

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK AÇIKLIKLI ENDÜSTRİ YAPILARINDA
ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ömer MÜNGAN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK AÇIKLIKLI ENDÜSTRİ YAPILARINDA
ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ömer MÜNGAN
(501061101)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cavidan YORGUN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Canan GİRĞİN (YTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Öncelikle bugünlere gelmemi sağlayan ve her zaman maddi ve manevi desteklerini gördüğüm aileme çok teşekkür ederim.

Lisans ve yüksek lisans öğrenim hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, çelik yapılar hakkında bana büyük katkılar sağlayan danışman hocam Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI'ya sonsuz saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Bana çelik yapıları sevdiren, böylece benim çelik yapılar üzerine yönelmeme neden olan ve her zaman her konuda bana yardımcı olan Dr. Cüneyt VATANSEVER'e çok çok teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım boyunca ve tezin yazımında çok büyük emeği geçen arkadaşım Burcu AKYILDIZ'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Mayıs 2009

Ömer Mungan

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş Ve Tezin Amacı	1
2. ÇELİK ENDÜSTRİ YAPILARI	3
2.1 Taşıyıcı Sistemler	3
2.2 Hal Konstrüksiyonu Statik Sistemleri	4
2.2.1 Birinci grup haller	4
2.2.2 İkinci grup haller	5
2.2.3 Üçüncü grup haller	6
2.2.4 Özel yapı halleri	7
2.3 Endüstri Yapıların Stabilitesi	7
2.3.1 Çatı stabilitesi.....	7
2.3.1.1 Düşey stabilite bağlantıları.....	7
2.3.1.2 Çatı düzlemi stabilite bağlantıları	9
2.3.2 Duvar stabilite bağlantıları.....	11
2.3.2.1 Yan duvar kuşak ve dikmeleri	12
2.3.2.2 Kalkan duvar kuşak ve dikmeleri.....	13
2.3.3 Boyuna doğrultu stabilite bağlantıları	15
2.3.4 Kalkan duvar stabilite bağlantıları	16
3. 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİ.....	17
3.1 Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Kuralları	17
3.1.1 Elastik deprem yüklerinin tanımlanması : Spektral ivme katsayısı	17
3.1.1.1 Etkin yer ivmesi katsayısı.	17
3.1.1.2 Bina önem katsayısı	17
3.1.1.3 Spektrum katsayısı	18
3.1.2 Elastik deprem azaltılması: Deprem yükü azaltma katsayısı.....	19
3.1.2.1 Taşıyıcı sistemlerin süneklilik düzeylerine ilişkin genel kurallar.....	19
3.1.3 Hesap yönteminin seçilmesi.....	22
3.1.3.1 Hesap yöntemleri	22
3.1.3.2 Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları	22
3.1.4 Eşdeğer deprem yükü yöntemi.....	22
3.1.4.1 Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi	22
3.1.4.2 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi.....	23
3.1.4.3 Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi.....	24

3.1.4.4 Eleman asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler.....	25
3.1.5 Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması, ikinci mertebe etkileri ve deprem derzleri.....	25
3.1.5.1 Etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması	25
3.1.5.2 İkinci mertebe etkileri	26
3.2 Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları	27
3.2.1 Genel kurallar	27
3.2.1.1 Malzeme koşulları ve emniyet gerilmeleri	27
3.2.1.2 Artırılmış deprem etkileri	28
3.2.1.3 İç kuvvet kapasiteleri ve gerilme sınır değerleri	29
3.2.2 Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler	29
3.2.2.1 Enkesit koşulları	29
3.2.2.2 Kiriş-kolon birleşim bölgeleri	32
3.2.3 Süneklik düzeyi normal çerçeveler	35
3.2.3.1 Enkesit koşulları	35
3.2.3.2 Kiriş-kolon birleşim bölgeleri	35
3.2.4 Merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı perdeler	36
3.2.5 Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler	37
3.2.5.1 Enkesit koşulları	37
3.2.5.2 Yatay yüklerin dağılımı.....	38
3.2.5.3 Çaprazların birleşimi	38
3.2.6 Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler	38
3.2.6.1 Enkesit koşulları	38
3.2.6.2 Çaprazların birleşimi	39
4. SİSTEM TANIMI	41
4.1 Problem Tanımı	41
4.2 Boyutlandırma	45
4.3 Tasarım Esasları	46
4.3.1 Profil kırıli çerçeve sistem tasarım esasları	47
4.3.1.1 Düşey yükler	48
4.3.1.2 Rüzgar yükleri	48
4.3.1.3 Deprem karakteristikleri.....	49
4.3.1.4 (y) doğrultusu çatı ve düşey çapraz analizi	50
4.3.2 Kafes kırıli çerçeve sistem tasarım esasları	51
4.3.2.1 Düşey yükler	51
4.3.2.2 Rüzgar yükleri	51
4.3.2.3 Deprem karakteristikleri.....	52
4.3.2.4 (y) doğrultusu çatı ve düşey çapraz analizi	52
4.3.3 Aşık, kalkan duvar dikmesi ve yatay kuşakların boyutlandırılması.....	53
4.3.3.1 Aşık boyutlandırılması	53
4.3.3.2 Kalkan duvar dikmesi ve yatay kuşak boyutlandırılması.....	54
5. ÇELİK SİSTEMLERİN ANALİZİ	57
5.1 Profil Kırıli Çerçeve Sistem Analizi.....	57
5.1.1 Düşey yükler	57
5.1.2 Deprem karakteristikleri.....	57
5.1.3 (x) doğrultusundaki moment aktaran çerçevelerin analizi	57
5.1.3.1 Çerçevenin birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi	57
5.1.3.2 Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi	60
5.1.3.3 Düşüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi	60
5.1.3.4 Rüzgar yükleri	61

5.1.3.5 Yatay yer değiştirmelerin kontrolü	61
5.1.3.6 İkinci mertebe etkileri	62
5.1.4 (y) doğrultusundaki merkezi çapraz sisteminin analizi.....	62
5.1.4.1 Merkezi çapraz sisteminin rüzgar yükleri için hesabı.....	62
5.1.4.2 Merkezi çapraz sisteminin deprem yükleri için hesabı.....	64
5.1.4.3 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması.....	66
5.1.4.4 Çerçeve kolonlarının boyutlandırılması.....	70
5.1.4.5 Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemi elemanlarının boyutlandırılması	73
5.2 Kafes Kirişli Çerçeve Sistem Analizi.....	76
5.2.1 Düşey yükler	76
5.2.2 Deprem karakteristikleri	76
5.2.3 (x) doğrultusundaki kafes kirişli çerçevelerin analizi	76
5.2.3.1 Çerçevenin birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi	76
5.2.3.2 Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi	78
5.2.3.3 Düşüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi	79
5.2.3.4 Rüzgar yükleri.....	79
5.2.3.5 Yatay yer değiştirmelerin kontrolü	79
5.2.3.6 İkinci mertebe etkileri	80
5.2.4 (y) doğrultusundaki merkezi çapraz sisteminin analizi.....	81
5.2.4.1 Merkezi çapraz sisteminin rüzgar yükleri için hesabı.....	81
5.2.4.2 Merkezi çapraz sisteminin deprem yükleri için hesabı.....	83
5.2.4.3 Kafes kiriş elemanlarının boyutlandırılması	84
Üst başlık hesabı	84
Alt başlık hesabı.....	85
Örgü çubuğu hesabı.....	85
5.2.4.4 Çerçeve kolonlarının boyutlandırılması.....	86
5.2.4.5 Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemi elemanlarının boyutlandırılması	89
6. ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	93
6.1 Profil Kirişli Çerçeve Sistem İçin Profil Çözümlerinin Karşılaştırılması.....	93
6.2 Kafes Kirişli Çerçeve Sistem İle Profil Kirişli Çerçeve Sistemin Karşılaştırılması	94
6.3 Kafes Kirişli Çerçeve Sistemde Çatı Çaprazları Analizleri Karşılaştırılması..	95
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	99
KAYNAKLAR	103
EKLER.....	105

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
TS	: Türk Standardı
PKÇS	: Profil Kirişli Çerçeve Sistem
KKÇS	: Kafes Kirişli Çerçeve Sistem

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	17
Çizelge 3.2 : Bina Önem Katsayısı (I).....	18
Çizelge 3.3 : Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B).....	19
Çizelge 3.4 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)	21
Çizelge 3.5 : Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar	22
Çizelge 3.6 : Hareketli yük katılım katsayısı (n)	23
Çizelge 3.7 : D_a arttırma katsayıları.....	28
Çizelge 3.8 : Büyütme katsayıları.....	29
Çizelge 3.9 : Enkesit koşulları	31
Çizelge 5.1 : Düğüm noktası ağırlıkları ve kütleleri.....	59
Çizelge 5.2 : Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri	59
Çizelge 5.3 : Düğüm noktası ağırlıkları ve kütleleri.....	77
Çizelge 5.4 : Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri	78
Çizelge 6.1 : İki tip sistemin ağırlık karşılaştırması	95
Çizelge 6.2 : Kafes kirişli çerçeve sistem çatı çapraz karşılaştırması	97
Çizelge B.1 : Profil kirişli çerçeve sistem elemanları ve toplam ağırlıkları.....	111
Çizelge B.2 : Kafes kirişli çerçeve sistem elemanları ve toplam ağırlıkları.....	112
Çizelge B.3 : Profil kirişli çerçeve sistem elemanlarının gerilme ve deplasman değerleri.....	113
Çizelge B.4 : Kafes kirişli çerçeve sistem elemanlarının gerilme ve deplasman değerleri.....	114

