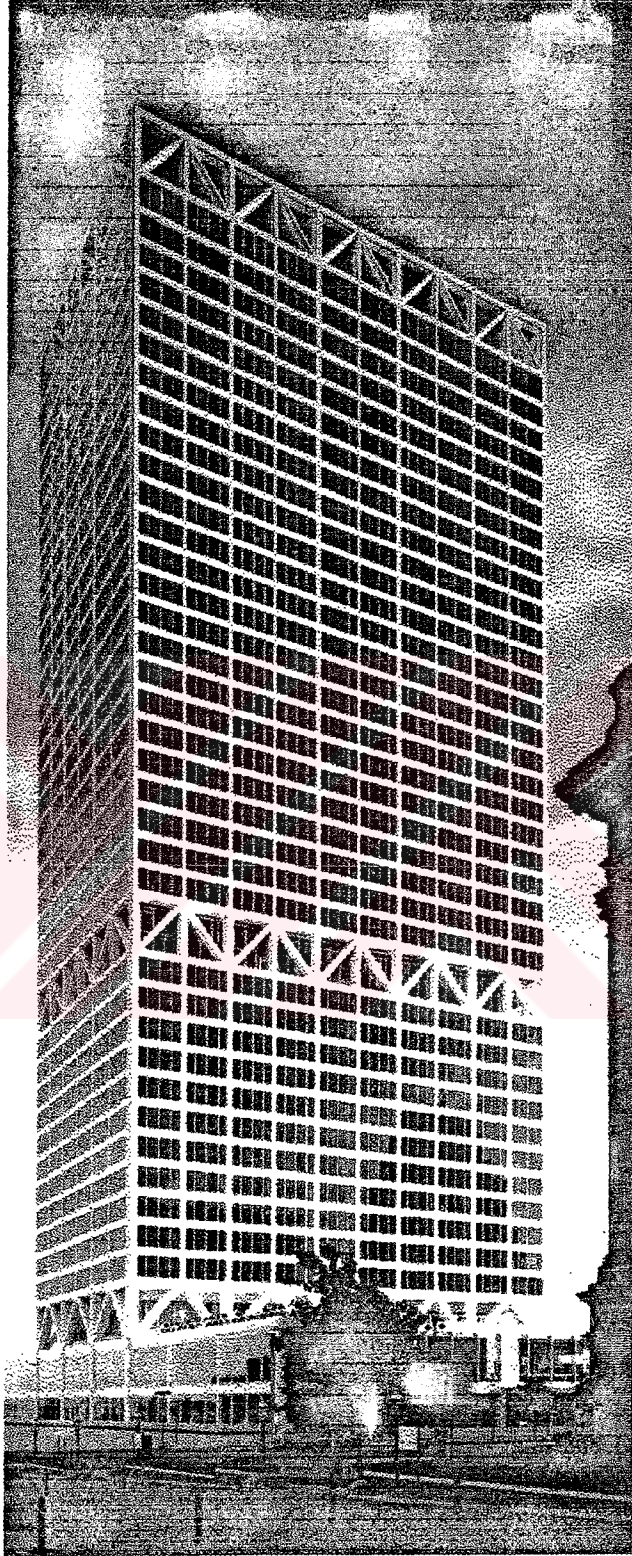


Şekil 5.7 : Yatay kafesli sistemin yanal yüklemeler etkisiyle yaptığı salınımlar.[3]

Dış cephedeki kayma çerçeveleri ve çekirdek etrafındaki düşey kafesler, yatay kafesler ile bağlanarak geniş iç hacimli ve üç boyutlu bir sistem meydana getirmektedir. Şekil 15.7'de yatay kafesli sistemin düzenlenmesi gösterilmiştir.

1 numaralı eğri yatay kafesli çerçeve sisteminin yanal yüklemeler etkisiyle yaptığı yatay deplasmanları göstermekte olup, yatay kafeslerin bulunduğu bölgelerde yatay deplasmanlar önlendiğinden, sistemin salınım genliği daha düşüktür. 2 numaralı eğri ise kayma kafesi ve kayma çerçevesi etkileşimli sistemlerinin yanal yüklemeler etkisiyle yaptığı yatay deplasmanları göstermektedir. Bu sistemde salınım genliği daha yüksektir.

Yatay kafes sisteminin kullanılması sonucunda dış kolonların da yapı rijitliğine katkısı sağlanmış olup, yapı rijitliği %25 oranında artırılabilir. Geniş cephelerde kullanılan yatay kafesler ise sistem davranışına dış çerçevelerin de katılmasını sağlar.

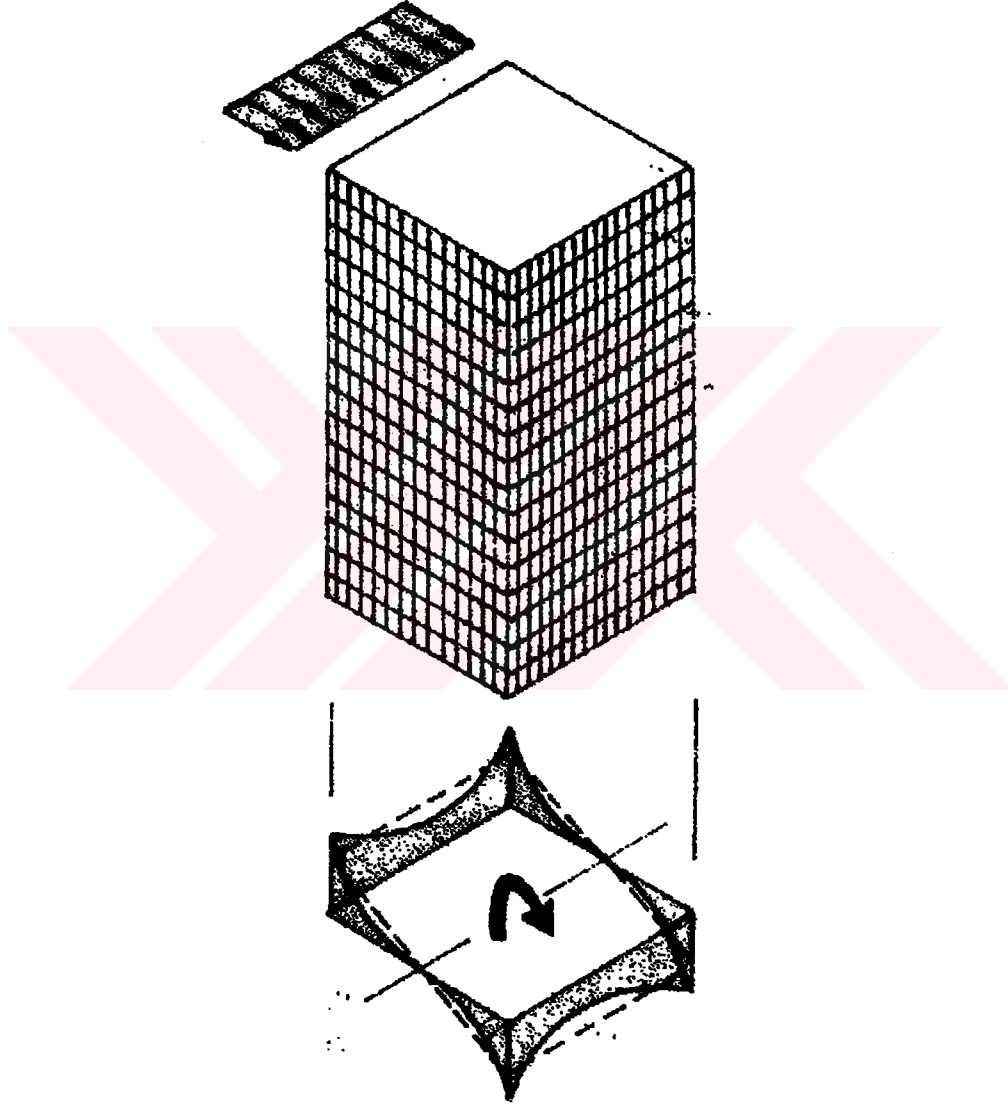


Şekil 5.8 : Yatay kafes sistemi örneği. First Wisconsin Center, Milwaukee.[3]

Yatay kafeslerin ve kayma çerçevelerinin, yapının dış mimarisini oluşturduğu 42 katlı bina örneği Şekil 15.8’de görülmektedir. Bu yapının taşıyıcı sisteminde yanal yüklemel etkisiyle oluşan yatay salınımlara karşı rijitlik yeterli derecede iyidir.

5.4 Çerçevesi Tüp Sistemi.

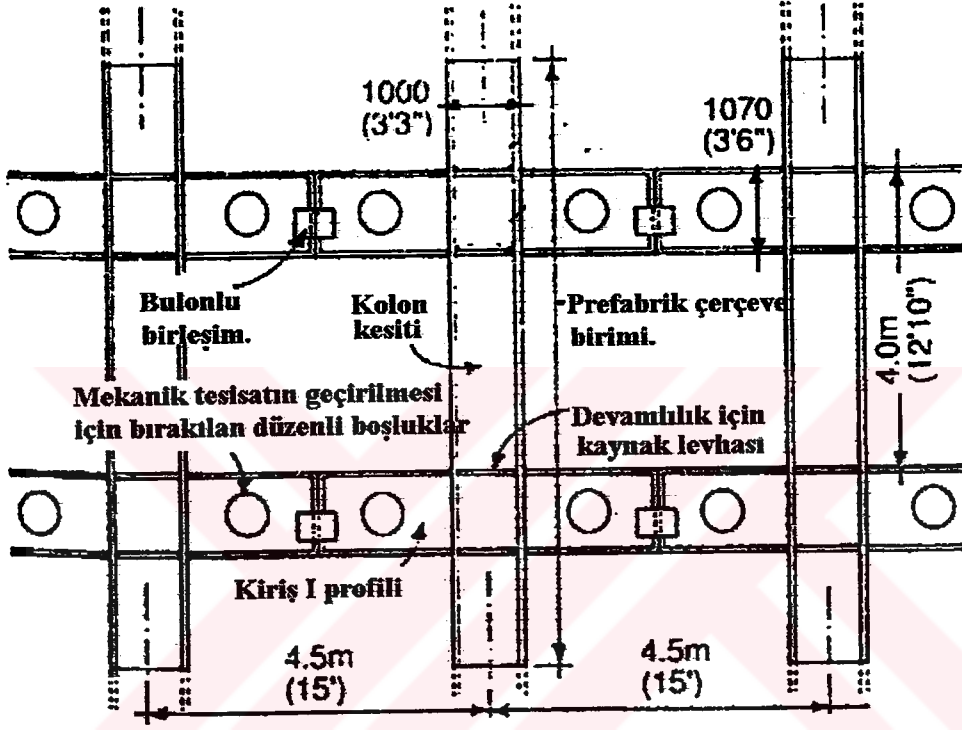
Rijit kayma çerçevesi kolon ve kirişlerinin, yapıyı güçlendirmek ve kolonlar tarafından kapalı hacim oluşturmak amacıyla sıklaştırılmasıyla ve dış çerçevelerin geniş kirişlerle donatılmasıyla oluşturulan yapı sistemine, çerçevesi tüp sistemi denir. Çerçevesi tüplerin kullanımı, toplam salınım ve eğilmeleri, rijit kayma çerçevelerine göre % 25 oranında azaltabilmektedir.



Şekil 5.9 :Yanal kuvvetlerin dış cephede oluşturduğu lineer olmayan gerilme dağılımı.[18]

Çerçevesi tüp sistemlerde kayma ötelemesinin tüp yapı davranışına etkisi sonucunda, dış cephe boyunca lineer olmayan bir basınç dağılımı meydana gelmektedir. Bu nedenle yapının köşe kolonları, ara kolonlardan daha fazla yük taşımaktadır(Şekil 5.9).

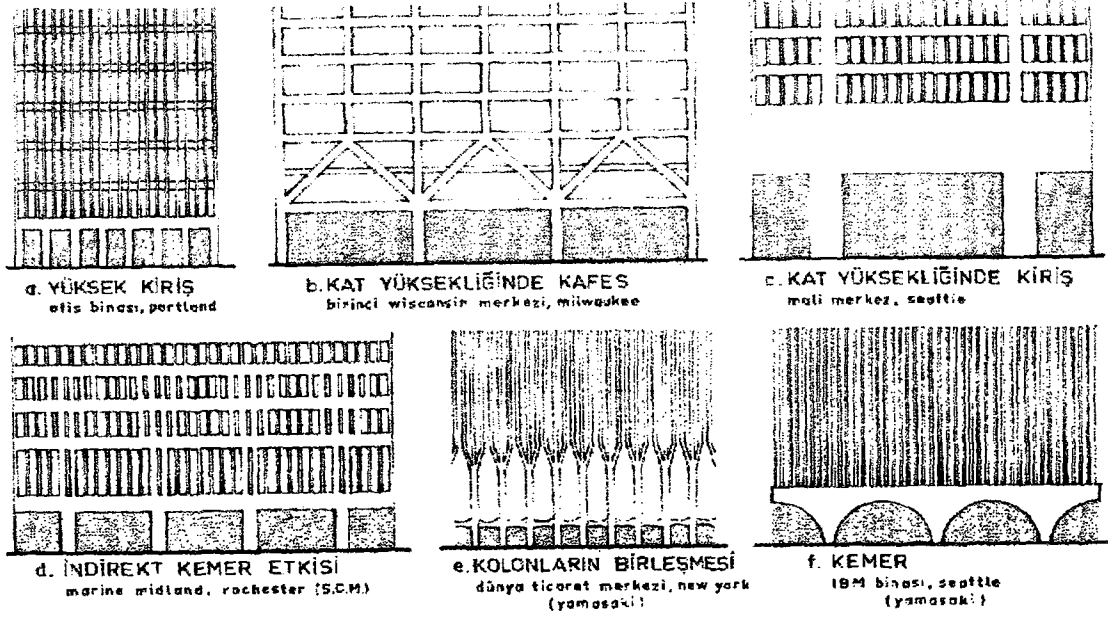
Çerçevesiz tüp sistemler ilk defa 1960'lı yıllarda betonarme olarak ve sık aralıklı kolonlarla yapılmıştır. Tüp taşıyıcı sistem çelik yapılar için sonradan benimsenmiştir. Betonarme yapıda rijit noktaların teşkili, betonarmenin tek parça olarak dökülmesiyle kolayca elde edilebilmektedir. Çelik yapılarda ise rijit bağlantılar, kaynaklı veya öngerilmeli bulonlu birleşimlerle ve derin elemanlar kullanılarak yapılmaktadır.