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Taşıyıcı sistemler.....	4
Şekil 2.2 : Birinci grup haller	5
Şekil 2.3 : Kolon teşkili	5
Şekil 2.4 : İkinci grup haller	6
Şekil 2.5 : Üçüncü grup haller	6
Şekil 2.6 : Düşey stabilite bağları	8
Şekil 2.7 : Düşey stabilite bağı-makas bağlantısı	9
Şekil 2.8 : Çapraz-kafes kiriş bağlantısı	9
Şekil 2.9 : Çatı düzlemi stabilite bağları.....	10
Şekil 2.10 : Ara aşıklı sistemlerde ana kiriş üst başlığının burkulmada davranışı	11
Şekil 2.11 : Kolon dış yüzünde duvar teşkili	12
Şekil 2.12 : Yan duvarlar	13
Şekil 2.13 : Kalkan duvar teşkili	14
Şekil 2.14 : Kalkan duvar ara dikmeleri	15
Şekil 2.15 : Kalkan duvar stabilite bağları	16
Şekil 3.1 : Bina katlarına etkileyen eşdeğer deprem yükleri	24
Şekil 3.2 : Bina i. katına etkileyen fiktif deprem yükü.....	25
Şekil 3.3 : Eleman asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler.....	25
Şekil 3.4 : Gerekli kesme kuvveti dayanımı	33
Şekil 3.5 : Tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı	34
Şekil 3.6 : Merkezi çelik çaprazlı perdeler	36
Şekil 3.7 : Dışmerkez çelik çapraz perdeler	37
Şekil 4.1 : Profil kirişli çerçeve sistem genel görünüşü.....	42
Şekil 4.2 : Tipik çerçeve enkesiti.....	42
Şekil 4.3 : Çerçeve sistem görünüşü.....	43
Şekil 4.4 : Kafes kirişli çerçeve sistem genel görünüşü	43
Şekil 4.5 : Çatı sistem planı	44
Şekil 4.6 : Kafes kirişli çerçeve sistem kiriş düğüm noktaları	45
Şekil 4.7 : Aerodinamik yük katsayıları ve rüzgar yükleri	49
Şekil 4.8 : L=15m sistem için aşık yerleşimi.....	54
Şekil 5.1 : (6) aksı çerçevesine etkileyen sabit ve hareketli yükler (n=0.30)	58
Şekil 5.2 : Cephe kolonlarının rüzgar yükleri ve mesnet tepkileri	63
Şekil 5.3 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkileyen rüzgar yükleri.....	64
Şekil 5.4 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkileyen deprem yükleri.....	66
Şekil 5.5 : (6) aksı çerçevesine etkileyen sabit ve hareketli yükler (n=0.30)	77
Şekil 5.6 : Cephe kolonlarının rüzgar yükleri ve mesnet tepkileri	82
Şekil 5.7 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkileyen rüzgar yükleri.....	82
Şekil 5.8 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkileyen deprem yükleri.....	84
Şekil A.1: Sandwich çatı paneli teknik özellikleri.....	106
Şekil A.2: Sandwich cephe paneli teknik özellikleri	107

Şekil B.1: Grafiklerle sistemlerin m ² ağırlıklarının karşılaştırılması	115
---	-----

TEK AÇIKLIKLI ENDÜSTRİ YAPILARINDA ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRMASI

ÖZET

Ülke ekonomisinin lokomotif sektörü olan inşaat sektöründe, amacına en uygun ve en ekonomik yapıları inşa etmek ülkenin kalkınmasını sağlar.

Bu çalışmada farklı aks aralığı, çerçeve açıklığı ve yapı yüksekliği parametreleri için tek açıklıklı çelik endüstri yapılarının kafes kirişli çerçeve sistem ve profil kirişli çerçeve sistem çözümleri yapılmış, analiz sonuçlarına göre gerçekleştirilecek olan karşılaştırmalarda hangi alternatifin hangi durumda en uygun çözüm verdiği belirlenmiştir.

Yapılan karşılaştırmaların ilki profil kirişli çerçeve sistemlerin kendi içinde karşılaştırılmasıdır. Burada her bir parametre alternatifi için “Yapma Profil”, “IPE Profil” ve “HEA Profil” şeklinde üç alternatif profil kullanılarak aynı sistemin çözümü yapılmış ve sonunda bu sistemde hangi parametrelerde hangi profil tipinin ekonomik çözüm verdiği saptanmıştır.

İkinci karşılaştırma, profil kirişli çerçeve sistemin tamamının IPE profil olması durumundaki analiz sonuçları ile kafes kirişli çerçeve sistem analizinin karşılaştırılmasıdır.

Son karşılaştırma ise kafes kirişli çerçeve sistemde yalnız çatı çaprazlarının hem basınç hem de çekme alacak şekilde ve ayrıca sadece çekme alacak şekilde teşkil edildiği analizlerin karşılaştırmasıdır.

Ayrıca bu çalışmada çelik endüstri yapıları hakkında bilgi verilmiş, çalışma kapsamında kullanılacak olan 2007 deprem yönetmeliği maddeleri açıklanmış, profil kirişli çerçeve sistem ve kafes kirişli çerçeve sistem için birer örnek analiz hesabı verilmiştir.

Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda; kafes kirişli çerçeve sistem ve profil kirişli çerçeve sistemlerin hangi açıklıklarda, aralıklarda ve yüksekliklerde birbirine karşı daha uygun bir çözüm olduğu ve ön boyutlandırma aşamasında ise çözümde hangi profilin kullanılması gerektiği ve bu profille oluşturulacak sistemin kesitlerinde oluşacak deplasmanların ve gerilmelerin mertebeleri konularında ön görüş elde edilmiştir.

THE COMPARISON OF STEEL STRUCTURAL SYSTEMS IN SINGLE SPAN INDUSTRIAL BUILDINGS

SUMMARY

Being the major sector of a country's economy, constructing the most economical and function oriented buildings improves the country's economy.

This study includes profile beamed frame systems' and trussed beamed frame systems' solutions while handling single spanned steel industrial buildings based on varied axle span, frame span and structure's height parameters. Moreover, to find out the most appropriate solution in any situation, we made comparison between the systems.

The first comparison is within profile beam truss systems alternatives. In terms of each parameter alternatives, the same system is solved for three alternative profiles such as "Built-up Section", "IPE Profile" and "HEA Profile" and finally using these solutions and determinations of which profile gives the most economic solution in which parameters were achieved.

As a second comparison the solutions of profile beamed frame systems of which system components are IPE Profile and trussed beamed frame systems are considered.

The final comparison is trussed beamed frame systems of which in the first alternative roof braces are under the compression forces and tension forces and in the second alternative roof braces are only under the tension forces.

Furthermore, in this study there are statements about steel industrial buildings and The Regulations About the Buildings to be Built in Earthquake Regions (2007) which includes just the parts that will be used in this study, besides there will be a solution example of profile beamed frame systems and trussed beamed frame systems respectively.

As a solution of these comparisons, the most appropriate way out of which axle span, frame span and structure's height parameters are suitable for the solution alternatives of profile beamed frame systems and trussed beamed frame systems and furthermore the displacements of system sections and strengths degree according to the usage of selected profile will be obtained as a prescience.

1.GİRİŞ

1.1 Giriş ve Tezin Amacı

İnşaat sektörü, bir ülkenin üretim kapasitesi ve gerçek büyüme hızı açısından ekonominin lokomotif sektörüdür. Bu nedenle inşaat sektörü, gelişmekte olan ülkelerin kalkınmasında büyük görevler üstlenmektedir [1]. Bu açıdan bakıldığında ülkemizin kalkınmasında ve ekonomisinin büyümesinde en büyük görev, amacına en uygun, en ekonomik ve en güvenli olan yapıları inşa etmekle görevli biz inşaat mühendislerine düşmektedir.

Her mühendislik tasarım probleminin birden fazla kabul edilebilir ve geçerli çözümü vardır. Ancak asıl önemli olan bir çok mevcut çözümler arasında en iyi (optimum) çözümün bulunabilmesidir. Yapı Mühendisliği alanında ise yapı tasarımı genelde çeşitli pratik ve teorik değerlere dayanan bir kararlar dizisi olduğundan tasarımcının tecrübe, sezgi ve benzer tasarımlardan elde ettiği bilgilere dayanır. Bu açıdan bakıldığında uygulamada yapı tasarımının henüz bir deneme-yanılma metodu çemberinin dışına çıkamadığı görülmektedir [2].

Ülkemizde inşaat yatırımlarının önemli bir bölümünü endüstriyel yapılar oluşturmaktadır. Endüstri yapıları büyük hacimlerin örtülmesinde kullanılan bir yapı türüdür [3]. Bu yapılar genellikle tek katlı ve bir doğrultuda büyük açıklıktan oluşan sistemleri içerir. Endüstriyel yapının statik sistemini uygun bir şekilde seçmenin yapının ekonomik çözümüne yardımcı olacağı açıktır.

Endüstriyel yapılar; çelik, prefabrik ve yerinde dökme betonarme imalat olarak tasarlanabilmektedir. Prefabrik ve çelik yapılar taşıyıcı elemanları önceden hazırlanan ön-üretimli inşaat sistemlerindendir. Ön üretimli inşaat sistemleri saha ve hava koşullarından zaman ve kalite olarak etkilenmedikleri için yerinde dökme betonarme imalata göre büyük bir avantaja sahiptirler.

Günümüzde ülkemizde endüstriyel yapıların taşıyıcı sistemlerinde çelik malzemeli inşaatla ağırlık verilmektedir. Bunun en önemli nedenlerinden biri de ülkemizin deprem kuşağında yer alması nedeniyle, betonarmeye göre daha sünek davranış

gösteren çelik yapıların kullanılmasının daha uygun olmasıdır. Ayrıca çelik yapılar daha küçük kesitler içermektedirler ve buna bağlı olarak ağırlıkları daha azdır. Deprem kuvvetleri de ağırlıkla doğru orantılı olduğundan yapı daha küçük deprem yüklerine maruz kalacaktır. Binanın ağırlığı daha az olduğundan taşıma gücü zayıf zemin olması durumunda temel problemleri ile karşılaşma olasılığı da daha az olacaktır.

Bu çalışmada inşaat mühendisliği problemlerinden çelik endüstri yapılarında kullanılan profil kirişli çerçeve sistem ve kafes kirişli çerçeve sistem çözümleri ele alınmıştır.

Kafes kirişli çerçeve sistem, dolu gövdeli sistemlere göre geniş alanları örtmede ve büyük açıklıkları geçmede kullanılan yöntemlerden biridir. Kafes kirişler doğru eksenli çubukların uçlarının birbirine mafsallı olarak birleştirilmesiyle elde edilirler.

Profil kirişli çerçeve sistemler ise kiriş ve kolonların birlikte çalışacak şekilde mafsallı ya da rijit birleştirilmesiyle oluşturulur. Rijit birleşim, kesme kuvveti ve moment etkisindeki bir elemanın birleştiği elemana bu iki etkiyi de geçirdiği birleşimlerdir. Mafsallı birleşimler ise sadece kesme kuvveti aktarır. Kirişin kolonlara sadece mafsallı birleştiği sistemlerin çaprazlanmadığı sürece yanal rijitliği yoktur.

Bu çalışmanın amacı, meslektaşlarımıza, kafes kirişli çerçeve sistem ve profil kirişli çerçeve sistemlerin hangi açıklıklarda, aralıklarda ve yüksekliklerde birbirine karşı daha ekonomik bir çözüm olduğu ve ön boyutlandırma kısmında ise çözümde hangi profilin kullanılması gerektiği ve bu profille oluşturulacak sistemin kesitlerinde oluşacak deplasmanların ve gerilmelerin mertebeleri konularında ön bilgi vermektir.

2. ÇELİK ENDÜSTRİ YAPILARI

Endüstri yapıları, büyük hacimlerin örtülmesinde kullanılan fabrika, antrepo, uçak ve taşıt hangarları gibi yapı türlerini içermektedir. Bu yapılar, çoğunlukla tek katlı olan ve bir doğrultuda büyük açıklıklardan oluşan sistemlerdir. Bu yapılarda, iç hacim kolon sıraları ile çeşitli gözlere bölünebileceği gibi kolonsuz da olabilir. Ayrıca yapının kullanım fonksiyonuna bağlı olarak, iç hacimlerde ara platformlar, balkonlar, tribünler yer alabilir. Ancak, bu ilave yapıların genellikle sistemin ana taşıyıcı konstrüksiyonu ile ilgisi bulunmaz. Dolayısıyla, ek yapılara gelebilecek olan dinamik etkilerin ana statik sisteme geçmesi önlenmiş olur [4].

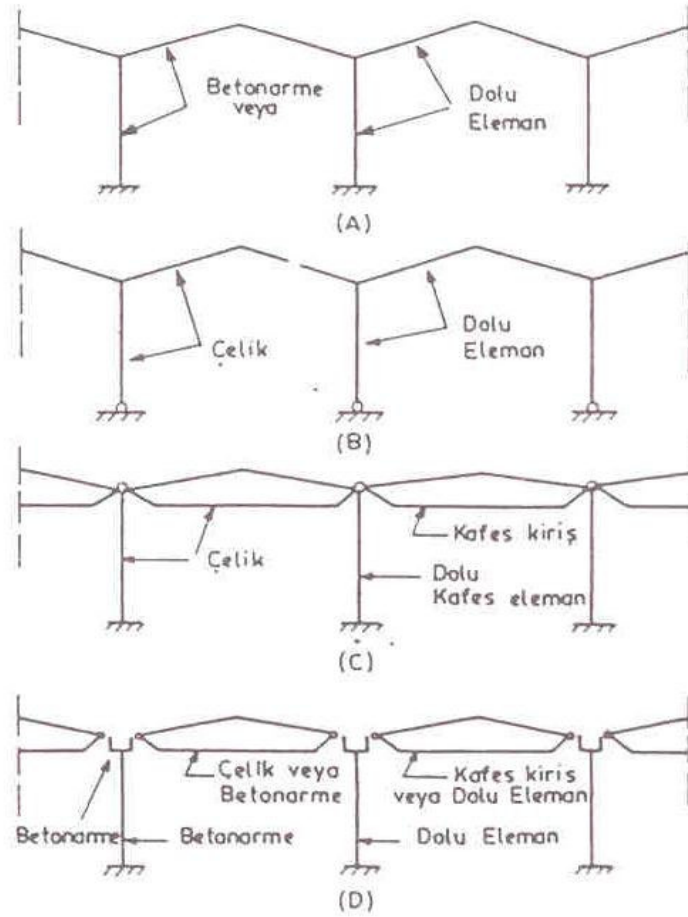
Hal konstrüksiyonu, büyük hacimlerin örtülmesinde en yaygın olarak kullanılan yapı türüdür. Hal konstrüksiyonunun plandaki düzeni, enkesit şekli, bunlara ilişkin boyutları ve konstrüktif detayları, yapının kullanım amacına, ışıklandırma, ısı izolasyonu, havalandırma ve ısıtma sorunlarına ve hacim içindeki taşıma biçimlerine ve diğer donatı özelliklerine göre belirlenmelidir. Bununla birlikte, yapının ileride genişletilme olasılığı, zemin durumu, yörenin deprem bölgesi derecesi göz önünde tutulması gereken diğer çok önemli etkenlerdir. Dolayısıyla, sanayi yapısının ilk planlamasının titizlikle ve detaylı bir şekilde ele alınması gerekmektedir ve işin başlangıcından itibaren ilgili tüm uzmanların birlikte çalışması sağlanmalıdır [5].

2.1 Taşıyıcı Sistemler

Bir yapının kullanım amacı ve türü ne olursa olsun, ön projelendirme aşamasında taşıyıcı sistem ve kullanılacak olan yapı malzemesinin güvenlik, ekonomi ve estetik koşullarına uygun olarak seçilmesi gerekir [4]. Ülkemizde endüstri yapılarında ana malzeme olarak betonarme, çelik ve betonarme-çelik kullanılabilir (Şekil2.1).

Endüstri yapısının malzemesi betonarme olarak belirlendiğinde iki seçenek söz konusu olmaktadır. Birinci seçenek prekast betonarme kırık çerçeveler (Şekil 2.1/A), ikinci seçenek ise ankastre prekast betonarme kolonlar üzerine oturan prekast betonarme oluk kirişleri ile prekast betonarme trapez çatı kirişlerinden oluşan

sistemlerdir (Şekil 2.1/D). Sistem çelik olarak tercih edildiğinde seçenekler daha fazladır. Dipten ankastre veya mafsallı çok gözlü kırık çerçeveler (Şekil 2.1/A,B) ve ankastre kolonlara mafsallı oturan çelik çatılı sistemler (Şekil 2.1/C) tek gözlü hal konstrüksiyonu tiplerinin en çok kullanılan örnekleridir [6].



Şekil 2.1 : Taşıyıcı sistemler [6].

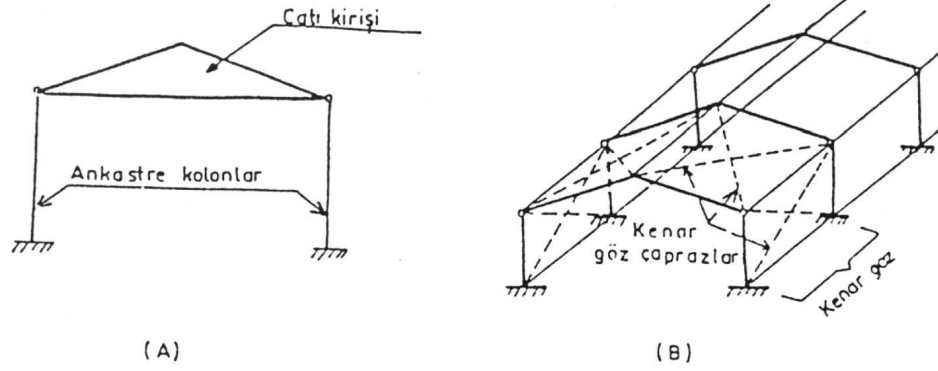
2.2 Hal Konstrüksiyonu Statik Sistemleri

Hallerin statik sistemleri genel olarak üç ana tipte toplanabilir. Ayrıca bu ana tiplerin dışında uçak hangarları ve şed yapıları gibi biraz daha değişik olan özel sistemlerde bulunmaktadır [5].

2.2.1 Birinci grup haller

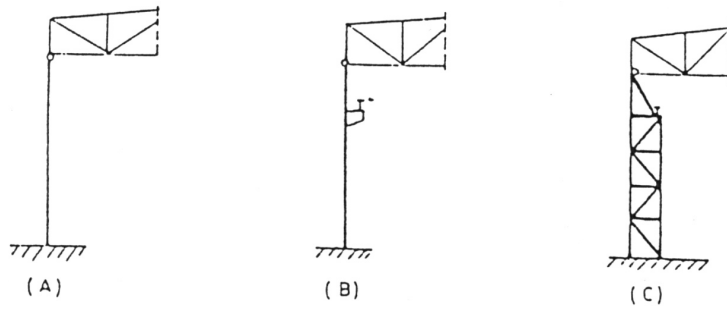
İki ankastre kolon üzerine mafsallı olarak oturan çatı kirişlerinden oluşan yapı birinci grup halleri oluşturmaktadır (Şekil 2.2). Yatay yükler altındaki sistem stabilitesi,

çerçeve düzlemi içindeki ankastre kolonlar ile sağlanmaktadır. Çerçeve düzlemine dik gelen yatay etkiler ise, binanın ön ve arka cephelerindeki kenar gözlerinde kullanılan stabilite bağlantıları (çapraz bağlantılar) ile alınmaktadır (Şekil 2.2/B) [5].



Şekil 2.2 : Birinci grup haller [4].

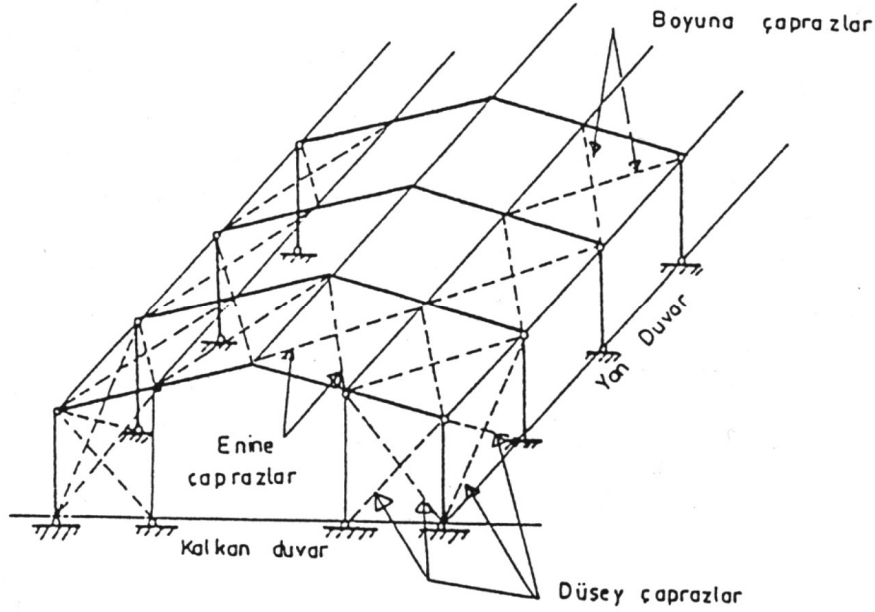
Çatı kirişleri genellikle kafes sistemdir. Kren yükünün olmadığı veya hafif kren yükünün olduğu durumlarda kolonlar dolu gövdeli (Şekil 2.3/A,B), kren yükünün ağır olduğu durumlarda ise kolonlar kafes sistem (Şekil 2.3/C) şeklindedir [5].