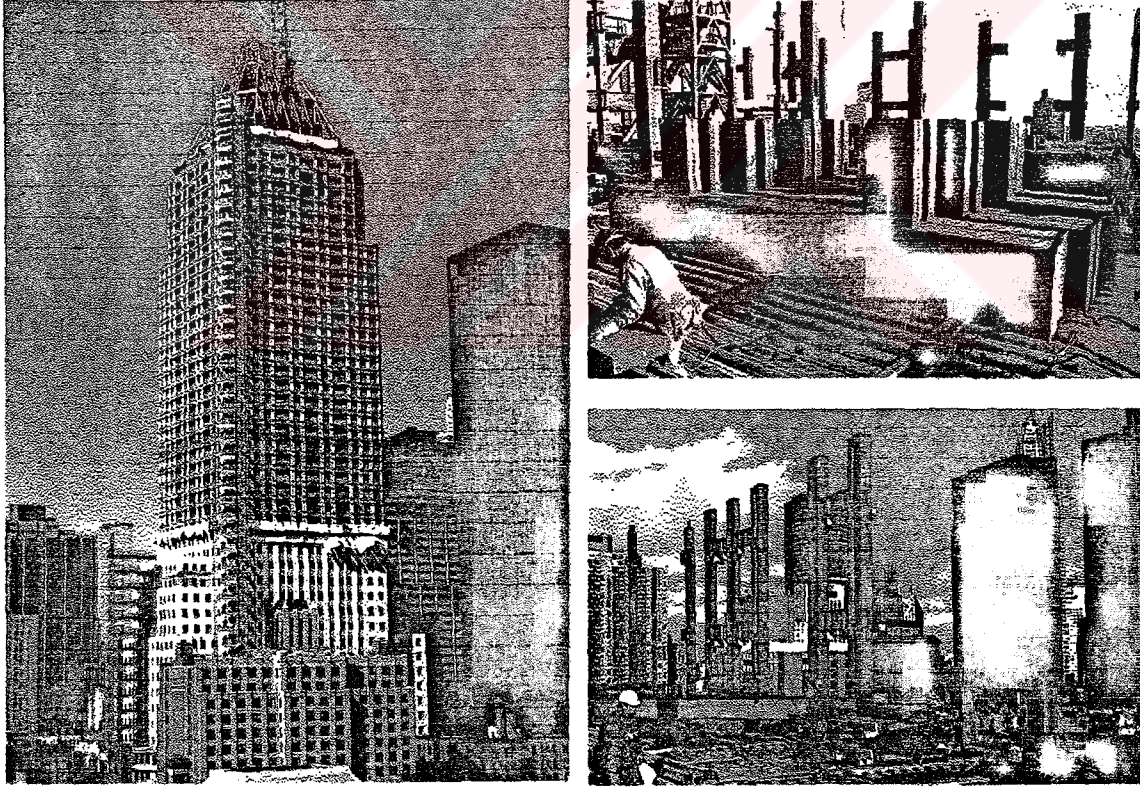
Şekil 5.10 : Prefabrik, çerçevesiz tüp yapı elemanları.[4]

Çerçevesiz tüplerde prefabrik elemanlar kullanılabilir. Prefabrik tüp yapı elemanlarının birleştirilmesi Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Kaynaklama işlemlerinin atölyede ve yatay pozisyonda yapılabilmesi nedeniyle çelik çerçevesiz tüpler, prefabrik elemanlar kullanılarak daha pratik ve ekonomik biçimde yapılabilir. Bu sistemlerde kolon ek yerleri, kat yüksekliğinin ortasından, bulonlarla birleştirilir. Eğer planlı bir çalışma yapılırsa, bir haftada 3 veya 4 katlı bir çerçevenin montajı bitirilebilir.

Çerçevesiz tüp yapılarda kolonlar, iç kısımda geniş kolon açıklığı bırakabilmek için, 3 - 4,5 metre aralıklarla yerleştirilmektedir. Gerekli durumlarda zemin katlardaki kolonlar, Şekil 5.11'de görüldüğü gibi birleştirilebilir.

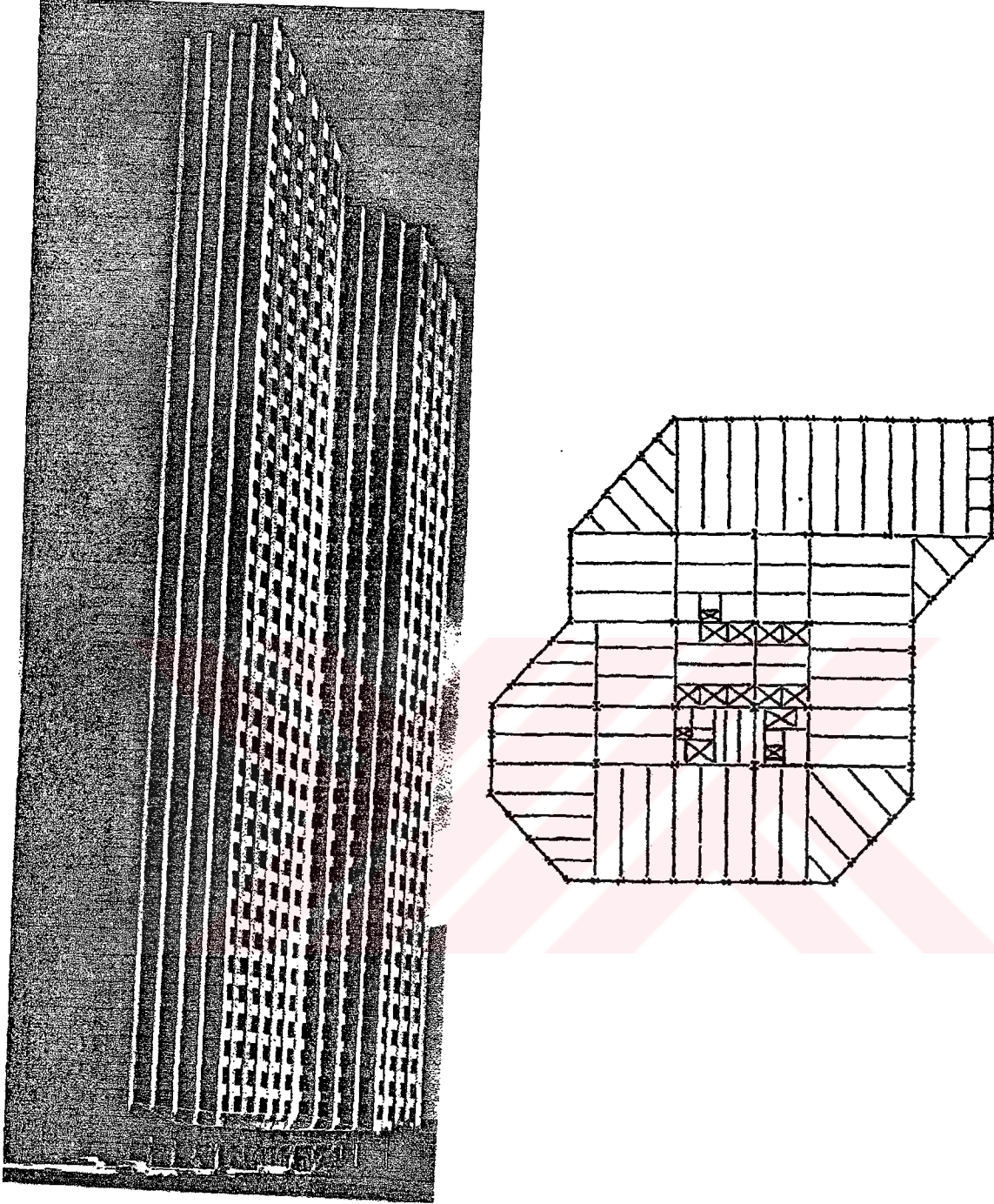


Şekil 5.11 : Zemin kat kolonlarının birleştirilmesi.[18]



Şekil 5.12 : Prefabrik elemanlarla yapılmış çerçevesiz tüp yapı. Worldwide Plaza, New York.[3]

Prefabrik tüp yapı elemanları ile inşaa edilmiş New York şehrindeki Worldwide Plaza Şekil 5.12'de görülmektedir. Prefabrik elemanların genişliği 3,35m uzunluğu 7,8m olup, elemanların montajı şekilde görülmektedir.

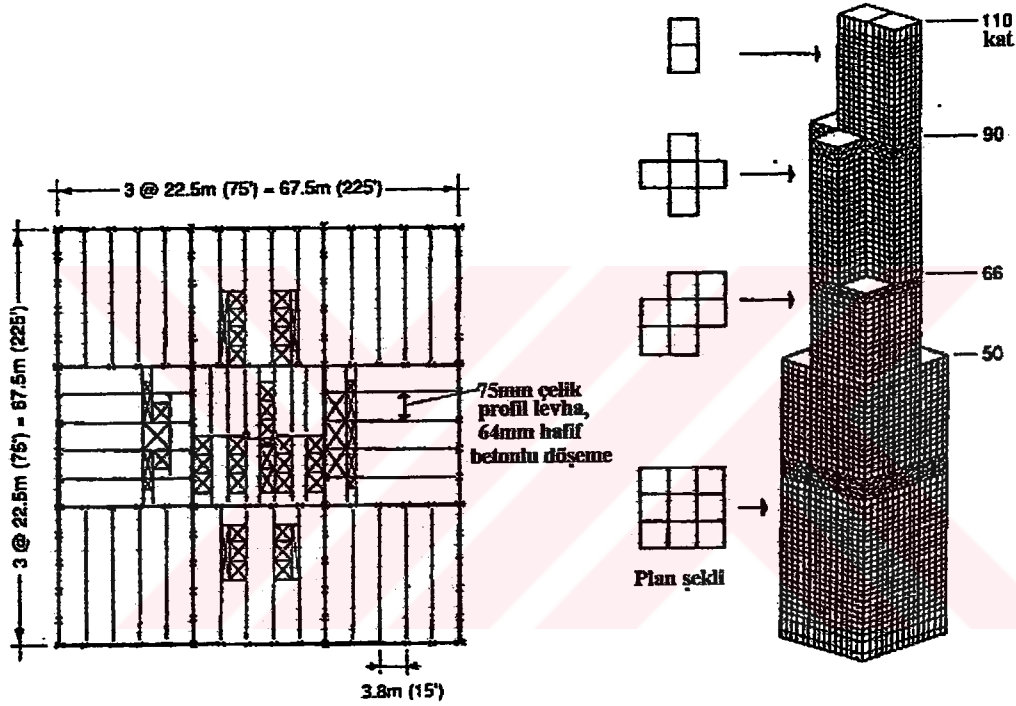


Şekil 5.13 : Çerçevesiz tüp sistemi örneği. Sixty State Street binası Boston.[4]

Çerçevesiz tüp yapılarla 30 ila 110 kata kadar olan binalar ekonomik biçimde inşa edilebilmektedir. Tüp yapılar için iyi bir örnek, Boston'daki 45 katlı bir büro yapısı olan Sixty State Street binasıdır(Şekil 15.13). Bu binanın çerçeveleri, 3 metre kolon yüksekliğine sahip prefabrik yapı elemanlarının montajı ile meydana getirilmiştir. Tüm iç çerçeveler basit bağlantılı olup taşıyıcı sistemin çelik sarfiyatı 88 kg/m^2 dir.[4]

5.5 Bağlı Tüp veya Modüler Tüp Sistemi.

Bu tip taşıyıcı sistemler, her biri farklı yükseklikteki küçük boyutlu tüp yapı parçalarının, üst üste bindirilmesi veya bağlanmasıyla oluşturulan asimetrik sistemlerdir. Modüler tüplere tipik bir örnek olarak, Şekil 15.14'te plan ve cephe durumu gösterilen Şikago'daki Sears Tower binası verilebilir. Bu bina 22,5 metre genişliğinde 9 adet kare bloktan meydana gelmiş olup her bir blok farklı bir seviyeye kadar yükseltilmiştir.



Şekil 5.14 : Modüler tüp sistemi örneği. Sears Tower binası, Şikago.[4]

Bu yapıda her bir blok 3,8 metre genişliğinde kompozit kirişlerle donatılmış olup döşemelerde 75mm kalınlığında çelik profil levha ve 64mm kalınlığında hafif beton kullanılmıştır. Tüpün dış kısmındaki sık dizilmiş kolonlar, kesme kuvvetini taşımaktadır.