Şekil 2.3 : Kolon teşkili [4].

2.2.2 İkinci grup haller

Mafsallı kolonlar ve bunların üzerine yine mafsallı olarak oturan çatı kirişlerinden oluşan yapı ikinci grup halleri oluşturmaktadır (Şekil 2.4). Bu tip hallerde yatay yükler altındaki stabilite, her iki doğrultudaki çapraz bağlantılarla sağlanmaktadır. Yan duvarlara dik gelen yatay etkiler için; çatıda boyuna doğrultu ve düşeyde kalkan duvarda teşkil edilen çaprazlar, kalkan duvara dik gelen etkiler için ise; çatıda enine doğrultuda ve düşeyde yan duvarda konan stabilite elemanları görev yapmaktadır [4].

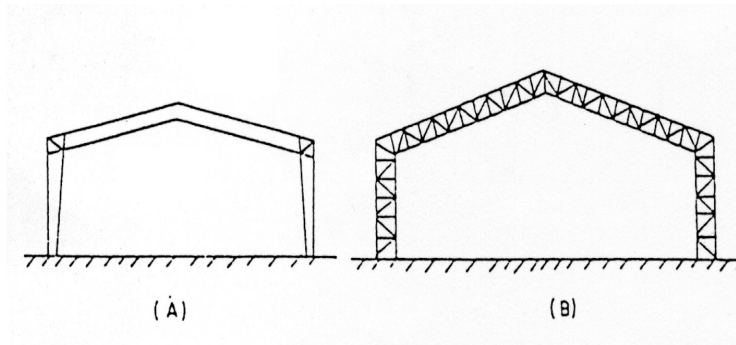


Şekil 2.4: İkinci grup haller [4].

Çatı düzleminde teşkil edilen bu, her iki doğrultudaki bağlantıların reaksiyonları, bağlantıların başına yerleştirilen düşey çaprazlarla temele aktarılmaktadır. Bu tip hallerde genellikle kren yoktur ve bu nedenle kolonlar dolu gövdeli (Şekil 2.3/A) ve çatı kirişi kafes sistem olarak tasarlanır [4].

2.2.3 Üçüncü grup haller

Ana taşıyıcısı çerçeve olan hallerdir. Bu çerçeve iki mafsallı, üç mafsallı veya ankastre olabilir [5]. Bu sayede çerçeve düzlemine paralel yatay etkiler çerçevenin kendi stabilitesi ile karşılanmaktadır. Çerçeve düzlemine dik gelecek yatay etkiler ise, 1. grup hallerde belirtildiği şekilde düzenlenen çapraz bağlantılar ile alınır. Ana çerçevenin kolon ve kirişi dolu gövdeli olabileceği gibi (Şekil 2.5/A), açıklıklar ve yükler artıkça kafes sistem şeklinde (Şekil 2.5/B) de düzenlenebilir [4].



Şekil 2.5 : Üçüncü grup haller [4].

2.2.4 Özel yapı halleri

Yukarıda bahsedilen üç grup dışında, bazı yapı türlerinde kullanılan değişik tip hal yapıları da bulunmaktadır [4]. Bu yapılar şu şekildedir:

- Çok gözlü haller,
- Şed halleri,
- Uçak hangarları.

2.3 Endüstri Yapılarının Stabilitesi

Yapı ancak dış ortamdan gelen etkilerin hepsinin yapının temeline iletilmesi durumunda dengede kalabilir. Bu etkilerden önemli olanlar göz önüne alınıp, diğerlerini ihmal ederek yapılacak olan boyutlandırma, özellikle güvenlik katsayısı diğer yapı türlerine göre daha küçük olan çelik yapılar için güvenli değildir. Hatta bu tür ihmaller yapının çökmesine bile neden olabilirler [4]. Örneğin, çelik yapı elemanlarının boyutlandırılmasında, elemanların yalnız kendi düzlemleri içindeki etkileri değerlendirmeye alınarak yapılacak hesaplar sonucunda, çelik yapıların stabilitesi yetersiz kalmakta ve güvensiz yapılar ortaya çıkmaktadır. Taşıyıcıların düzlemlerine dik olarak etkiyen rüzgar, deprem vb etkileri almak, sistemin yanal şekil değiştirmelerini önleyerek elemanların ana yüklere göre hesaplandıkları basınç konumlarında kalmalarını sağlamak ve devrilmelerini önlemek amacıyla düzenlenen bağlantılara stabilite veya kararlılık bağları (çaprazları) adı verilmektedir. Bu bağların her doğrultu için stabiliteyi sağlayacak şekilde düzenlenmeleri çelik yapılar için çok önemli ve zorunludur [4].

2.3.1 Çatı stabilitesi

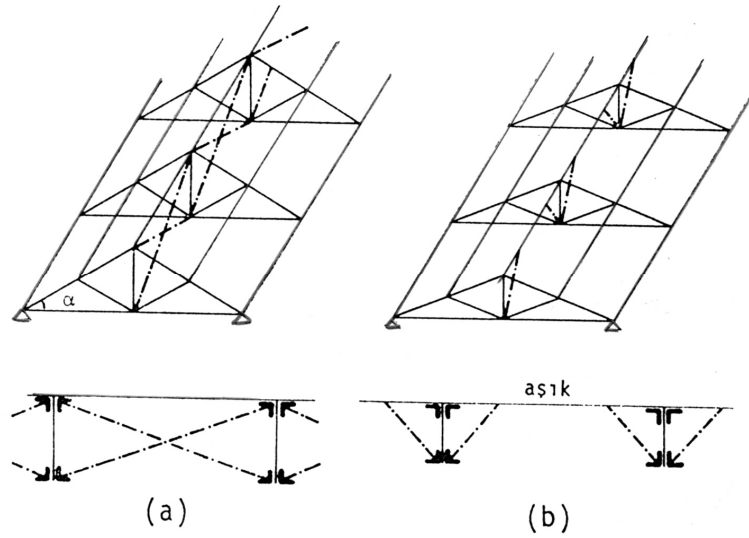
Çatı stabilite bağları düşeyde ve çatı düzleminde olacak şekilde iki konumda düzenlenmektedirler [7].

2.3.1.1 Düşey stabilite bağları

Çatı ana kirişleri, kendi düzlemleri içindeki etkileri taşıyacak şekilde hesaplanarak boyutlandırılırlar [4]. Hesaplandıkları düzlemde ana kirişleri tutabilmek ve aynı zamanda, alt başlığın düzlemi dışına burkulma boyunu sınırlandırmak amacıyla düşey stabilite bağlantılarının düzenlenmesi gerekmektedir. Bu bağların, makas

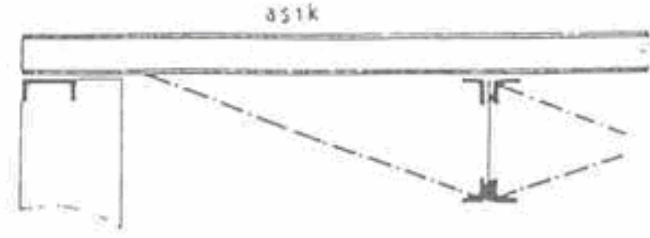
açıklıkları 25m'den az olan sistemlerde mahya düzleminde, 25-30m arasında olanlarda en az iki düzlemde, 30m'den daha büyük olanlarda ise biri mahya düzleminde olmak üzere en az üç düzlemde oluşturulması önerilmektedir. Paralel başlıklı veya trapez makaslarda bağlantılar mesnetler üzerinde düzenlenebilirler [7].

Düşey stabilite bağlantıları, yan yana olan çatı makasının birinin alt başlığından diğerinin üst başlığına giderek tüm yapı boyunca devam ederler ve başlıklara düğüm levhaları aracılığıyla bağlanırlar (Şekil 2.6/A). Makasın yüksekliği az ise, alt başlığın destekler aracılığıyla aşıklara bağlanması da yeterli olmaktadır (Şekil 2.6/B) [4].



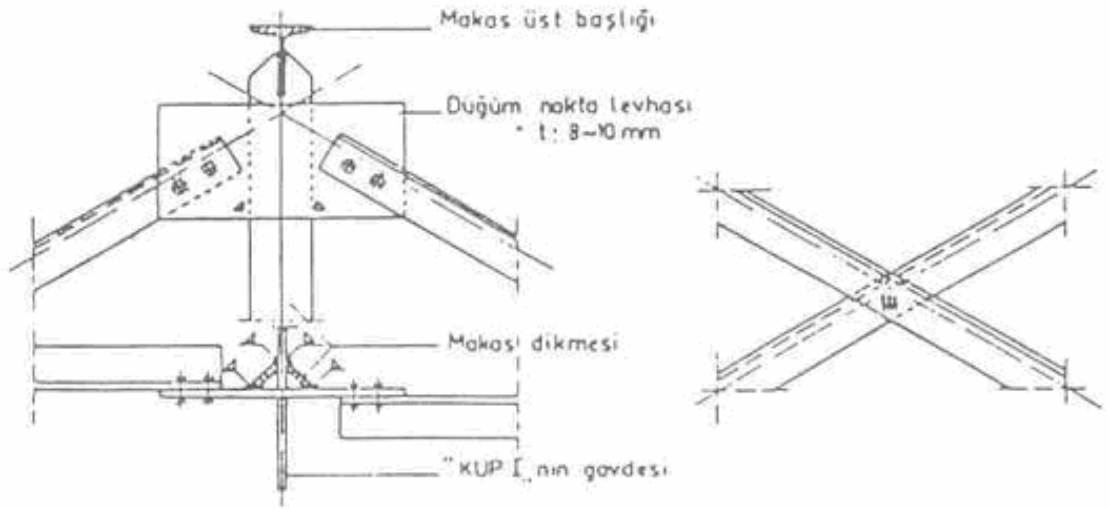
Şekil 2.6 : Düşey stabilite bağları [4].