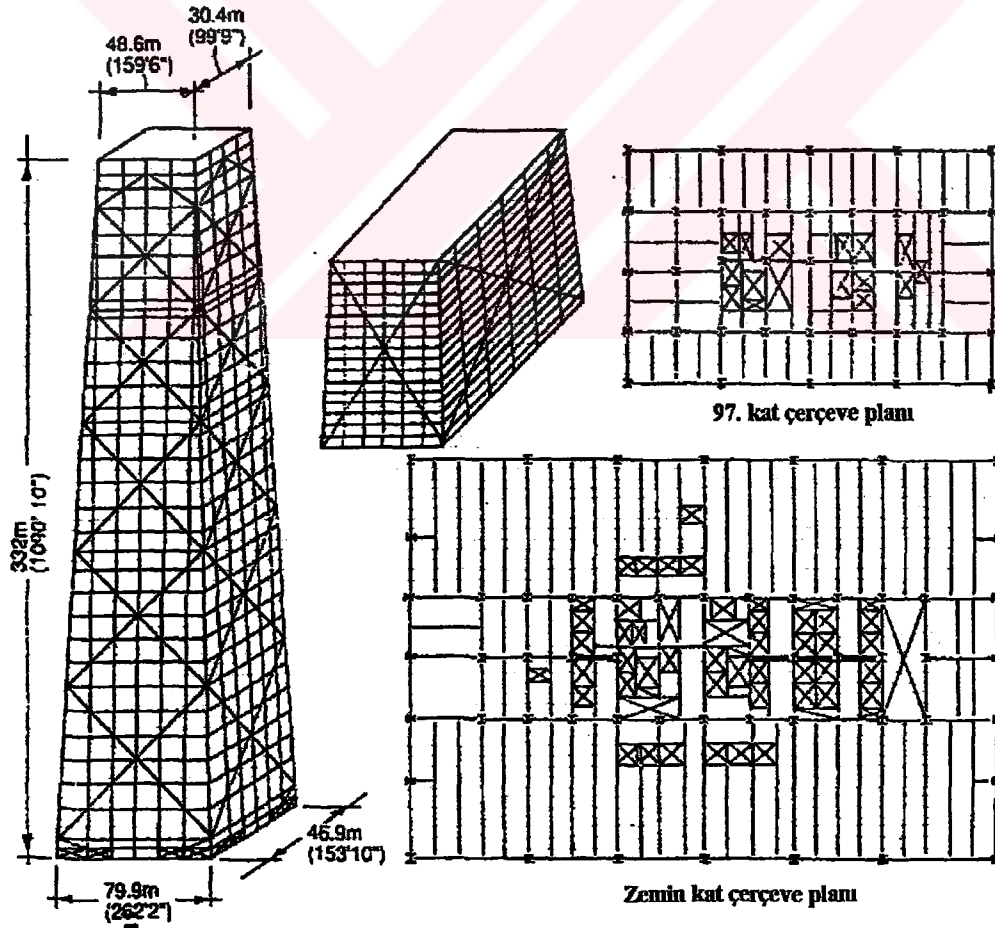
Bu sistemde hem güçlü bir yapı sistemi oluşturulmakta, hem de geniş iç hacim elde edilebilmektedir. Bu sistemde bazı katlar yatay kafeslerle bağlanmıştır. Bağlı tüplerle 130 kata kadar yapılar, ekonomik biçimde tasarlanabilmektedir.

5.6. Diyagonalli Tüp Sistemi.

Bu tip yapılarda çerçevesiz tüp sistem elemanları kullanılmakta olup, dış cephedeki kolon ve kirişler diyagonal destek elemanları ile birbirine bağlanmıştır. Bu sistem ilk defa Şikago'daki John Hancock Center binasında uygulanmış olup, 100 katlı bu binanın detayı Şekil 15.15 ve Şekil 15.16'da görülmektedir.

Bu sistem gerçek kafes tüp sistem olarak adlandırılmaktadır. Yüzeysel diyagonaller kendi düzlemlerinin yanı sıra diğer cephelerdeki diyagonallerle de etkileşim halinde olduğu için, taşıyıcı sistem tüp yapı davranışı göstermektedir.

Kafesli tüp sistemin en önemli avantajı çerçevesiz tüplerdeki gibi yakın aralıklı kolonlara ihtiyaç göstermemesidir. Örneğin John Hancock Center binasının geniş cephesi 12m, dar cephesi 7,5m. kolon açıklığına sahiptir.



Şekil 5.15 : Diyagonalli tüp sistemi detayı.[4]



Şekil 5.16 : Diyagonalli tp sistemi rneği. John Hancock Center, Şikago.[4]

Diyagonalli tüplerin diğer bir avantajı da iç kısımlarda geniş kolon açıklıkları kullanılabilmesi dolayısıyla daha ferah ve geniş iç hacimler elde edilebilmesidir.

100 katlı ve 332 metre yüksekliğindeki John Hancock Center binası için elik sarfiyatı 140 kg/m² olup yapının projelendirilmesinde düşey yüklemelerin rolü yanal yüklemelerden daha fazladır. Bu sistemde basit üretim ve inşaa teknikleri kullanılması ve birleşimlerin atölyede gerekleŐtirilebilmesiyle, ekonomik bir yapı elde edilmiştir.

5.7. Kompozit Yapı Sistemleri.

Çok katlı çelik yapı sistemleri ve özellikleri yukarıda açıklanmıştır. Çelik yapıların hafif olması, hızlı inşaa edilebilmesi ve mukavemetinin yüksek olması gibi avantajları olmakla birlikte, çelik malzemenin pahalı olması ve işçiliğinin zor olması gibi dezavantajları da vardır. Bu nedenle kompozit yapı sistemleri meydana getirilerek daha verimli ve ekonomik yapı tasarımı yapılabilmektedir.

Kompozit yapı tasarımında çelik malzemenin yanında kullanılan diğer malzeme betonarmedir. Betonarmenin ucuz olması, basınç mukavemetinin yüksek olması ve betonarmeden yapılan kolon ve çekirdek elemanlarının eğilme rijitliğinin fazla olması gibi avantajları vardır. Bu yüzden, yüksek yapıların tasarımında betonarmenin bu avantajlarından yararlanmak mümkündür.

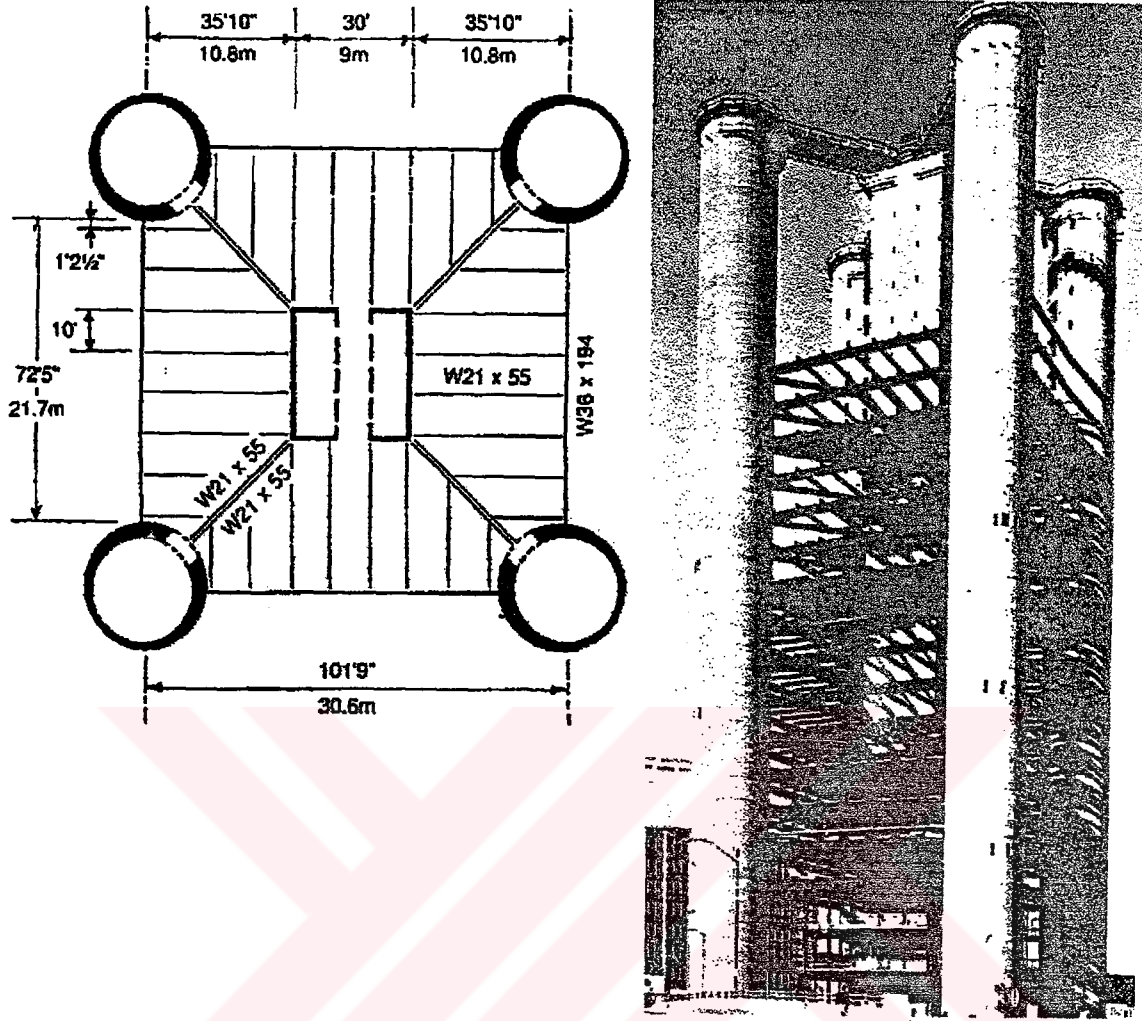
Kompozit yapı sisteminin, ekonomik biçimde ve yapının kullanım amacına uygun tasarlanması büyük önem taşımaktadır. Betonarme ve çelik yapı elemanlarının birlikte çalıştırılmasıyla oluşturulan kompozit yapı tipleri aşağıda özetle açıklanacaktır.

5.7.1. Betonarme çekirdek veya perde duvarlı kompozit çelik çerçeveler.

Bu kompozit yapı tipinde bina cephesinde betonarme kolonlar veya yapının çekirdek bölgesinde betonarme perdeler kullanılmaktadır. Ayrıca her iki kolon sistemi bir arada kullanılabilir. Diğer çerçeveler ise çelik profillerden yapılmaktadır. Bu yapı sisteminde betonarme kolonlar yanal yükleri taşımakta ve yangına karşı dayanıklılık sağlamaktadır. Çelik çerçeveler ise düşey yüklerin taşınmasında kullanılır.

Çekirdek bölgesinde kullanılan perdeler, asansör, merdiven ve tuvaletlerin etrafına yapılmakta olup bu kısımda yangına karşı koruma sağlar. Bu perdelerin avantajı, yanal yüklere karşı rijit yapı sistemi oluşturduğundan yapının yatay deplasmanlarını azaltmasıdır. Bu sistemle geniş açıklıklı çerçeveler kullanılabilir ve inşaat hızlı biçimde yapılabilir.

Bina cephesine betonarme kolonlar yerleştirilerek oluşturulan kompozit yapı sistemine örnek olarak, Şekil 5.17'de görülen Knights of Columbus binası verilebilir. Bu yapıda dış köşelerde geniş çaplı betonarme kolonlar ve iç kısımda betonarme çekirdek duvarlar kullanılmaktadır. Bu sayede 21,7m. kolon açıklığı olan ferah bir yapı tasarlanabilmiştir.

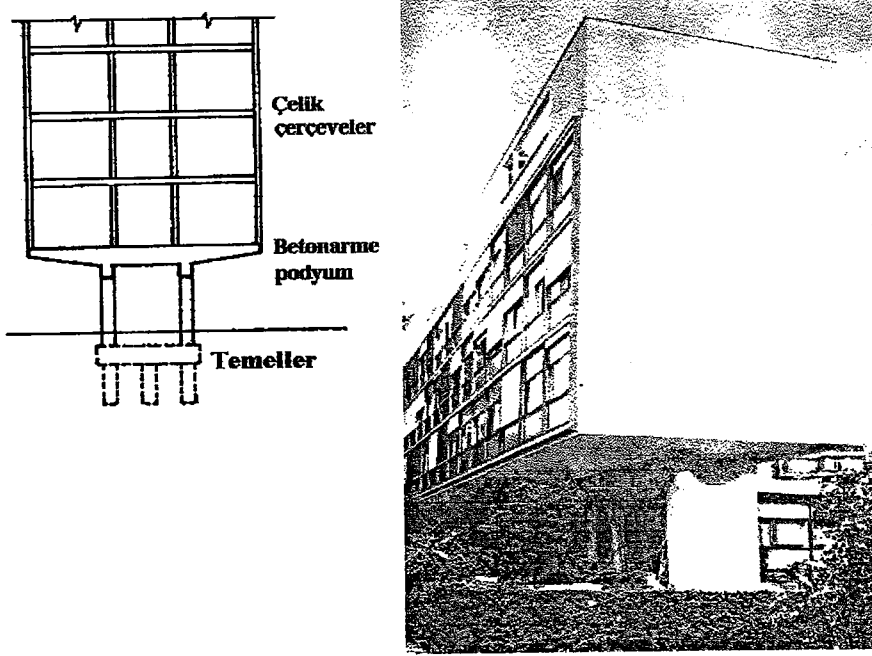


Şekil 5.17 : Betonarme çekirdek ve perde duvarlı çerçeve. Knights of Columbus.[4]

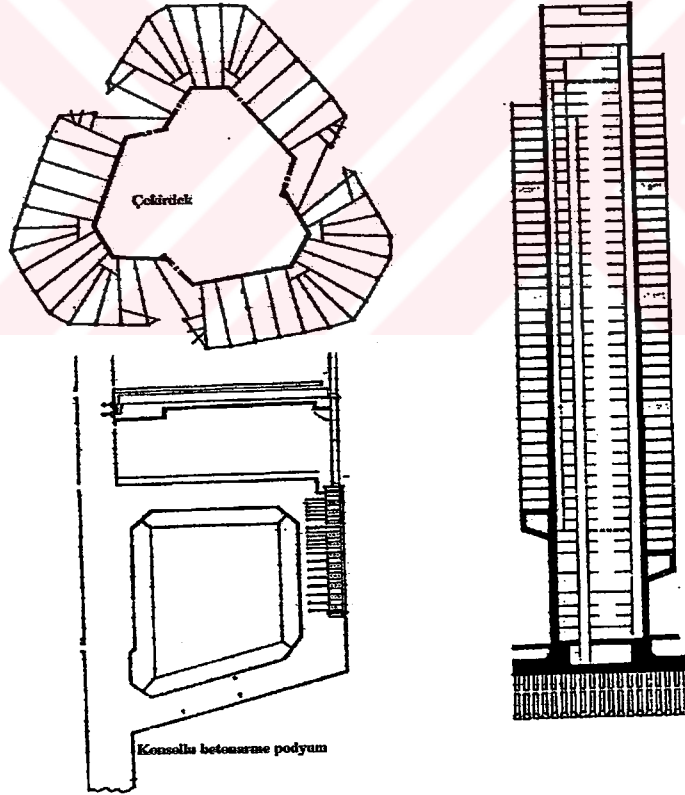
5.7.2. Betonarme podyum ve üstte çelik çerçevesi kompozit yapı sistemi.