Çaprazların kesitleri, makas yük ve açıklığı ile aks aralığı gibi etmenler de göz önüne alınarak, L45.45.4 ~ L60.60.6 köşebentlerinden seçilebilir. Uç ve ara aks aralıklarında ihtiyaç duyulduğunda bu kesitler artırılmalıdır. Özellikle kalkan duvarda bir makas bulunmuyorsa ve aşıklar direk olarak kalkan duvara mesnetleniyorsa, bu mesnet noktasını bir sonraki makasın alt başlığına bağlayan çubuk kesiti, narinliği $\lambda \leq 250$ koşulunu sağlayacak şekilde boyutlandırılmalıdır (Şekil 2.7) [7].



Şekil 2.7 : Düşey stabilite bağı-makas bağlantısı [4].

Çaprazların kafes kiriş ile bağlanması ile ilgili detaylar Şekil 2.8’de görülmektedir.



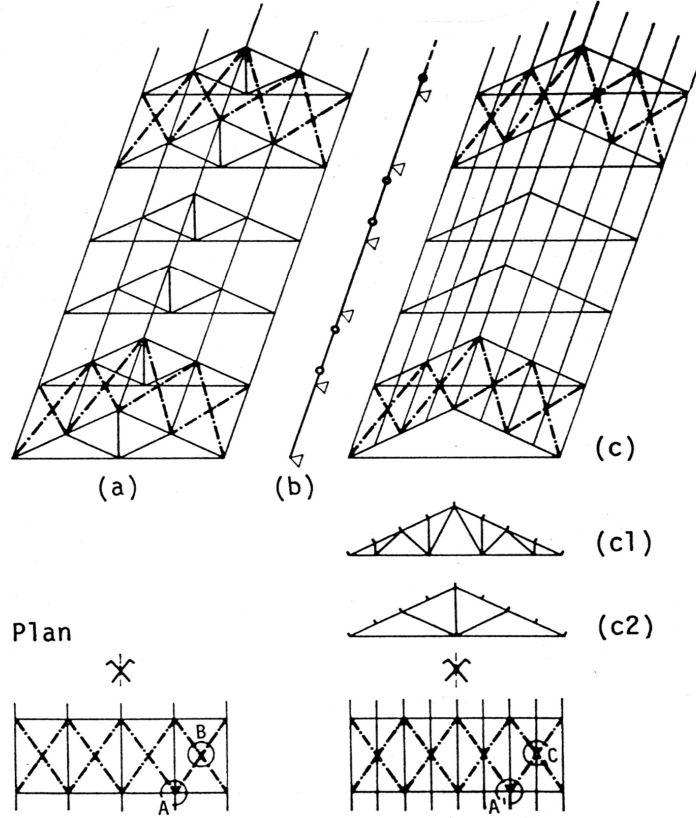
Şekil 2.8 : Çapraz-kafes kiriş bağlantısı [4].

2.3.1.2 Çatı düzlemi stabilite bağları

Ana kirişlerin düzlemlerine dik gelen rüzgar, deprem gibi etkileri alıp yan duvarlara iletmek ve çatı makasının üst başlık çubuklarının düzlemleri dışına burkulma boylarını küçültmek çatı düzlemi stabilite bağları tarafından gerçekleştirilmektedir [4].

Çatı düzlemi stabilite bağlarının sadece enine doğrultuda kullanılmaları bina yan duvarlarının tabandan ankastre olmaları durumunda yeterli olmaktadır. Ankastre bağlantının bulunmadığı durumlarda ise, boyuna doğrultuda bağlantılar bulunmalıdır. Olağan çatı düzlemi stabilite bağları, ana kirişlerle aynı doğrultuda teşkil edilen ve derzlerle ayrılmış her yapı bloğu için en az iki yerde olmak üzere her 3 ~ 5 aks aralığında teşkil edilen kafes kirişlerden oluşmaktadır (Şekil 2.9/a). Bu kafes kirişlerinin alt ve üst başlıkları, aksları arasında yer aldıkları birbirini izleyen iki ana

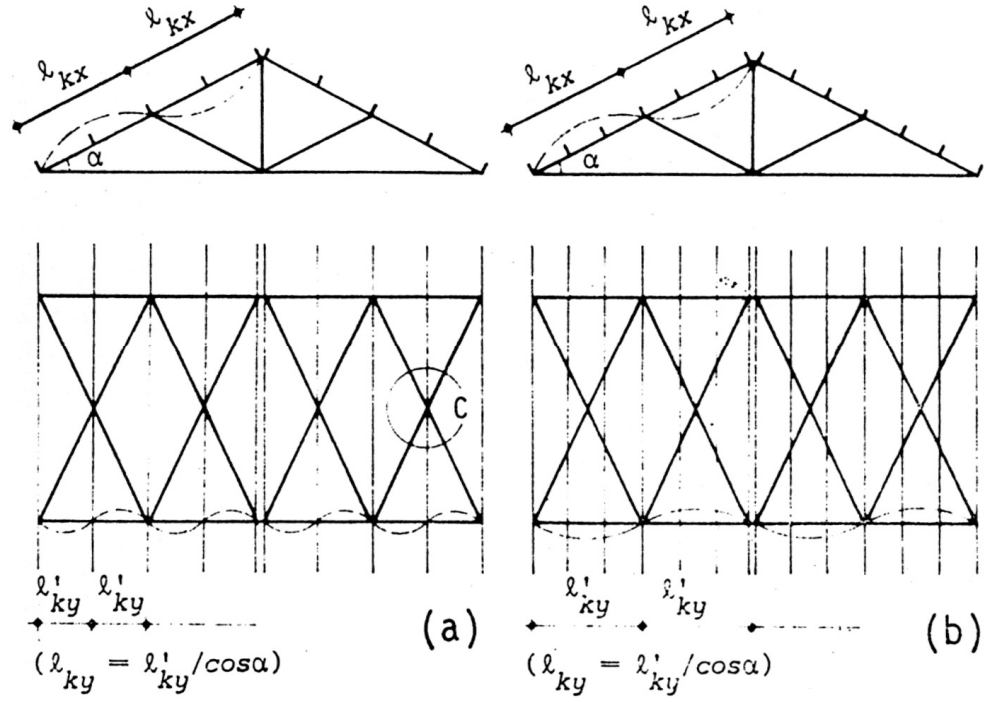
kafes kirişin üst başlıklarından, dikmeleri ise aşıklardan oluşmaktadır. İlave eleman aşıklar arasına konulan çapraz çubuklardır. Aşıklar gerber kiriş olarak teşkil edilirse, stabilite bağıni oluşturan kafes kirişlerin, aşıkların mafsalsız olduğu aks aralıklarında olması gerekmektedir (Şekil 2.9/b) [7].



Şekil 2.9 : Çatı düzlemi stabilite bağları [7].

Bazı çatı örtüsü tiplerinde aşıkların sık konulması gerekebilir. Bu tür bir durumda, üst başlık düğüm noktalarının sıklaştırılması (Şekil 2.9/c1) veya ara aşık kullanılması (Şekil 2.9/c2) gerekmektedir. Sık aşıklıklı sistemlerde, uygulama kolaylığı ve ekonomi nedeniyle, çapraz ek çubuklar iki aşıkta bir teşkil edilmelidir (Şekil 2.9/c) [7].

Aşıkların sık olmadığı çözümde, çaprazların iki aşıkta bir konulması, C noktası bağlantısı uygun çözümlenirse, üçgenleme bozulmadığından, ana kiriş üst başlığının l_{ky} yanal burkulma boyu aşıkların aralığına eşit alınabilir (Şekil 2.10/a). Bu şekilde yanal burkulma boyunun küçülmesi, üst başlığın boyutlandırılmasında önemli olur. Ancak üç aşıkta bir teşkil edilecek olan bağlamanın üst başlığın yanal burkulma boyuna olumlu bir etkisi yoktur (Şekil 2.10/b) [7].

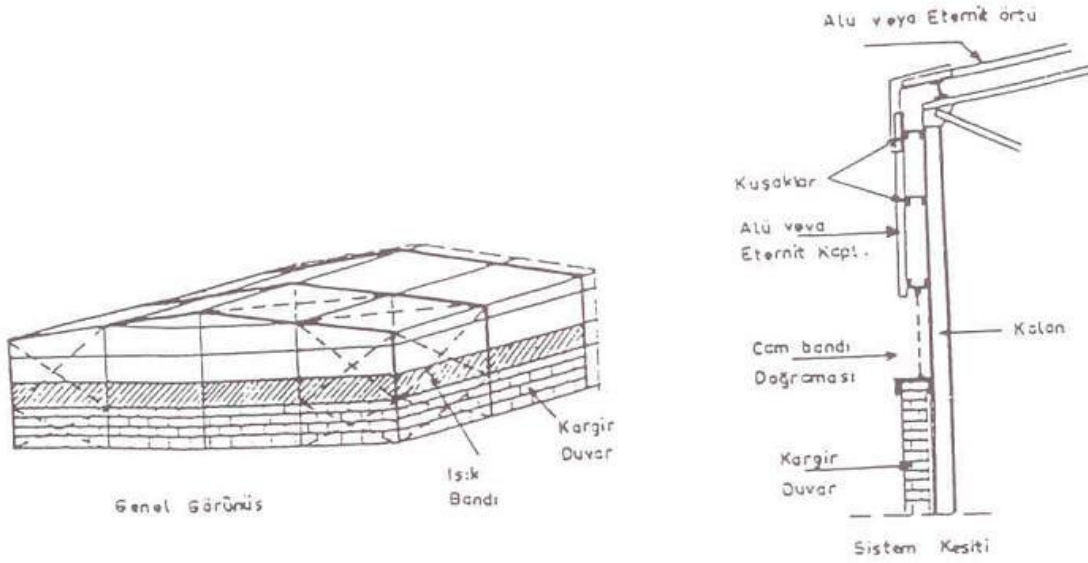


Şekil 2.10 : Ara aşıklı sistemlerde ana kiriş üst başlığının burkulmada davranışı [7].

2.3.2 Duvar stabilite bağları

Kargir türü dolgu veya örtü türü dolgu mesnetleme türlerine göre duvar dolgu elemanları tiplerini oluşturmaktadır. Kargir türü dolgular, tuğla, briket veya hafif beton gibi blok elemanlardan oluşur ve kendilerini dörtkenardan çevreleyen yatay ve düşey kuşaklara bazen de kolonlara mesnetlenirler. Genellikle, duvar teşkili zeminden belli bir kota kadar (2.0 ~ 2.5m) kargir duvar şeklinde, üstü ise ıstık bandı ve çatı örtüsü malzemesi ile kaplanır. Kargir duvarların çelik kolonların dış tarafında, arasında veya iç tarafında yer alması bu genel görüntünün değışkenliğini oluşturur [4].

Kolonlar arasında yer yer çaprazların bulunduğu ve kuşakların kolon aralarına montajının zorluğu düşünüldüğünde duvarın kolon iç veya dış yüzüne çekilmesinin daha uygun olacağı söylenebilir. Duvarın kolon dış yüzünde bulunması, yapı içinde kullanılabilir alanın artırılması açısından en uygun sistem olmaktadır (Şekil 2.11) [4].



Şekil 2.11 : Kolon dış yüzünde duvar teşkili [4].

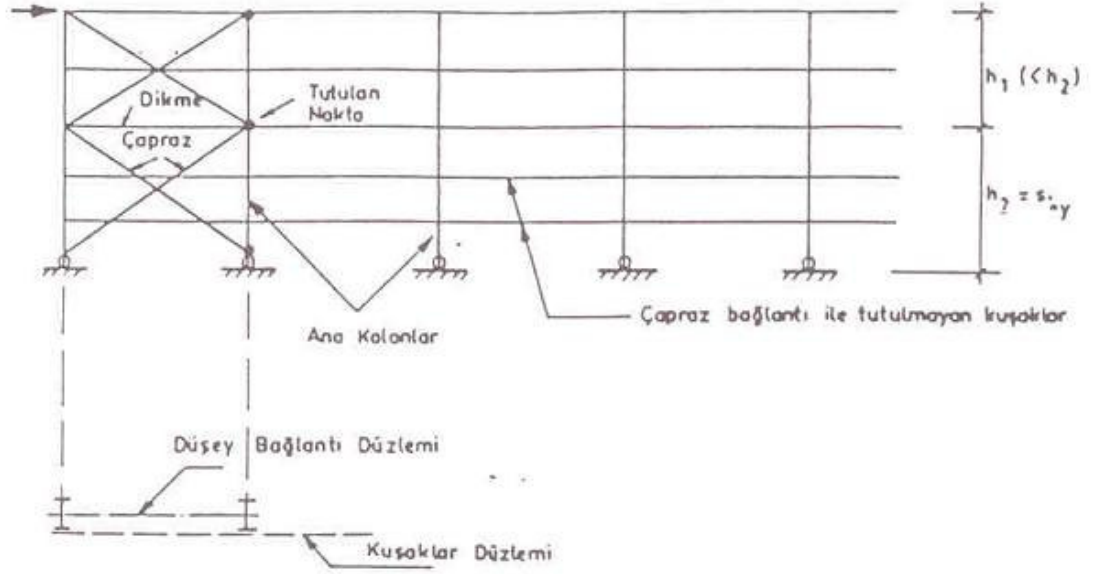
2.3.2.1 Yan duvar kuşak ve dikmeleri

Taşıyıcı özellikleri nedeniyle kargir duvarlarda kullanılan yatay kuşaklardan altları dolu olanların yalnız yatay yüklere göre hesaplanmaları yeterlidir. Altlarında boşluk bulunanların hesaplarında ise düşey yüklerinde dikkate alınması gerekmektedir. Yatay kuşakların en kesitleri I veya [profillerinden bazen de 2T profili ile oluşturulmaktadır [7].

Örtü türü duvar taşıyan yatay kuşaklar, hem düşey hem de yatay etkileri taşıyacak şekilde boyutlandırılır ve genellikle düşey kuşak veya kolonların dış yüzlerine sürekli olacak şekilde konulan I veya [profilleri kullanılarak düzenlenir. Düşey yüklere göre dayanım ve rijitlikleri düşük olduğundan açıklıklarını düşürmek amacıyla damlalık düzeyine asılabilirler [4].

Duvar tipi ne olursa olsun, düşey kuşaklar yatay kuşakların kendilerine ilettikleri düşey etkileri normal kuvvet, yatay etkileri de eğilme momenti olarak taşırlar [7]. Bu nedenle, iki ucu mafsallı bir düşey kuşak normal kuvvet ve eğilme momentinin bileşik etkisi altında boyutlandırılırlar.

Yan duvarların teşkilinde, genellikle ana kolonların arasına kuşaklar yerleştirilmektedir. Ana kolonların arasına ilave bir dikme koymak rastlanan bir durum değildir (Şekil 2.12) [4].



Şekil 2.12 : Yan duvarlar [4].

Rüzgar etkisi ve taşıdıkları kaplama ağırlığından kaynaklanan düşey etkilere göre kuşaklar, basit veya sürekli kiriş olarak hesaplanmaktadır. Sürekli kirişler için moment değeri ($ql^2/11$) olarak alınır [4].

2.3.2.2 Kalkan duvar kuşak ve dikmeleri

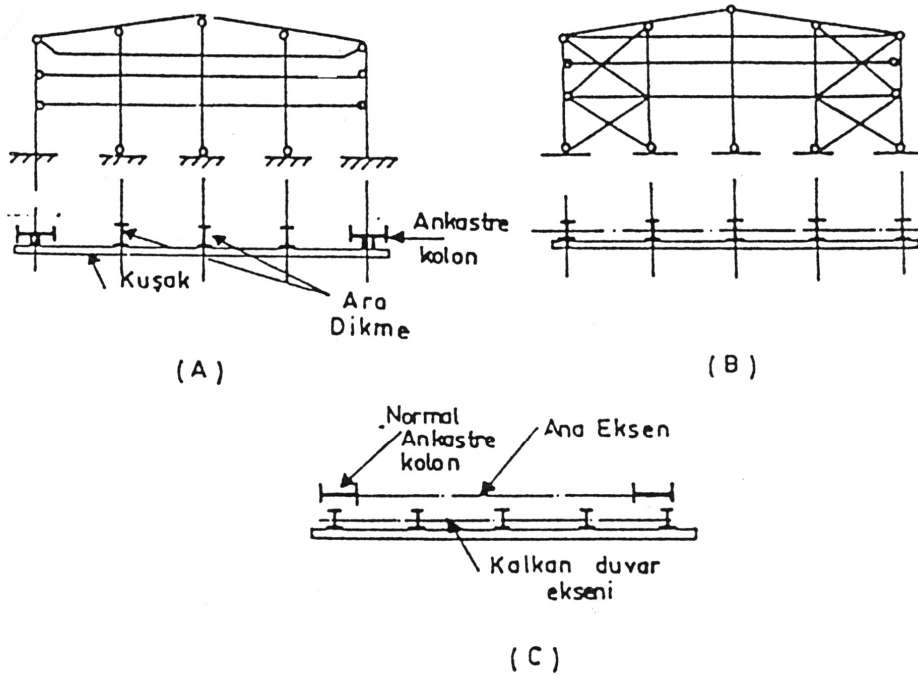
Kalkan duvarlar endüstri yapılarının ön ve arka cephelerinde teşkil edilirler. Ara dikmeler ve kuşaklar kalkan duvar teşkilinde kullanılan elemanlardır. Kuşakların teşkili genellikle yan duvarlara benzemektedir. Dikmeler ise, kuşaklardan gelen etkileri zemine ve üst stabilite bağlarına ileten tek açıklıklı eğilme elemanlarıdır. Gelen etkilerden büyük olanı rüzgardan kaynaklandığı için yalnız eğilmeye göre bir basit kiriş olarak boyutlandırılmaları yeterli olmaktadır. Düşey yüklerin de büyük olması durumunda eğilmeli burkulma boyutlandırmada esas alınmalıdır [4].

İleride yapının genişletilme olasılığı olup olmadığına göre kalkan duvarı değişik şekillerde teşkil etmek söz konusu olur:

İleride yapının uzatılması düşünülmüyorsa, kalkan duvarı iç akslarındaki taşıyıcı sistemden farklı bir sistemde teşkil etmek uygulama yönünden ve ekonomik açıdan uygun olmaktadır (Şekil 2.13/B). Bu teşkilde düşey kuşaklar altta zemine, üstte üst kuşağa mesnetlenerek yatay yükler altında basit kiriş gibi çalışmaktadırlar. Kenar aks sistemi hep mafsallı elemanlardan oluştuğundan, kendi düzlemi içindeki yatay

kuvvetlere karşı stabilitesi çaprazlarla sağlanmaktadır. Bu çaprazlar, normal çerçeve aralığının yarısı genişliğindeki bir düzlemden rüzgar etkisi aldığı göz önüne alınarak boyutlandırılmalıdır. Düşey kuşakların üst uçlarına mesnetlenen kuşaklar, genellikle basınç kuvveti taşırlar ve I veya [profilleri ile düzenlenirler. Kalkan duvar yatay rüzgar kirişleri genellikle kafes sistem olup üst başlığa çoğu kez bir yatay kuşak ile bağlıdır [4].

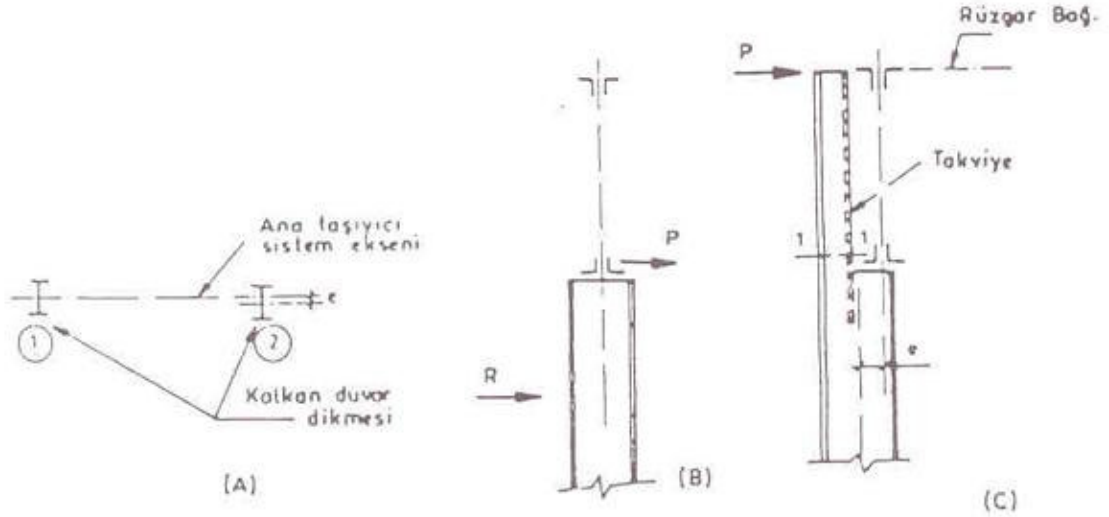
İleride yapının uzatılması düşünülüyorsa, birinci düzenleme şekli kalkan duvarların kendi aksında iç akslardaki taşıyıcı sisteme eş bir sistemle bağlanmasıdır. Diğer bir deyişle ankastre kolonlar ile çatı makası aynen tekrar akslarda da kullanılır, duvar teşkili için ara dikme ve kuşaklar eklenir (Şekil 2.13/A). İkinci düzenleme şekli ise, kalkan duvarın taşıyıcının aksına göre 15 ~ 20cm ötelenerek kurulmasıdır (Şekil 2.13/C). Bu düzenleme, yapının boyuna doğrultuda büyütülmesi sırasında büyük kolaylık sağlamaktadır. Birinci düzenlemede düşey kuşaklar makasın alt başlığına mesnetlenirler, ikinci düzenlemede ise düşey kuşaklar ana kafes kirişin önünden geçer ve aşıklar aracılığıyla rüzgar bağlantılarına mesnetlenirler [4].