Bu tip taşıyıcı sistemde temeller, bodrum, zemin kat ve birinci kattaki podyum adı verilen derin döşeme platformu betonarmeden inşaa edilmektedir. Üst kısımda ise çelik çerçeveler kullanılmaktadır. Bu tip sistemler zemin durumu kötü olan bölgelerde yapılmakta olup düşey yükler podyum tarafından zemine aktarılmaktadır.

Betonarme podyumlu kompozit yapı sistemine örnek olarak Şekil 5.18'de görülmekte olan Pavillon Suisse Paris binası verilebilir. Bu tip binalarda betonarme yapı bölümleri tamamlandıktan sonra çelik yapı bölümleri inşaa edildiğinden, yapı kısımları farklı yüklenicilere yaptırılabilir.



Şekil 5.18 : Betonarme podyumlu kompozit yapı örneği. Pavillon Suisse, Paris.[4]



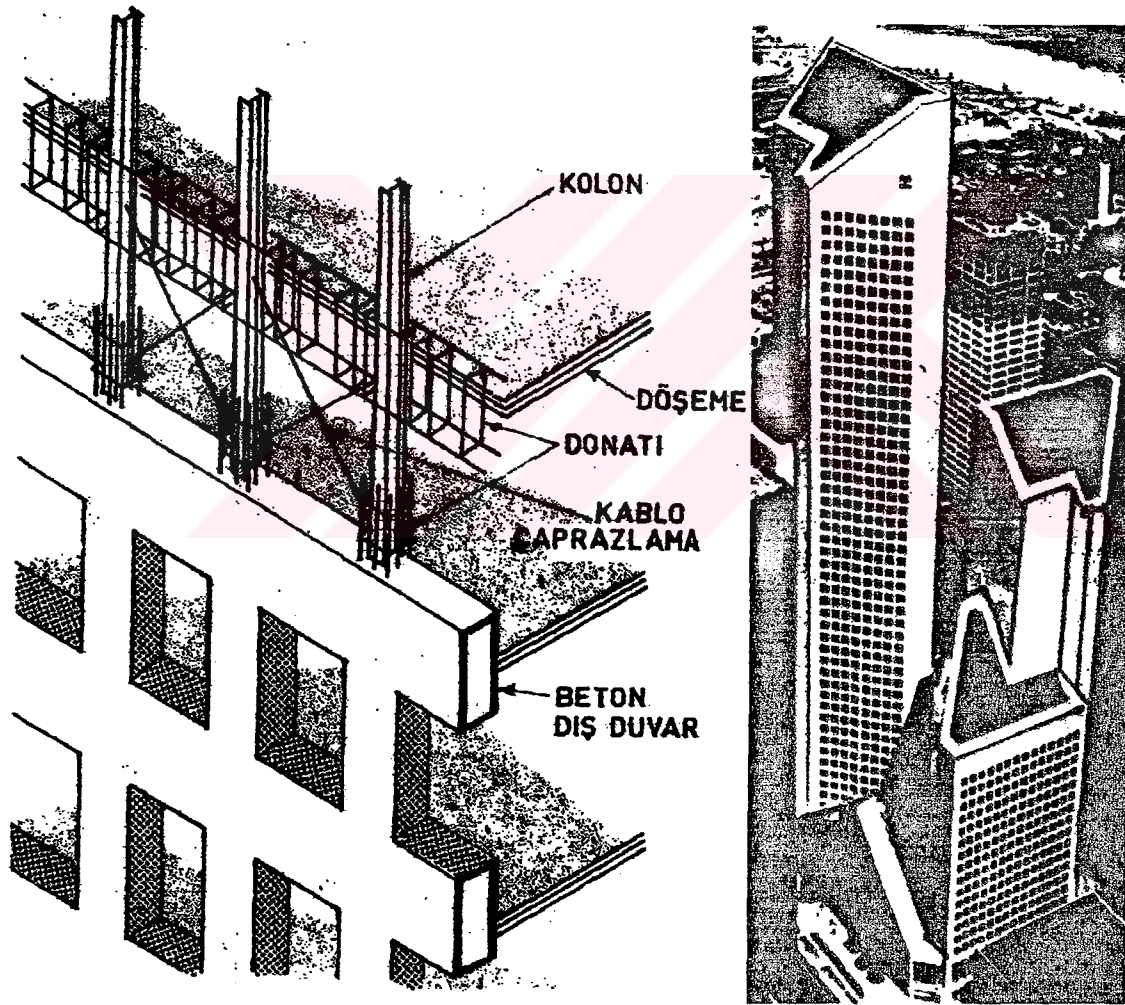
Şekil 5.19 : Betonarme podyumlu ve çekirdekli kompozit yapı. Nat West Tower Londra.[4]

Şekil 5.19'da görülen Londra'daki Nat West Tower binasında, birinci katta konsollu betonarme podyum kullanılmakta ve iç kısımdaki betonarme çekirdek, temelden çatıya kadar devam etmektedir.

5.7.3. Betonarme tüplü kompozit yapı sistemi.

Bu tip taşıyıcı sistemde betonarme tüp yapı sistemi tüm cephe boyunca uygulanmakta olup iç kısımda çelik çerçeveler kullanılmaktadır. Betonarme tüp tüm yanal kuvvetleri alarak zemine aktarmakta olup düşey yükler çelik çerçeveler tarafından taşınmaktadır. Bu sisteme örnek olarak, Şekil 5.20'de Canadian Center binası görülmektedir.

Kompozit kolonlu tüp yapıda cephe kirişleri betonarmeden yapılmıştır. Tüp yapı kolonlarının çelik profil ve beton kullanılarak kompozit biçimde yapılması Şekil 5.20'de görülmektedir.



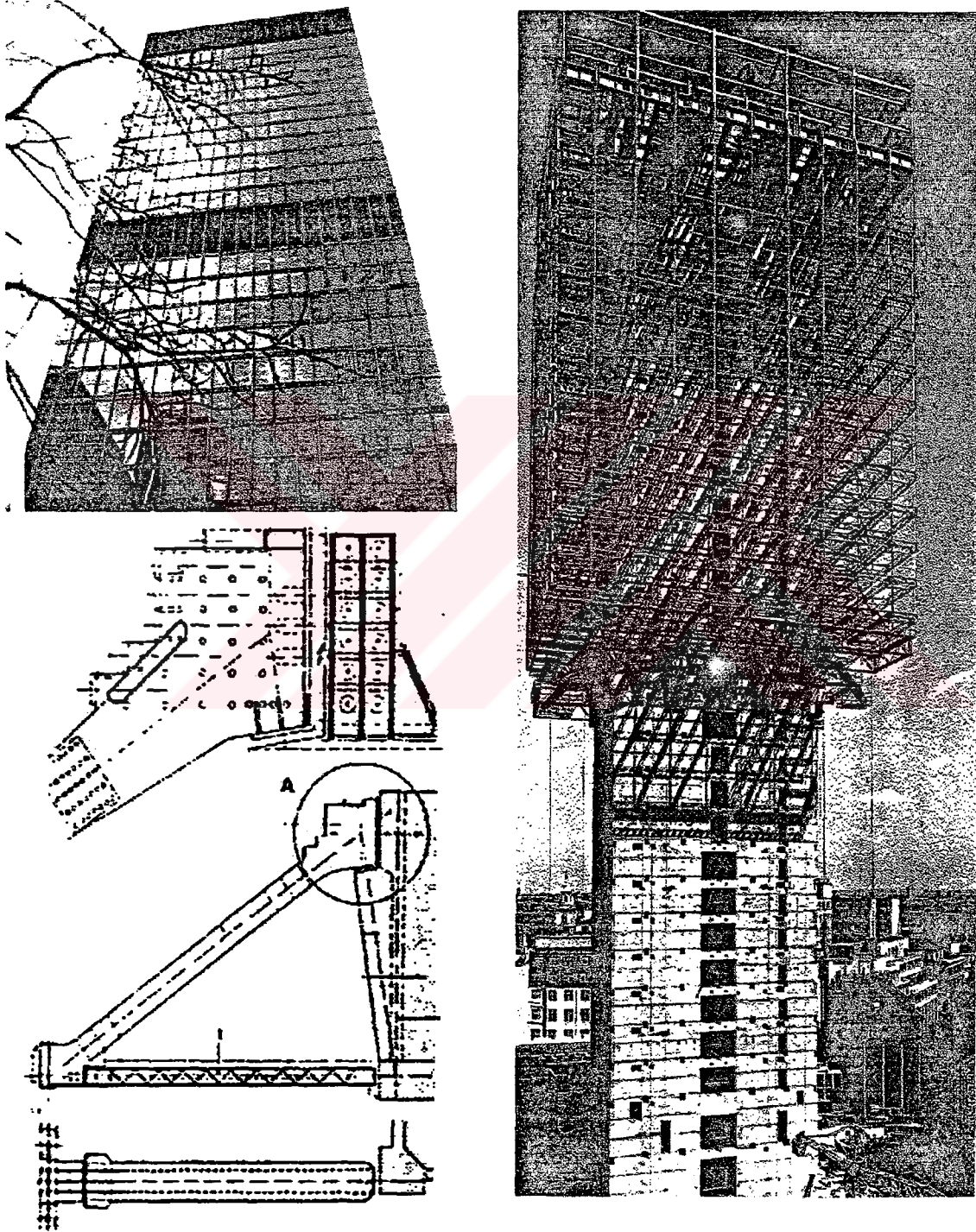
Kompozit kolonlu tüp yapı.

Kompozit tüp yapı.

Şekil 5.20 : Betonarme tüplü kompozit yapı.[14,18]

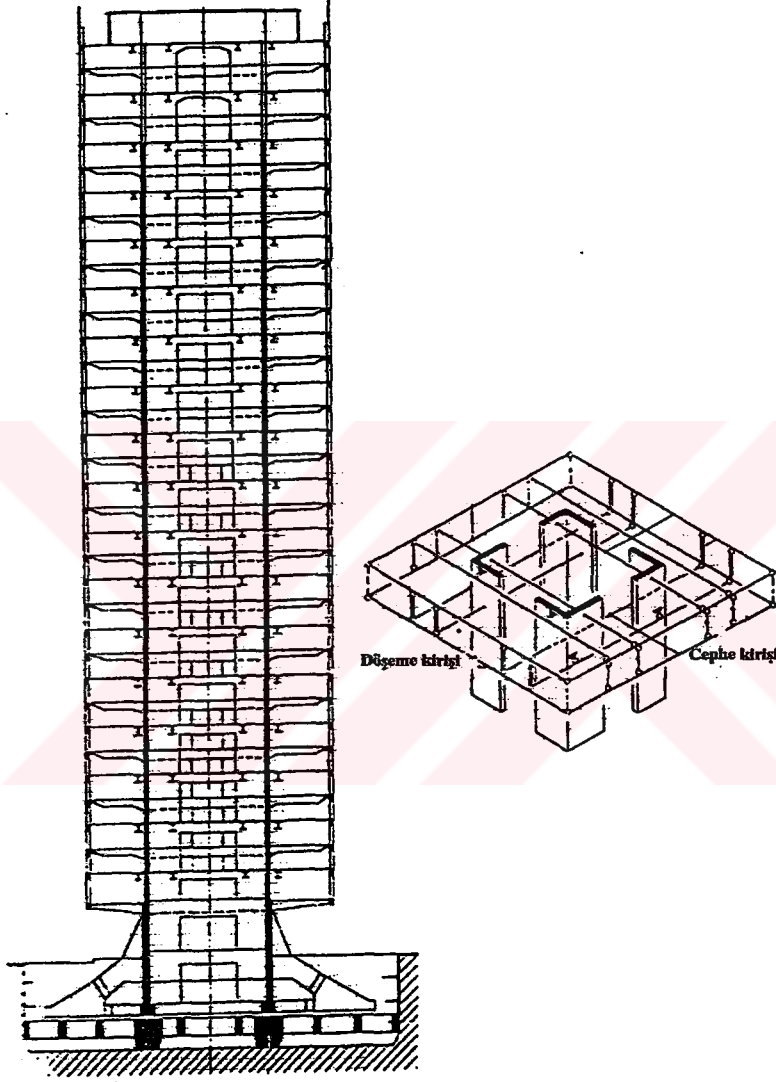
5.7.4. Askılı kompozit yapı sistemleri.

Bu tip yapı sistemlerinde betonarme çekirdek ve etrafında çelik çerçeveler kullanılır. Bina cephesindeki çelik çerçeveler, kablolar yardımıyla betonarme çekirdeğe asılmaktadır.



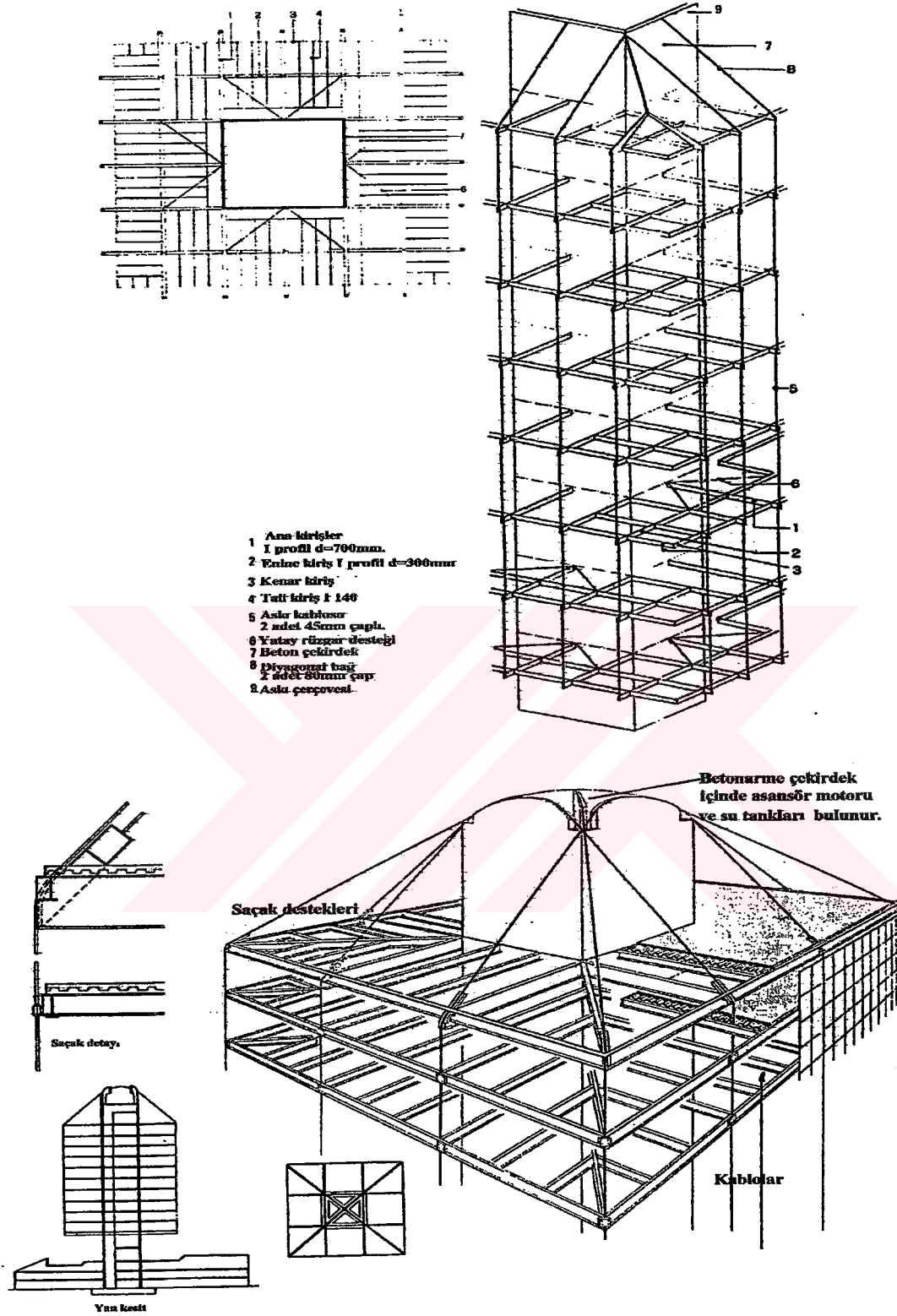
Şekil 5.21 : Askılı kompozit sistem. Commercial Union Center Londra. [4]

Şekil 5.21'de görülen Commercial Union binası, askılı kompozit yapılara iyi bir örnektir. Bu yapıda 22,89m x 15,2m boyutlarında betonarme çekirdek ve etrafında yatay kafes kirişli çelik çerçeveler kullanılmıştır. Çekirdek kısmında asansör ve ıslak alanlar bulunmaktadır. Yapıda toplam 2500 ton çelik profil kullanılmış olup kirişler 70cm, döşemeler 12,7cm derinliğe sahiptir.



Şekil 5.22 : Askılı kompozit sistem. Tour du Midi Brüksel.[4]

Şekil 5.22'de görülen Brüksel'deki Tour du Midi Binasının taşıyıcı sisteminde, merkezde boşluklu betonarme çekirdek ve çekirdek etrafında, döşeme altlarına, her iki doğrultuda yerleştirilmiş dörder tane döşeme kirişi ve cephe kirişleri bulunmaktadır. Döşeme kirişleri her katta farklı doğrultuda yapılmakta olup tek numaralı katlar, halatlarla birleştirilip çekirdeğe bağlanmıştır. Bu sistem tek doğrultuda askılı sistem olarak adlandırılır.



Şekil 5.23 : Askılı kompozit sistem örnekleri.[4]

Diğer askılı kompozit yapı örnekleri Şekil 5.23'te görüldüğü gibi üstte Fransa'daki Siemens Corporation binası, altta Kanada'daki Westcoast Transmission Company binasıdır.

BÖLÜM 6 : EKONOMİK TAŞIYICI SİSTEM SEÇİMİ

Yüksek yapıların tasarımında, taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde seçimi önemli bir yer tutmaktadır. Yapının mimari durumu ve çelik taşıyıcı sistem belirlenirken, maliyetinin düşük olması gerektiği unutulmamalıdır. Bunun için hem en uygun taşıyıcı sistem belirlenmeli, hem de yapı elemanlarının temini, elemanları birleştirme maliyeti, finansman ve işçilik maliyeti, yapım ve işletme süresi gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

Yapı yüksekliği arttıkça taşıyıcı sistem elemanları, mekanik sistemler ve asansörler için daha fazla alana ihtiyaç duyulur. Bu durum, yapı kullanım alanını azaltmaktadır. Ayrıca yapı yüksekliğinin artmasıyla birlikte asansör sayısı ve mekanik sistemin kapasitesi de arttığından ek masraflar oluşmaktadır.

Yapı yüksekliği arttıkça, kullanılan vinçlerin kapasitesinin artması, malzemelerin yukarı çıkarılması ve monte edilmesinin zorlaşması da ek maliyetlere neden olmaktadır.

Bununla birlikte yapının kat adedinin artması, binanın metre karesine düşen arsa payı maliyetini azaltmaktadır. Benzer şekilde yönetim maliyeti de düşmektedir. Ayrıca tüm binada benzer malzemeler kullanılması ve bunların toplu halde daha ucuza alınması da önemli bir ekonomik avantaj oluşturmaktadır.

Kolon ve kirişlerin ekonomik biçimde seçimi, uygun profil tipi ve boyutunun kullanılmasıyla ve çelik profillerin kalitesinin artırılmasıyla sağlanır. Profillerin yeterli olmadığı durumlarda, profillere eklemeler yapılarak, levhalardan profiller meydana getirerek veya profillerin çeşitli şekillerde birleştirilmesiyle mukavemetlerini artırarak, en verimli eleman tipine ulaşılabilir.

Burada dikkat edilmesi gereken nokta, yapma profillerin, kaynaklama maliyeti dolayısıyla daha pahalıya mal olabileceğinin göz önünde bulundurulmasıdır. Ayrıca kolon ve kirişlerde kullanılan profil çeşidinin artırılmasının hem malzeme, hem de işçilik maliyetlerini yükselteceği unutulmamalıdır.

Döşemelerin ekonomik biçimde tasarımı, kompozit kiriş ve döşemelerin yapımıyla mümkündür. Bu amaçla, çelik profil levha ve betonarmeden yapılmış kompozit döşemeler ile döşeme plaklarının kirişlerle birleştirilmesiyle oluşturulan kompozit döşemeler kullanılır.

Döşeme kalınlığının fazla olması maliyeti artıracığından en uygun kalınlık benimsenmeli ve tüm bina bu kalınlıkta yapılmalıdır. Çünkü döşeme kalınlığının ve kullanılan profil çeşidinin artırılması, maliyeti olumsuz yönde etkileyecektir.

Döşemelerin profil doğrultusundaki ve profile dik doğrultudaki genişliğinin uygun biçimde seçilmesi ve tüm döşeme parçalarında bu değerlere yakın olması, tek tip döşeme kullanılması için uygun bir yaklaşımdır.

Yapılarda kullanılan birleşimlerin maliyetleri oldukça yüksektir. Bu yüzden çerçeve birleşimlerinin ekonomik biçimde tasarlanması büyük önem taşır. Rijit, basit ve yarı rijit birleşimlerin her birinin belirli kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları vardır. Ayrıca birleşim araçlarının (perçin, bulon veya kaynak) seçimi de önemlidir. Birleşim tipinin belirlenmesi sırasında, taşıyıcı sistem özellikleri, birleşim araçlarının elde edilebilirliği ve maliyeti ile birleşimin atölyede veya şantiyede yapımı gibi hususlar dikkate alınmalıdır.

Taşıyıcı sistem tipinin ekonomik biçimde seçilmesi, tüm yapı sisteminin verimliliği açısından çok önemlidir. Yapılması planlanan binanın tasarımı; zemin durumuna, maruz kalacağı yer çekimi ve yanal yüklemelerin şiddetine, yapının kat adedine, yapının yüksekliğinin taban alanına oranına, üretim ve yapım kriterlerine, bölgesel yönetmeliklere, işgücü maliyetine, malzeme temini kriterlerine ve mekanik sistem kriterlerine bağlıdır.

Zemin durumu, yapı tipinin seçiminde büyük rol oynar. Örneğin gevşek zeminlerde daha hafif yapı tipi seçilmeli veya büyük temeller kullanılmalıdır. Yapının maruz kalacağı düşey ve yanal yüklemelerin şiddeti de büyük önem taşımaktadır. Kat adedi arttıkça yapı ağırlığı ve yanal yüklemelerin şiddeti de artmaktadır. Bölüm 5'te tüm yapı tiplerinin özellikleri ve kullanılacağı ekonomik yükseklikleri belirtilmiş olup bu bölümde açıklanan özellikler, tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır.

Mevcut yönetmelik ve şartnamelerde, yapı tipinin seçimini etkileyecek şartlar bulunabilir. Özellikle deprem bölgelerinde kat sınırlaması ve yapı alanının arsa alanına oranının sınırlanması tasarımda önem taşımaktadır. Binanın rijitliği, yüksekliğinin taban alanına oranına bağlıdır. Rijitliğin az olması yatay salınımları artırmaktır. Ayrıca kolon açıklıklarının seçimi de tasarımda önemlidir. Yapı malzemelerinin kolay ve ucuz temin edilebilirliği, işçilerin deneyimli olması ve ücretleri de yapı tipinin seçiminde rol oynamaktadır.

Isıtma, havalandırma, asansör, pis ve temiz su tesisatları gibi mekanik sistemlerin maliyeti çok yüksektir. Bu sistemlerin tesisatı için gerekli çekirdek veya cephe kanalları yapılması ve döşeme sisteminin bunlara göre belirlenmesi, tasarımı etkilemektedir.

6.1. Taşıyıcı Sistemin Maliyetini Etkileyen Faktörler.

Çelik yapıların maliyeti hesaplanırken, profillerin birim fiyatının yanı sıra, elemanları ekleme ve diğer elemanlarla birleştirme maliyeti ile elemanları monte etme maliyetinin de belirlenmesi gerekir. Taşıyıcı sistem maliyetine etkileyen faktörler aşağıda açıklanmıştır.[14]

a) Eleman çeşidini azaltmak:

Projede kullanılan eleman çeşidi, maliyete etkileyen önemli bir faktördür. Yapıda mümkün olduğunca aynı veya benzer tipte elemanlar ve birleşimler kullanılmalıdır. Çünkü benzer elemanların imalat ve montajları daha kolay ve ekonomik biçimde yapılabilmektedir. Sonuçta, profil ve bulon çeşidinin az olması dolayısıyla yapım için daha az stok alanı kullanılmakta ve daha hızlı üretim sağlanmaktadır.

b) Hafif yapı tasarımı:

Yapı sisteminin mümkün olduğunca hafif tasarlanması, kullanılan çelik profil miktarını ve taşıyıcı sistem maliyetini azaltmaktadır. Yapı ağırlığını azaltmak için küçük boyutlu profiller kullanılmalı, döşeme kalınlığının az olması sağlanmalı, hafif bölme duvarlar ve cam cephe giydirmeleri kullanılmalı, mimari tasarımın hafif yapılması sağlanmalıdır.

Hafif yapı tasarımının diğer bir avantajı da taşıyıcı elemanlara daha az düşey kuvvet etki etmesidir. Böylece daha küçük kesitli elemanlar kullanılabilir. Hafif yapıların daha az deprem kuvveti alması da önemli bir avantajdır.

c) Yüksek mukavemetli çelik kullanımı:

Taşıyıcı sistem elemanlarının ağırlıklarını azaltmak için yüksek mukavemetli çelik profiller kullanılmaktadır. Bu çelikler pahalı olmasına rağmen daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olduğu için ekonomiktir.

d) Sistemin verimli biçimde tasarlanması:

Yapı sistemi tasarımında taşıyıcı elemanların, gerçek hayatta maruz kalacağı yüklemeler ve seyrek meydana gelen şiddetli yüklemelere karşı, tasarımda öngörüldüğü biçimde davranması son derece önemlidir. Sistemin farklı davranış göstermesi, yerel gerilme yığılmalarını artırabilir veya şiddetli yüklemelerde yapıyı daha fazla hasara uğratabilir.

Taşıyıcı sistem hem kullanım amacına uygun tasarlanmalı, hem de kullanıcı konforu göz önünde bulundurulmalıdır. Taşıyıcı elemanların boyutlarını küçülterek yapı rijitliğinin azaltılması, yanal yüklemelere karşı yatay salınımların genliğini artırmaktadır. Bu durum sistemin ekonomik olmasına rağmen konforsuz olmasına neden olur.

Yapının inşasında uygulanacak yöntemlerin, bazı faktörleri iyileştirirken diğer faktörleri bozmaması gereklidir. Örneğin hafif yapı tasarımının yapı rijitliğini azaltması, kolon ve kiriş sayısını azaltılmanın kalan elemanların taşıyacağı yükleri ve eleman boyutlarını artırması gibi faktörler tasarımda dikkate alınmalıdır.

e) Eleman sayısını azaltmak:

Yapıda kullanılan elemanların sayısı uygun düzeyde tutulmalıdır. Kolon ve kirişlerin fazla sayıda bulunması, taşıyacağı yüklemeleri azaltmakla birlikte sistemin ağırlığında ve maliyetinde artışa neden olmaktadır. Ayrıca fazla sayıda kolon ve kiriş bulunması yapıda kullanılan birleşim sayısını ve birleşim maliyetini artırmaktadır.

f) Homojen yük dağılımı:

Yapıda mümkün olduğunca homojen yük dağılımı sağlanmalıdır. Bunun için kolon açıklıkları birbirine yakın olmalı, ağır tekil yüklerden kaçınılmalı ve simetrik sistem tasarımı tercih edilmelidir. Ayrıca yapı sistemi, ilgili yönetmeliklere uygun olarak düzenlenmelidir.