Şekil 2.13 : Kalkan duvar teşkili [4].

Kalkan duvar ara dikmelerini teşkil ederken ana taşıyıcı kiriş ekseninden bir miktar şaşırtılması uygun olmaktadır (Şekil 2.14/A). Bu sayede ara dikmelerin ana

taşıyıcının üst başlığına bağlanması sağlanmış olmaktadır (Şekil 2.14/C). Aksi taktirde ara dikmenin alt başlığına bağlanması zorunlu olur (Şekil 2.14/B). Dükme üst başlığına bağlandığında kalkan duvara dik gelen rüzgar etkisi için çatı düzlemi rüzgar bağlarına aktarılmış olacaktır. Bu sırada, ara dikmenin çatı rüzgar bağının düğüm noktasına bağlanmasına özen gösterilmelidir [4].



Şekil 2.14 : Kalkan duvar ara dikmeleri [4].

2.3.3 Boyuna doğrultuda stabilite bağlantıları

Boyuna doğrultudaki düşey konumlu rüzgar ve stabilite bağları, çatı düzleminde düzenlenen rüzgar bağlarının mesnet reaksiyonlarını zemine aktarır ve ayrıca duvar kuşakları ile beraber ana taşıyıcı kolonların düzlemleri dışına burkulma boylarını sınırlarlar. Ana taşıyıcı kolonların eksenleri düzlemi içinde düzenlenmeleri tercih edilir ve duvar sistemi de kolonların dış yüzüne çekildiğinde, bu çaprazların duvar teşkiline engel olması önlenmiş olur [4]. Statik sistem olarak başlıkları ana taşıyıcı kolonlar, çapraz ve dikmeleri ise hesaplara göre yapıya yeni eklenecek elemanlar olan, paralel başlıklı bir konsol kafes kiriştir. Hesaplarda, kar yükü bulunmadığı zaman kolonlarda çekme kuvvetinin oluşup oluşmadığı -özellikle hafif çatı kaplaması bulunan yapılarda- irdelenmeli; çekme kuvveti temel ankrajı açısından göz önünde tutulmalıdır [4].

Yan duvarlar ve varsa iç boyuna duvarlar kargir türü inşa edilmiş ve kolonlar ile aynı düzlemdeyse, bu duvarlardan boyuna stabilitenin sağlanması amacıyla

yararlanılabilir. Bunun için, boyuna kuvvetin bir göze düşen bölümünün duvar kalınlığının dört katı genişlikte sanal bir köşegene basınç zoru olarak taşındığının gösterilmesi gerekir. Duvar örtülmeden önce boyuna stabilite geçici çaprazlarla sağlanmalıdır. Yan duvarda pencere şeritleri varsa yatay kuvvetler bu şeritlerden çapraz veya rijit çerçeve türü stabilite bağları ile aktarılmalıdır [7].

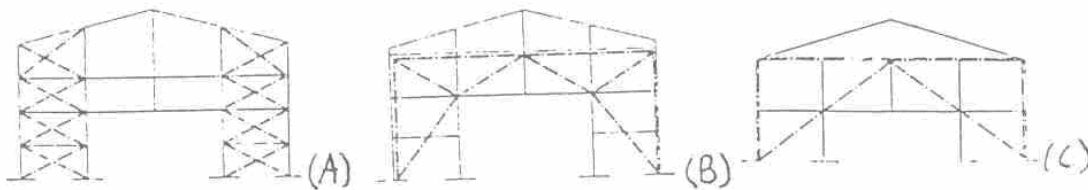
Kargir türü duvarlarda gerilme kontrolü sağlanmadığında veya örtü türü duvarların boyuna doğrultudaki stabilitesi için çapraz çubuklar veya kafes veya dolu gövdeli çerçeveler kullanılır. Yapı yüksekliğince farklı düzeylerde değişik düzenlemeler de yapılabilir. Düğüm noktaları, çatı stabilite bağlarından, kalkan duvar rüzgar kirişden ve kren yolu kirişinden gelecek yatay zorlara göre tasarlanmalıdır. Rüzgar ve kren yolu kirişlerinin aynı düzlemde seçilmeleri bu tasarımı kolaylaştırmaktadır. Aynı sebeple, boyuna stabilite bağları, genellikle yapının uçlarında ve çatı düzlemi stabilite bağlarının bulunduğu gözlerde oluşturulur. Deprem bölgelerinde boyuna stabilite bağının kullanılacağı göz hesap sonucunda saptanmakla birlikte, ancak her çatı düzlemi stabilite bağının bulunduğu gözlerde kullanılmaları uygun ve güvenli bir çözüm olmaktadır [7].

Yanları açık yapılarda boyuna stabilite, ya kafes gövdeli bir damlalık kirişi veya dolu gövdeli bir damlalık kirişinin desteklerle pekiştirilmesi sağlanır.

2.3.4 Kalkan duvar stabilite bağlantıları

Çelik endüstri yapılarında enine doğrultuda stabilite ana taşıyıcı sistemle sağlanır ancak, kalkan duvarların bulunduğu uç aksların ayrıca ele alınması gerekmektedir ve çözümü yapının boyuna doğrultudaki stabilitesine benzerlik gösterir. Kargir duvar stabiliteyi sağlamakta yeterli değilse veya örtü türü bir duvar varsa, uygun bağlar oluşturulur (Şekil 2.15/A) [4].

Yapının iç aksları mafsallı ise, enine doğrultudaki tüm yatay kuvvetleri alabilecek bağlar düzenlenir (Şekil 2.15/B;C) [4].



Şekil 2.15 : Kalkan duvar stabilite bağları [4].

3. 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİ

Çalışmanın bu kısmında, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007” kapsamında yer alan depreme dayanıklı binalar için hesap kuralları ve çelik binalar için depreme dayanıklı tasarım kuralları bölümlerinin bu çalışmada kullanılan esasları yer almaktadır [9].

3.1 Depreme Dayanıklı Binalar İçin Hesap Kuralları

3.1.1 Elastik deprem yüklerinin tanımlanması: Spektral ivme katsayısı

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan *Spektral İvme Katsayısı*, $A(T)$, **Denk.(3.1)** ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan *Elastik İvme Spektrumu*’nun ordinatı olan *Elastik Spektral İvme*, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g ’nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 IS(T)$$

$$S_{ae}(T) = A(T)g \quad (3.1)$$

3.1.1.1 Etkin yer ivmesi katsayısı

Denk.(3.1)’de yer alan *Etkin Yer İvmesi Katsayısı*, A_0 , Çizelge 3.1’de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.1 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0).

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

3.1.1.2 Bina önem katsayısı

Denk.(3.1)’de yer alan Bina Önem Katsayısı, I , Çizelge 3.2’de tanımlanmıştır.

Çizelge 3.2 : Bina Önem Katsayısı (I).

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
<u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u>	
a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)	1.5
b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	
<u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u>	
a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.	1.4
b) Müzeler	
<u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u>	1.2
Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	
<u>4. Diğer binalar</u>	
Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

3.1.1.3 Spektrum katsayısı

Denk.(3.1)'de yer alan *Spektrum Katsayısı*, $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T 'ye bağlı olarak **Denk.(3.2)** ile hesaplanacaktır.

$$S(T) = 1 + 1.5(T / T_A) \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (3.2)$$

$$S(T) = 2.5(T_B / T)^{0.8} \quad (T_B < T)$$

Denk.(3.2)'deki *Spektrum Karakteristik Periyotları*, T_A ve T_B , *Yerel Zemin Sınıfları*'na bağlı olarak Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B).

DBYBHY		
Çizelge 6.2'ye göre	T_A	T_B
Yerel Zemin Sınıfı	(saniye)	(saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

3.1.2 Elastik deprem azaltılması: Deprem yükü azaltma katsayısı

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, Bölüm 3.1.1'de verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı*'na bölünecektir. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Çizelge 3.4'te tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı*, R 'ye ve doğal titreşim periyodu, T 'ye bağlı olarak **Denk.(3.3)** ile belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T) \quad (3.3)$$

3.1.2.1 Taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerine ilişkin genel kurallar

1- Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayıları Çizelge 3.4'te verilen *süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler* ve *süneklik düzeyi normal taşıyıcı sistemler*'e ilişkin tanımlar ve uyulması gerekli koşullar, çelik binalar için Bölüm 3.2'de verilmiştir.

2- Çizelge 3.4'te *süneklik düzeyi yüksek* olarak gözönüne alınacak taşıyıcı sistemlerde, süneklik düzeyinin her iki yatay deprem doğrultusunda da yüksek olması zorunludur. Süneklik düzeyi bir deprem doğrultusunda yüksek veya karma, buna dik diğer deprem doğrultusunda ise normal olan sistemler, her iki doğrultuda da *süneklik düzeyi normal sistemler* olarak sayılacaktır.

3- Süneklik düzeyleri her iki doğrultuda aynı olan veya bir doğrultuda yüksek, diğer doğrultuda karma olan sistemlerde, farklı doğrultularda birbirinden farklı R katsayıları kullanılabilir.

4- Birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde;

(a) Aşağıdaki (b) paragrafı dışında, taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan binalarda *süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler*'in kullanılması zorunludur.