Yüklerin kolon ve kirişlere homojen biçimde dağılımı, bazı elemanların fazla zorlanmasını önlemektedir. Bu sayede kolon ve kiriş boyutları uygun seviyede tutulmakta ve eleman çeşitleri azaltılarak daha ekonomik bir tasarım gerçekleştirilmektedir. Homojen yük dağılımı, yapı sisteminin yanal yüklemelere karşı stabilitesini artırmakta ve yapının burulmasını önlemektedir.

g) Birleşim sayısını azaltmak:

Birleşim elemanlarının ve yapım işçiliğinin maliyetleri oldukça yüksektir. Bu nedenle yapı maliyeti, yapıda kullanılan birleşimlerin sayısı azaltılarak düşürülebilir. Yapıda kullanılan birleşim elemanı çeşitleri azaltılmalı ve kolay uygulanabilir birleşimler tercih edilmelidir.

h) Hadde profili kullanmak:

Yapı elemanlarının hadde profilleriyle tasarımı, levha profillerinden daha ekonomik biçimde gerçekleştirilebilmektedir. Çünkü levha profillerinin maliyeti, kaynaklama ve işçilik ücretlerinden dolayı daha yüksektir. Ayrıca levha profillerinde ilave tedbir almak gereklidir.

6.2. Yapısal Faktörler.

Yüksek yapıların şartnamelere uygun ve güvenli bir biçimde tasarımı için gerekli yapısal faktörler aşağıda özetlenmiştir.[14]

A) Yüksek mukavemetli çelik profil kullanımı, sabit ve hareketli düşey yüklemelerde etkili olmaktadır. St 37 yerine St 52 çeliğinin kullanılması %20-%30 arasında ağırlık indirimi sağlarken, St 52 çeliğinin birim fiyatı daha yüksek olduğu için yapı maliyetinde %10-%15 civarında tasarruf sağlanır.

B) Yanal yüklemeler altında yapının yanal hareketini azaltmak için yüksek atalet momentli kesitler kullanılmaktadır. Yüksek mukavemetli çeliklerin sünekliği daha az olduğundan, deprem bölgeleri ve şiddetli rüzgar alan yerlerde yüksek mukavemetli çelik kullanımı tercih edilmemektedir.

C) Düşey yükler altında yapı ağırlığını azaltmak için kompozit kiriş kullanımı, yüksek mukavemetli çelik profil kullanımından daha etkilidir. Ancak kompozit kirişlerin yapım ve birleşim maliyeti fazla olduğundan aynı oranda ekonomi sağlanmaktadır. Fakat kiriş yüksekliğinde sınırlamalar konulduğu durumlarda kompozit kiriş maliyeti daha düşüktür.

D) Küçük kesitli sistem seçimi yangına karşı korunma maliyetini azaltmaktadır. Aynı yüklenme durumu için St 52 profilinden yapılan kirişler, St 37 profilinden yapılan kirişlere göre yaklaşık % 20 daha az yangına karşı korunma maliyeti sağlamaktadır.

E) Kolon açıklıkları çok küçük veya çok büyük olmamalıdır. Küçük açıklıklarda çelik sarfiyatı az olmasına rağmen yapıda daha fazla eleman ve birleşim kullanılacağı için imalat ve montaj maliyeti artmaktadır. Kolon açıklıklarının, fazla artık profil bırakmayacak ve mümkün olduğunca az ek yapılacak şekilde seçilmesi tavsiye edilir.

F) Yapının yatay yüklere karşı dayanımını sağlamak ve yanal hareketini kontrol etmek, yapı maliyetini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu amaçla rijit çerçeveli, diyagonal destekli veya tüp çerçeveli sistem oluşturmak ekonomi sağlamaktadır.

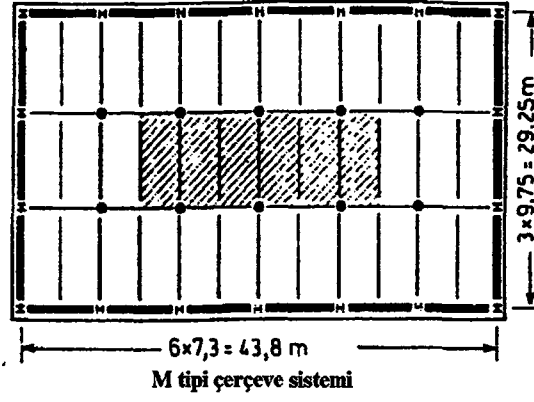
G) Yatay yüklemelerin etkisinin fazla olduğu hallerde rijit çerçeve sistemi veya tüp sistemler tercih edilmelidir. Ayrıca yapma profillerden ve eklemelerden kaçınılmalıdır.

H) Çok küçük yanal deplasman limitlerinin kullanılması yapı maliyetini artırıcı rol oynamaktadır. Bu yüzden pratik açıdan uygulanabilir bir yanal deplasman kriteri seçilmelidir. Yanal kuvvet etkisinin çok yüksek olduğu bölgelerde veya iş merkezi gibi içinde az kalınan yapılarda daha yüksek deplasman limiti kullanılabilir.

Aşağıda ekonomik sistem tasarımı ile ilgili çalışmalar açıklanmıştır:

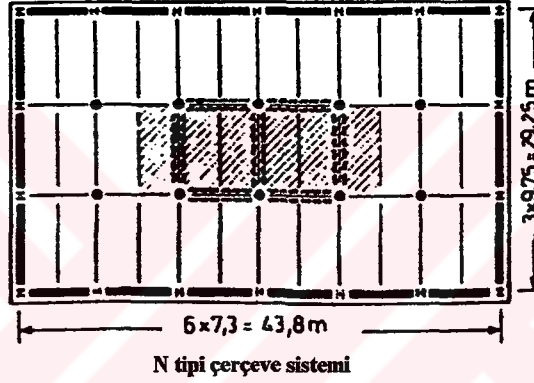
6.3. Rijit Çerçeve Sistemi, Diyagonal Destekli Rijit Çerçeve Sistemi ve Diyagonal Destekli Basit Çerçeve Sistemlerinin Karşılaştırılması.

Bu çalışmada çerçeve sisteminde diyagonal desteklerin kullanılmasının sağlayacağı ekonomi 18 katlı bir ofis binası için araştırılmış olup ABD koşullarındaki sonuçları verilmiştir. Yapının merkezinde asansör, merdiven, tuvalet vb. yapı kısımları bulunmakta olup, 500 kg/m² hareketli yük, 100 kg/m² duvar yükü, 250 kg/m² ve 8cm kalınlığındaki kompozit döşeme yükü etki etmektedir.



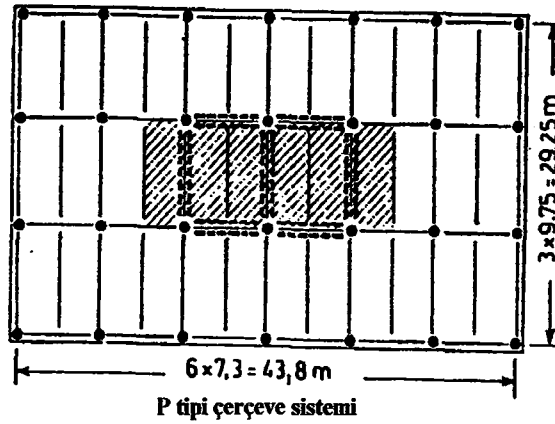
Şekil 6.1 : M tipi rijit çerçeve sistemi.[14]

M tipi çerçeve sistemi, bina cephesinde rijit çerçeveler ve iç kısımda basit çerçeveler kullanılan, rijit bir çerçeve sistemidir.



Şekil 6.2 . N tipi diyagonal destekli rijit çerçeve sistemi.[14]

N tipi çerçeve sistemi ise, M sistemine ilave olarak çekirdek bölgesinde enine doğrultuda X diyagonal destekleri ve boyuna doğrultuda K diyagonal destekleri kullanılarak yapılmış rijit çerçeve sistemidir.



Şekil 6.3 : P tipi diyagonal destekli basit çerçeve sistemi.[14]

P tipi çerçeve sistemi ise basit çerçeve sistemi olup yanal yüklemelere karşı direnim ve yapının yanal hareketini kontrol etmek amacıyla çekirdek bölgesine diyagonal destek elemanları yapılmıştır. Her üç sistemde de H/400 yanal deplasman limiti kullanılmış olup sonuçlar aşağıda verilmiştir.

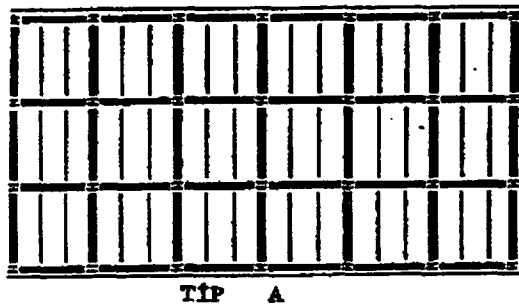
M tipi 1650 ton	1 559 000 USD ,1979 yılı verileri.
N tipi 1375 ton (% 17 az)	1 404 000 USD (%10 ucuz)
P tipi 1250 ton (% 24 az)	1 305 000 USD (%16 ucuz)

Yapılan statik hesapların sonucunda her bir taşıyıcı sistem için yukarıdaki ağırlık ve maliyet değerleri verilmiştir. Bu araştırmanın sonucunda, diyagonal desteklerin yapı maliyetini azalttığı ve yanal yüklerin diyagonal destekler tarafından karşılanması durumunda basit çerçevelerin rijit çerçevelerden daha ekonomik olduğu görülmektedir.

6.4. Rijit Çerçevlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.

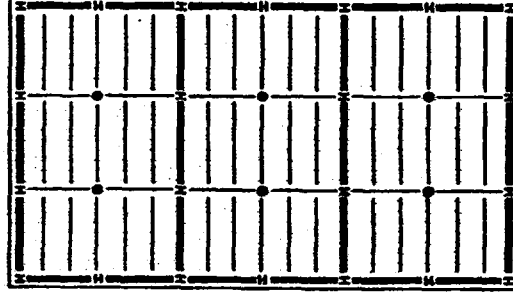
Bu çalışmada dört tip yapı sisteminde rijit çerçeve sistemlerinin, yapının plan durumunda yerleştiriliş biçimleri ve bunların yapı ağırlığı ve maliyeti açısından sonuçları karşılaştırılmaktadır. A tipi sistemde tüm çerçeveler rijit bağlıdır. B tipi sistemde binanın çevresi ve uzun kenarında içteki iki çerçeve rijit bağlıdır. C tipi sistemde bina çevresi ve uzun kenarın ortası rijit bağlıdır. D tipi sistemde ise yalnız bina çevresi rijit bağlıdır.

Şekillerde, koyu çizgiler rijit bağlı kirişleri, H işareti rijit bağlı kolonları, noktalar aksel basınç alan kolonları; ince çizgiler ise basit kompozit kirişleri göstermektedir. Maliyet için rijit kiriş ve kolonlarda A36(St37) çeliği, aksel basınç kuvvetine çalışan kolonlar ve kompozit kirişlerde ise A572 grade50(St52) çeliği kullanılmıştır.



Şekil 6.4 : A tipi tam rijit çerçeve sistemi.[14]

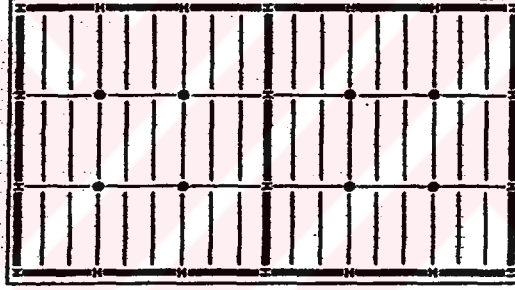
Tip A da bir katta 28 tane kolon olup hepsi kirişlere rijit olarak bağlanmıştır. Her katta 81 kiriş olup 45 tanesi diğer elemanlara rijit olarak bağlanmıştır. Taşıyıcı sistem ağırlığı 75.1 kg/m^2 ve taşıyıcı sistem maliyeti 73 USD/ m^2 dir.



TIP B

Şekil 6.5 : B tipi rijit çerçeve sistemi.[14]

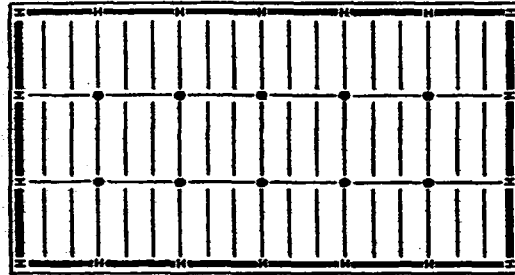
Tip B de bir katta 28 tane kolon olup bunların 22 tanesi kirişlere rijit olarak bağlanmıştır. Her katta 81 kiriş olup bunların 24 tanesi diğer elemanlara rijit olarak bağlanmıştır. Taşıyıcı sistem ağırlığı 74.5 kg/m^2 ve taşıyıcı sistem maliyeti 69.3 USD/ m^2 dir.



TIP C

Şekil 6.6 : C tipi rijit çerçeve sistemi.[14]

Tip C de bir katta 28 tane kolon olup bunların 20 tanesi kirişlere rijit olarak bağlanmıştır. Her katta 81 kiriş olup bunların 24 tanesi diğer elemanlara rijit olarak bağlanmıştır. Taşıyıcı sistem ağırlığı 75 kg/m^2 ve taşıyıcı sistem maliyeti 69.4 USD/ m^2 dir.



TIP D

Şekil 6.7 : D tipi rijit çerçeve sistemi.[14]

Tip D de bir katta 28 tane kolon olup bunların 18 tanesi kirişlere rijit olarak bağlanmıştır. Her katta 81 kiriş olup bunların 18 tanesi diğer elemanlara rijit olarak bağlanmıştır. Taşıyıcı sistem ağırlığı 76.5 kg/m^2 ve taşıyıcı sistem maliyeti 70.5 USD/ m^2 dir.

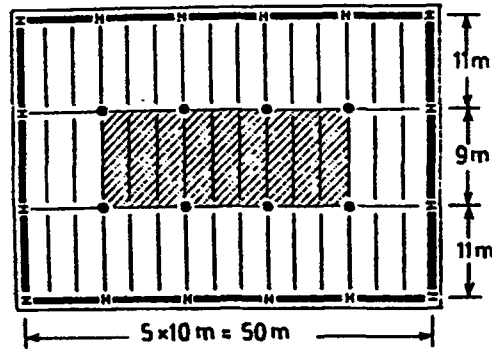
	TİP A	TİP B	TİP C	TİP D
Kolon Sayısı	28	28	28	28
Rijit bağlı Kolon.S	28	22	20	18
Kiriş Sayısı	81	81	81	81
Rijit bağlı Kiriş.S	45	24	24	18
Sistem Ağırlığı kg/m^2	75.1	74.5	75	76.5
Sistem Maliyeti USD/m^2	73	69.3	69.4	70.5 ,1979 yılı verileri.

Sonuçta tipler arasında çok az ağırlık farkı olduğu görülür. Tip A'daki komple rijit sistem maliyetinin, Tip B'deki kısmi rijit çerçevesi yapıya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Tip C ve Tip D nin daha Tip B ye göre ağır çıkmasının nedeni $H/400$ yanal deplasman limitini aşmamak için yapma elemanlar kullanılmış olmasıdır.

Az katlı yapı sistemlerinde ve yanal yüklemelerin az olduğu bölgelerde C ve D sistemleri daha ekonomiktir. Yukarıdaki araştırmada minimum sayıda rijit birleşim kullanılması ve mümkün olduğu hallerde yapma kesitlerden kaçınılması halinde ne oranda ekonomi sağlanacağı gösterilmiş oldu.

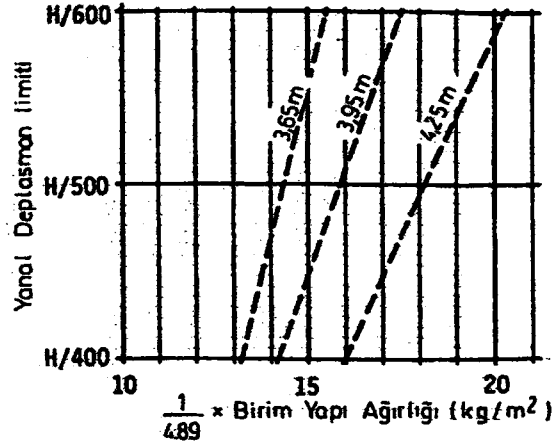
6.5. Kat Yüksekliği ve Yatay Deplasman Limitlerinin Yapı Maliyetine Etkisi.

Bu çalışmada kat yüksekliği ve yatay deplasman limitlerinin yapı ağırlığı ve maliyetine etkisi, bina çevresindeki çerçeveleri rijit olan bir sistemde incelenmiştir.



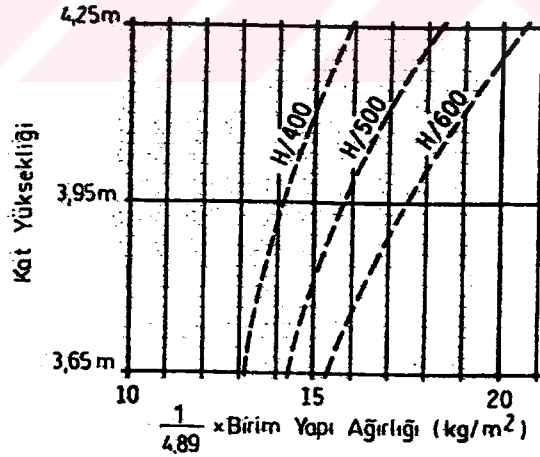
Şekil 6.8 : Rijit çerçeve sistemi. [14]

Şekilde plan durumu verilen bina cephesindeki kolonların rijit bağlandığı taşıyıcı çerçeve sistemi, 3.65m, 3.95m ve 4.25m değerindeki kat yükseklikleri ve H/400, H/500 , H/600 yanal deplasman limitleri için boyutlandırılmış ve aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 6.9 : Yanal deplasman limiti ve birim yapı ağırlığının karşılaştırılması.[14]

Birinci diyagramda birim yapı ağırlığı arttıkça, yanal deplasman limitinin lineer olarak azaldığı görülmektedir. Ayrıca aynı yanal deplasman limiti için kat yüksekliği arttıkça birim yapı ağırlığı da artmaktadır. Taşıyıcı sistemin ağırlığının artması taşıyıcı sistem malzeme maliyetini ve yangına karşı korunma maliyetini artırmaktadır.

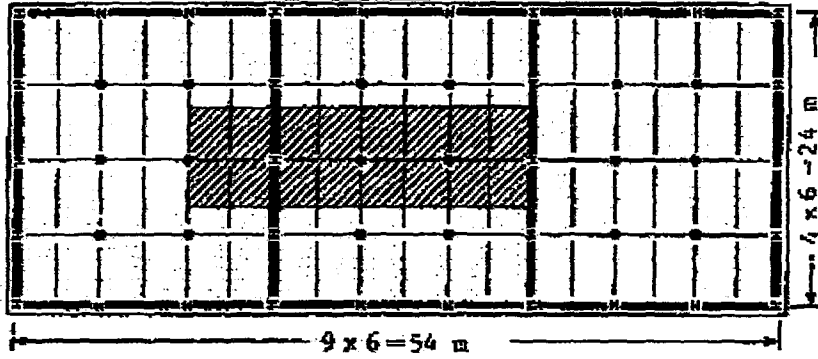


Şekil 6.10 : Kat yüksekliği ve birim yapı ağırlığının karşılaştırılması.[14]

İkinci diyagramda ise kat yüksekliği arttıkça taşıyıcı sistem ağırlığının da ivmeli biçimde arttığı görülmektedir. Ayrıca bir kat yüksekliği için yanal deplasman limitinin azaltılması, birim yapı ağırlığını artırmaktadır.

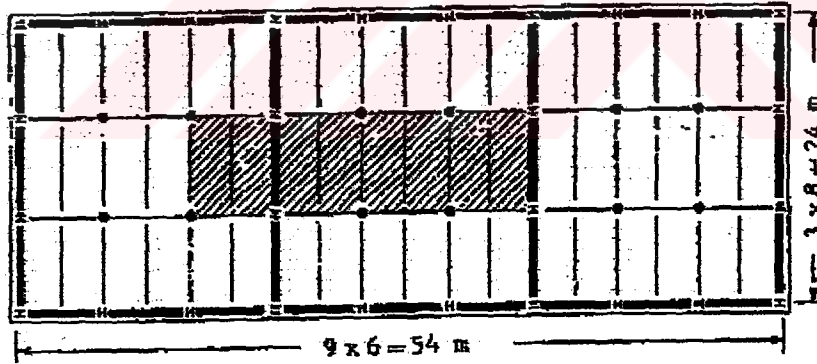
6.6. Yapı Elemanları Sayısını Azaltmanın Yapı Maliyetine Etkisi.

Aşağıdaki örnekte, 16 katlı bir iş merkezi için yapı elemanları sayısını azaltmanın yapı maliyetine etkisi konusunda bir araştırma yapılmıştır. Yapı 1300m^2 taban alanına sahiptir. Elektrik tesisatının geçirilmesi amacıyla yapıda boşluklu kompozit döşeme kullanılmıştır. Maliyetlerin hesaplanmasında ABD'deki 1978 yılı rayiçleri esas alınmıştır.



Şekil 6.11 : E tipi rijit çerçeve sistemi.[14]

TİP E'de X yönünde 6m'lik 9 açıklık, Y yönünde 6m'lik 4 açıklık vardır. Sistemde 50 adet kolon olup 34 tanesi kirişlere rijit olarak bağlanmıştır. Her katta 121 kiriş olup 34 tanesi rijit şekilde bağlanmıştır. Taşıyıcı sistem ağırlığı 46.5 kg/m^2 , maliyeti 52 USD/m^2 dir.



Şekil 6.12 : F tipi rijit çerçeve sistemi.[14]

TİP F'de X yönünde 6m'lik 9 açıklık, Y yönünde 8m'lik 3 açıklık vardır. Sistemde 40 adet kolon olup 30 tanesi kirişlere rijit olarak bağlanmıştır. Her katta 93 kiriş olup bunların 30 tanesi rijit şekilde bağlanmıştır. Taşıyıcı sistem ağırlığı 51 kg/m^2 , maliyeti 50 USD/m^2 dir.

Sonuçta, parça sayısını %20 azaltmanın, sistem ağırlığını % 9.6 artırdığı ve taşıyıcı sistem maliyetini % 4 düşürdüğü görülmektedir. Tip F sisteminin Tip E sisteminden daha ağır olmasına rağmen yangına karşı koruma maliyetinin az olması nedeniyle daha ekonomiktir.

6.7. Bulon Sayısını Azaltmanın Yapı Maliyetine Etkisi.

Bu araştırmada elik yapılarda kullanılan bağlantılar üzerine bir çalışma yapılmıştır. Farklı ap ve uzunluktaki bulon çeşitlerini azaltılmanın yapı maliyetine etkisi anlatılmıştır.

Yapılan araştırmalar, taşıyıcı sistem maliyetinin %40'ını elik profillerin, %30'unu birleşim elemanlarının, %10'unu basit işçiliğin ve %20'sini bağlantıların yapımının oluşturduğunu göstermektedir. Taşıyıcı sistemde birleşimlerin etkisi %50'yi bulmakta ve bunların ekonomik biçimde tasarımı verimliliği çok artırmaktadır. Fakat yapı malzemelerinin ağırlığını azaltmak hem zordur, hem de maliyeti düşürmede katkısı %10'u geçmez.

Bulon sayısını ve çeşidini azaltma yöntemiyle ilgili bir rnek, Londra'da inşaa edilmiş olan çok katlı bir büro binasıdır. Bu yapı 19000 m² alan üzerine kurulmuş ve 1520 ton elik profil ve levha kullanılarak yapılmıştır. İnşaat, tüm gün çalışan bir vinç ile bir adet de yedeği kullanılarak 15 hafta içerisinde bitirilmiştir.

Bu yapıda, 8 farklı çapta ve 70 farklı uzunlukta olmak üzere toplam 32898 adet normal ve yüksek mukavemetli bulon kullanılmıştır. Bu 70 çeşit bulon, vinç tarafından 30 m yükseğe çıkartılarak işçilerin kullanımına sunulmuştur.

Farklı bulon sayısının 70'ten 4'e indirilmesi, yukarıya taşıma ve montaj işlemini basitleştirmektedir. Bu durum verimliliği %10-%20 artırmakta ve bulonların depolanacağı alanı %20 azaltmaktadır.

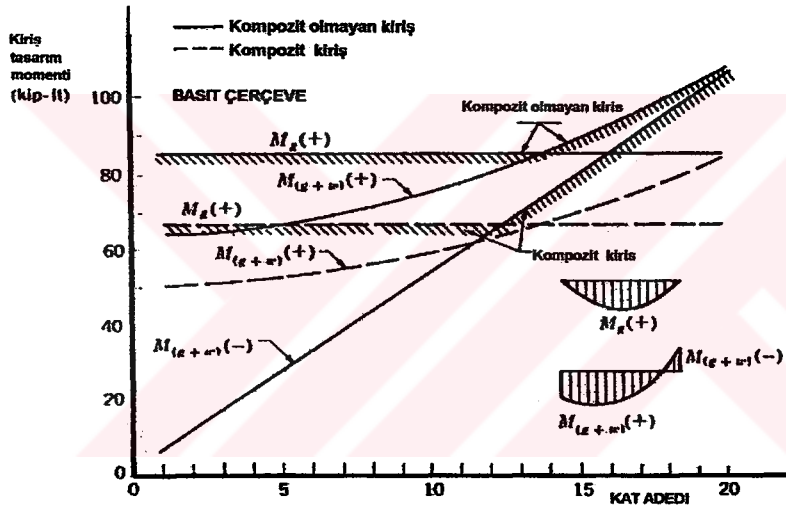
Farklı bulon sayısını azaltmanın getireceği yararlar aşağıda özetlenmiştir.

- 1- Çok kere ve azar azar bulon satın alma.
- 2- İhtiyaç halinde bulon satın alma.
- 3- Stok eşidi ve toplam stok sayısında azalma.
- 4- Daha az işçilik ve bulonları sınıflamanın ortadan kalması.
- 5- Daha hızlı montaj.
- 6- Metraj ve bulon yerleşim listelerinde kolaylık.
- 7- Yapıyı daha hızlı inşaa etme.
- 8- İşçilik ve yapım hatalarında azalma.
- 9- İsrafın azaltılması.

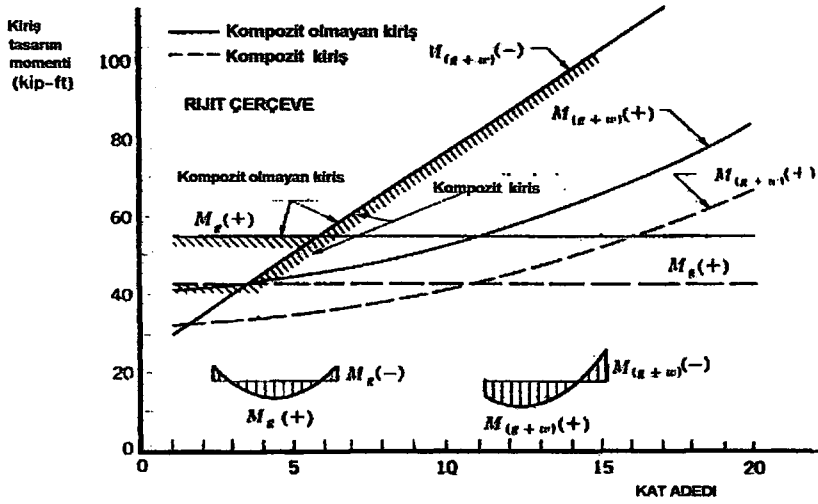
6.8. Tasarım Momentlerinin Kat Adedine Bağlı Değişiminin İncelenmesi.

Bu araştırmada yüksek binaların ortasında veya koridorunda bulunan basit ve rijit bağlantılı çerçeveler üzerinde bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırmada tasarım açıklık momentlerinin, kat adedine bağlı değişimi incelenmiştir.

Bu araştırmanın sonuçları Şekil 6.13a ve Şekil 6.13b'de görülmektedir. Şekilde düz çizgiler kompozit olmayan kirişleri, kesikli çizgiler ise kompozit kirişleri göstermekte olup kalın çizgiler ise maksimum kontrol momentleridir. Düşey yükler altındaki pozitif moment $M_g (+)$ ile, düşey ve yatay yüklerin $\frac{3}{4}$ ünün meydana getirdiği pozitif tasarım momenti $M_{g+w} (+)$ ile, negatif tasarım momenti ise $M_{g+w} (-)$ ile gösterilmiştir. Bu yüklemelerle ilgili detaylar şekiller üzerinde açıklanmıştır. $100 \text{ kip.ft} = 135,6 \text{ kN.m}$ 'dir.



Şekil 6.13a



Şekil 6.13b

Şekil 6.13 : İç kirişlerdeki tasarım momentlerinin kat adedine bağlı değişimi. [16]

Şekil 6.13a'da görüldüğü üzere, basit çerçeveler için kompozit olmayan kirişlerde, 13 kata kadar olan yapılarda düşey yükler kiriş tasarımını yönlendirirken, 13 kattan sonrası için yanal yüklerin pozitif moment etkisi tasarımda ağırlık kazanmaktadır.

Kompozit kirişlerde ise düşey yüklerin tasarımı yönlendirmesi 12 kata kadar olan yapılarda sözkonusu olup, 12 katın üzerindeki yapılarda yanal yüklemelerin negatif moment etkisi tasarımda ağırlık kazanmaktadır.

Eğrilerin gidişi incelenirse, yanal kuvvetlerin oluşturduğu pozitif ve negatif moment etkisinin 20 kattan sonra birlikte etkili olduğu görülebilir.

Şekil 6.13b'de görülen diyagramda ise, rijit çerçeveli yapılarda kompozit olmayan kirişlerin tasarımında, düşey yüklerin 6 kata kadar olan yapılarda etkili olduğu ve 6 kattan yüksek binalarda yanal yüklemelerin oluşturduğu negatif moment etkisinin ağırlık kazandığı görülmektedir.

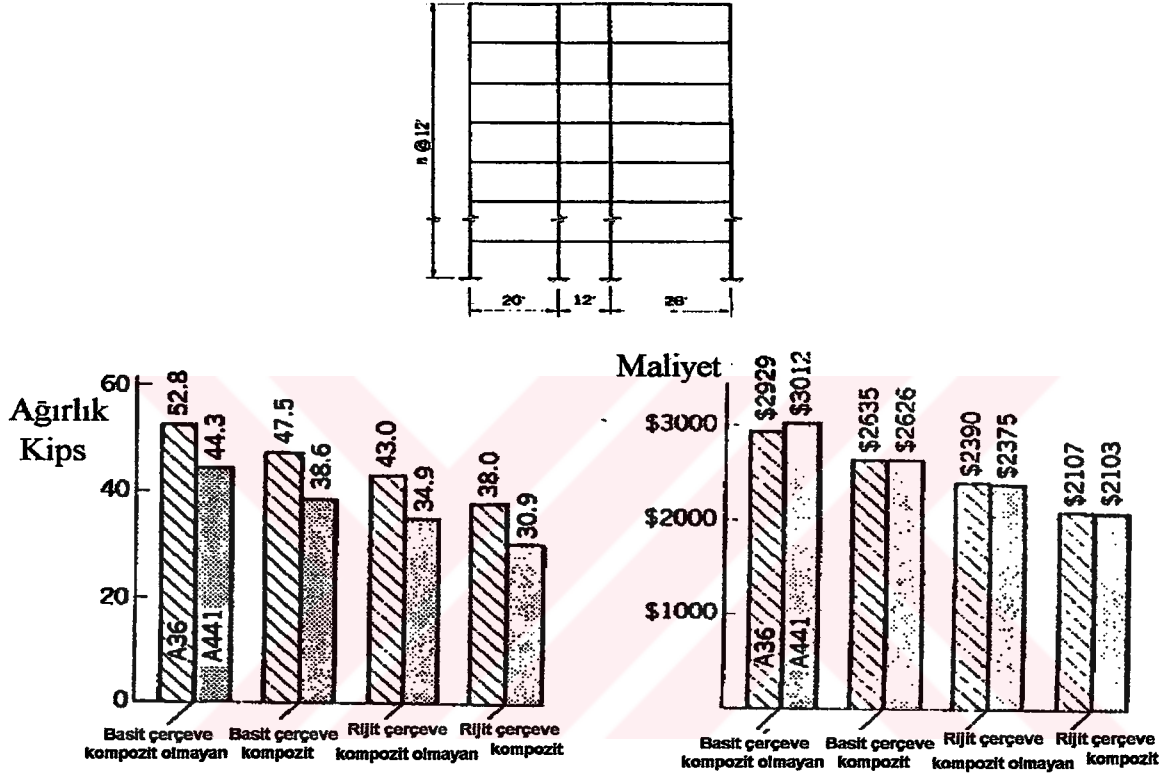
Kompozit kirişlerde ise 4 kata kadar olan yapılarda düşey yüklerin, 4 kattan yüksek binalarda ise yanal yüklemelerin oluşturduğu negatif momentin etkili olduğu açıkça görülmektedir.

Yukarıda açıklamaları verilen araştırmadan aşağıdaki sonuçları çıkartabiliriz.

- 1) Alçak katlı çelik binalarda düşey yükler etkili olurken, çok katlı çelik yapılarda yanal yüklemeler etkili olmaktadır. Aynı zamanda yanal kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin kat adediyle doğru orantılı olarak arttığı da görülmektedir.
- 2) Basit çerçeve birleşimli yapılarda aynı kat adedi için, rijit birleşimli yapılara göre daha fazla momente göre tasarım yapılmaktadır. Bu durumda daha büyük ve ağır çerçevelerin kullanılması sonucunu doğurur.
- 3) Aynı şekilde kompozit olmayan çerçeveler de kompozit çerçevelere göre daha ağır olup yanal yüklemelerden daha yüksek katlarda etkilenirler.
- 4) Çok katlı çelik yapılarda basit çerçevelerde, kompozit olmayan birleşimler için yanal yüklerin oluşturduğu pozitif moment, kompozit bağlantılar için ise negatif moment etkilidir. Rijit çerçevelerde ise yalnız negatif moment tasarımda etkili olmaktadır.

6.9. Çeşitli Tipteki Çerçevelerin Ağırlık ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması.

Aşağıdaki çalışmada, 14 katlı bir yüksek yapıda 8 farklı tipteki kirişin projelendirmesi, A36 ve A 441 çelik profilleriyle, kompozit ve kompozit olmayan kirişler için, basit ve rijit çerçevlendirme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Toplam kiriş ağırlığı ve toplam kiriş maliyeti Şekil 6.14'te grafikler halinde gösterilmiştir. Maliyetler için A36 çeliğinin tonu 111 USD, A441 çeliğinin tonu ise 136 USD alınmıştır. 1 Kips = 4,448 kN alınmaktadır.



Şekil 6.14 : Çok katlı yapıda çeşitli birleşimlerin ağırlık ve maliyet değerleri.[16]

Şekilde görüldüğü üzere basit çerçeveli ve kompozit olmayan yapılar en ağır ve en pahalı binalardır. Aynı zamanda basit çerçeveli yapılar rijit çerçeveli olanlardan, kompozit olmayan kirişler kompozit kirişlerden daha ağır ve pahalıdır.

Yanal kuvvetlerin fazla olduğu sistemlerde rijit çerçeveli yapılar daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca basit çerçeveli yapılarda açıklık momentleri, rijit çerçeveli yapıya göre fazla olduğu için, kirişlerin boyutları ve maliyetleri fazladır. Kompozit kirişler ise düşey yükler altında yapının ağırlığını azalttığı için daha ekonomiktir. Yapıda kullanılan normal ve yüksek mukavemetli çeliğin maliyetleri yaklaşık olarak eşittir. Kullanılan çerçeve, yüklemeler ve hesaplar ve ilgili ayrıntılı açıklama, alınan kaynakta mevcuttur.[16]

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde tasarımı konusu incelenmiştir. Çok katlı çelik yapıların; taşıyıcı sistemlerin özellikleri, uygulanabilir kat adetleri ile yapı konforu göz önünde bulundurularak ekonomik biçimde tasarlanması gerekmektedir. Taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde tasarımıdaki amaç, düşey ve yanal yüklemelere karşı dayanıklı, verimli ve düşük maliyetli binaların inşaa edilebilmesidir.

Çok katlı çelik yapılarda mümkün olduğunca benzer tip elemanlar kullanılmalıdır. Benzer tipteki elemanların imalatı hem daha kolay olmakta, hem de yapıdaki birleşim tipleri azaltılabilmektedir. Az çeşit malzeme ile çalışılacağı için inşaat daha hızlı yürümektedir.

Yapılarda kolon açıklıkları ve yapı elemanlarının boyutları uygun seviyede tutularak, kolon ve kirişlerin sayısı azaltılmaya çalışılmalıdır. Böylece yapıda kullanılan birleşim sayısı azaltılacağı için yapı maliyeti genellikle düşmektedir.

Yapılarda kullanılacak birleşim tipleri; güvenli biçimde yük aktaracak şekilde yapılmalı, ekonomik biçimde tasarlanmalı ve pratik olarak uygulanabilir olmalıdır. Birleşim aracı seçilirken; birleşim aracının bulunabilirliği, taşıyıcı sistem özellikleri, birleşimin rijitlik özellikleri, birleşimlerin nerede yapılacağı araştırılmalıdır.

Taşıyıcı sistem belirlenirken; mimari, mekanik, ısıtma, havalandırma, kanalizasyon ve su tesisatı sistemleri dikkate alınmaktadır. Bu yüzden taşıyıcı sistemin ekonomik biçimde tasarlanması, yapının diğer sistemlerinin de ekonomik olmasına katkıda bulunmaktadır.

Rijit çerçevelerin sayısı azaltılarak çekirdek bölgesine diyagonal elemanlar veya kafes kirişli perdeler kullanılması, yanal yüklemelere karşı daha dayanıklı ve ekonomik bir yapı sistemi oluşturmaktadır.

Yanal yüklemelerin etkisinin fazla olduğu yerlerde rijit çerçevelerin kullanımı basit çerçevelerden daha ekonomik olmaktadır. Çok yüksek binalarda ise tüp sistemler kullanılarak yapı rijitliği artırılmaktadır.

Düşey yükler altında yapı ağırlığını azaltmak için kompozit kiriş kullanımı, yüksek mukavemetli çelik kullanımından daha etkilidir. Ancak kompozit kirişlerin yapım maliyetlerinin fazla olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik(1996), İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayın No 22, İzmir.
- [2] Arbed Profil Katalogları, Composite Columns. Arbed Catalogs, Luxembourg.
- [3] Arbed Profil Katalogları, Europrofil. Arbed Catalogs, Luxembourg.
- [4] Blanc, A., Mc Evoy, M. ve Plank, R.(1993), Architecture and Construction in Steel, E & FN Spon, London.
- [5] Baehre,R., Yu,W.W. ve Toma,T.(1993), Cold-Formed Steel in Tall Buildings, McGrawHill Inc.
- [6] Bowles, J.E.(1980), Structural Steel Design, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [7] Clarke, A.B.,Coverman, S.H.(1987), Structural Steelwork, Chapman and Hall, London.
- [8] Çamlıbel, N. (1994), Depreme Dayanıklı Yapıların Tasarım İlkeleri, Y.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı İşliği, İstanbul.
- [9] Deren, H. (1995), Çelik Yapılar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [10] Dowling, P.J., Harding, J.E., Bjorhovde, R. ve Martinez-Romero, E. (1992), Constructional Steel Design, Elsevier Applied Science, London and New York.
- [11] Dowling, P.J., Knowles, P.R. ve Owens, G.W.(1988), Structural Steel Design, The Steel Construction Institute Butterworths, London.
- [12] McCormac, J.C.(1965), Structural Steel Design, International Textbook Company, Pennsylvania.
- [13] Özden, K., Kumbasar, N. (1993), Betonarme Yüksek Binalar, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [14] Özgen, A., Uzgider, E. ve Arda, T.S.(1989), Çok Katlı Çelik Yapılar,IV.Çelik Yapılar Semineri Cilt 2, İTÜ Vakfı ve İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [15] Schleich, J.B.(1987), Numerical Simulations, The Forthcoming Approach in Fire Engineering Design of Steel Structures, Arbed Catalogs, Luxembourg.
- [16] Tall, L., Beedle, L.S. ve Galambos, T.V.(1964), Structural Steel Design, The Ronald Press Company, New York.
- [17] T.S. 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (1987), Ankara.
- [18] Yamantürk, F.E., Özgen,E.G.(1993), Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemleri (Schueller, W.), Y.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı İşliği, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 11.01.1976

Doğum yeri GÖNEN

Lise 1990-1993 İzmir Özel Yamanlar Fen Lisesi.

Lisans 1993-1997 İstanbul Teknik Üniversitesi.
İnşaat Mühendisliği Bölümü.

Yüksek lisans 1997-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı programı.