(b) Çizelge 3.4'e göre Bina Önem Katsayısı $I = 1.2$ ve $I = 1.0$ olan çelik binalarda, $H_N \leq 16$ m olmak koşulu ile, sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler kullanılabilir.

(c) Çizelge 3.4'e göre Bina Önem Katsayısı $I = 1.5$ ve $I = 1.4$ olan tüm binalarda *süneklik düzeyi yüksek taşıyıcı sistemler* veya *süneklik düzeyi bakımından karma taşıyıcı sistemler* kullanılacaktır.

Çizelge 3.4 : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar..	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar..	—	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	6
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar.....	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

3.1.3 Hesap yönteminin seçilmesi

3.1.3.1 Hesap yöntemleri

Bu çalışmada binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntem;

3.1.4’de verilen *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*’dir.

3.1.3.2 Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulama sınırları

3.1.4’de verilen *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*’nin uygulanabileceği binalar Çizelge 3.5’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.5 : Eşdeğer deprem yükü yönteminin uygulanabileceği binalar

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>Bina Türü</i>	<i>Toplam Yükseklik Sınırı</i>
1, 2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	$H_N \leq 40$ m
3,4	Tüm binalar	$H_N \leq 40$ m

3.1.4 Eşdeğer deprem yükü yöntemi

3.1.4.1 Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi

1- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen *Toplam Eşdeğer Deprem Yükü* (taban kesme kuvveti), V_t , **Denk.(3.4)** ile belirlenecektir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10A_0IW \quad (3.4)$$

Binanın birinci doğal titreşim periyodu T_1 , 3.1.4.3’e göre hesaplanacaktır.

2-Denk.(3.4)’te yer alan ve binanın deprem yüklerinin hesaplanmasında kullanılacak toplam ağırlığı, W , **Denk.(3.5)** ile belirlenecektir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (3.5)$$

Denk.(3.5)’teki w_i kat ağırlıkları ise **Denk.(3.6)** ile hesaplanacaktır.

$$w_i = g_i + nq_i \quad (3.6)$$

Denk.(3.6)'da yer alan *Hareketli Yük Katılım Katsayısı*, n , Çizelge 3.6'da verilmiştir. Endüstri binalarında sabit ekipman ağırlıkları için $n = 1$ alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında göz önüne alınmayacaktır. Deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u göz önüne alınacaktır.

Çizelge 3.6 : Hareketli yük katılım katsayısı (n).

<i>Binanın Kullanım Amacı</i>	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

3.1.4.2 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

1- Denk.(3.4) ile hesaplanan toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak **Denk.(3.7)** ile ifade edilir (Şekil 3.1a):

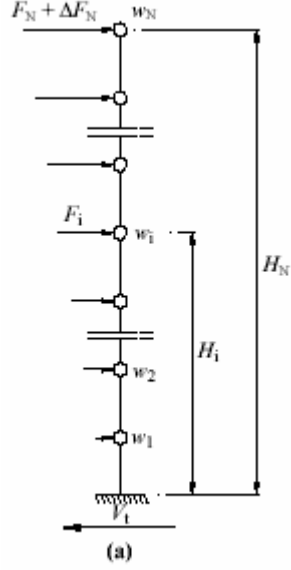
$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (3.7)$$

2- Binanın N 'inci katına (tepesine) etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in değeri **Denk.(3.8) ile belirlenecektir.**

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \quad (3.8)$$

3- Toplam eşdeğer deprem yükünün ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N 'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına **Denk.(3.9) ile dağıtılacaktır.**

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (3.9)$$



Şekil 3.1 : Bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri.

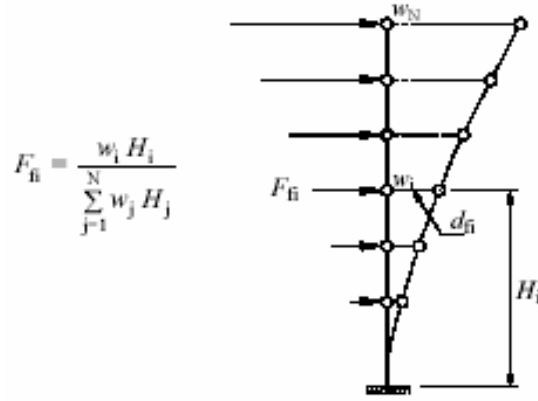
3.1.4.3 Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

1- Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi'nin uygulanması durumunda, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal periyodu, **Denk.(3.10)** ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.10)$$

i'inci kata etkiyen fiktif yükü gösteren F_{fi} , **Denk.(3.9)**'da $(V_t - \Delta F_N)$ yerine herhangi bir değer (*örneğin birim değer*) konularak elde edilecektir (Şekil 3.2).

2- Denk.(3.10) ile hesaplanan değerden bağımsız olarak, bodrum kat(lar) hariç kat sayısı $N > 13$ olan binalarda doğal periyod, $0.1N'$ 'den daha büyük alınmayacaktır.



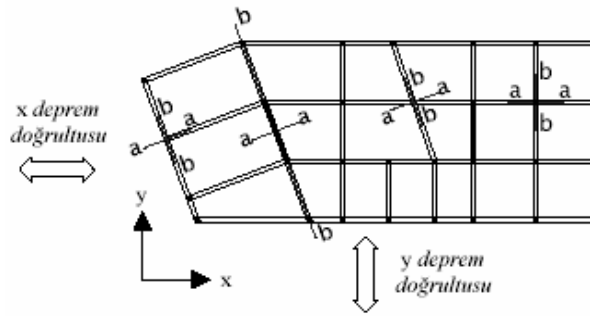
Şekil 3.2 : Bina i. katına etkiyen fiktif deprem yükü.

3.1.4.4 Eleman asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde **Denk.(3.11)** ile elde edilecektir (Şekil 3.3).

$$B_a = \pm B_{ax} \pm 0.30 B_{ay} \text{ veya } B_a = \pm 0.30 B_{ax} \pm B_{ay}$$

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} \text{ veya } B_b = \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by} \quad (3.11)$$



Şekil 3.3 : Eleman asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler.

3.1.5 Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması, ikinci mertbe etkileri ve deprem derzleri

3.1.5.1 Etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

1- Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden *azaltılmış görelî kat ötelemesi*, Δ_i , **Denk.(3.12)** ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.12)$$

Denk.(3.12)'de d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Ancak 3.1.4.3-2'deki koşul ve ayrıca **Denk.(3.4)**'te tanımlanan minimum eşdeğer deprem yükü koşulu d_i 'nin ve Δ_i 'nin hesabında gözönüne alınmayabilir.

2- Her bir deprem doğrultusu için, binanın i 'inci katındaki kolon veya perdeler için *etkin görelî kat ötelemesi*, δ_i , **Denk.(3.13)** ile elde edilecektir.

$$\delta_i = R\Delta_i \quad (3.13)$$

3- Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdelerde, **Denk.(3.13)** ile hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, **Denk.(3.14)**'te verilen koşulu sağlayacaktır:

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (3.14)$$

Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çelik çerçevelerle taşındığı tek katlı binalarda bu sınır en çok %50 artırılabilir.

4- Denk.(3.14)'de verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb) etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanacaktır.

3.1.5.2 İkinci mertebe etkileri

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci mertebe etkileri yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde gözönüne alınabilir:

1- Gözönüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, *İkinci Mertebe Gösterge Değeri*, θ_i 'nin **Denk.(3.15)** ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (3.15)$$

Burada $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak 3.1.5.1-1 'e göre bulunacaktır.

2- Denk.(3.15)'deki koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği yeterli ölçüde arttırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

3.2 Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları

3.2.1 Genel kurallar

3.2.1.1 Malzeme koşulları ve emniyet gerilmeleri

1- Bu Yönetmelik kapsamında, TS-648'de veya uluslararası düzeyde kabul görmüş diğer standartlarda tanımlanan ve kaynaklanabilme özelliğine sahip olan tüm yapı çelikleri kullanılabilir. Başlıklarının et kalınlığı en az 40 mm olan hadde profillerinde, kalınlığı en az 50 mm olan levhalar ve bu levhalar ile imal edilen yapma profillerde, ASTM A673 veya eşdeğeri standartlar uyarınca yapılan testlerde minimum Charpy-V-Notch (CVN) dayanımı (*Çentik Dayanımı*) değeri 21C'de 27 Nm (27 J) olacaktır.

2- Deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde kullanılacak bulonlar ISO 8.8, 10.9 veya daha yüksek kalitede olacaktır. Bu bulonlar, moment aktaran birleşimlerde kendilerine uygulanabilecek öngerme kuvvetinin tümü ile, diğer birleşimlerde ise en az yarısı ile öngerilecektir. Deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve ekleri ile temel bağlantı detaylarında ISO 4.6 ve 5.6 kalitesinde bulonlar kullanılabilir.

3- Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun elektrod kullanılacak ve elektrodun akma dayanımı birleştirilen malzemelerin akma dayanımından daha az olmayacaktır. Moment aktaran çerçevelerin kaynaklı kolon-kiriş birleşimlerinde tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı dikişleri kullanılacaktır. Bu kaynaklarda kullanılan elektrodun minimum Charpy-V-Notch (CVN) dayanımı (*Çentik Dayanımı*) -29C'de 27 Nm (27 J) olacaktır.

4- Deprem yükleri etkisindeki elemanlarda, aynı birleşim noktasında, kaynaklı ve

bulonlu birleşimler birarada kullanılamaz.

5- Düşey yükler ve depremin ortak etkisi altında *Emniyet Gerilmeleri Yöntemi*'ne göre yapılan kesit hesaplarında, emniyet gerilmeleri en fazla %33 arttırılacaktır. Birleşim ve eklerin emniyet gerilmeleri esasına göre tasarımında ise, bu arttırım %15'i aşmayacaktır. Birleşim ve ekler ayrıca, bu bölümün ilgili maddelerinde belirtildiği şekilde, eleman kapasitelerine veya arttırılmış deprem etkilerine göre kontrol edilecektir.

6- Çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının gerekli kapasitelerinin hesabında, σ_a akma gerilmesi yerine $D_a\sigma_a$ arttırılmış akma gerilmesi değerleri kullanılacaktır. Arttırılmış akma gerilmesinin hesabında uygulanacak D_a katsayıları, yapı çeliğinin sınıfına ve eleman türüne bağlı olarak, Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : D_a arttırma katsayıları.

Yapı Çeliği Sınıfı ve Eleman Türü	D_a
Fe 37 çeliğinden imal edilen hadde profilleri	1.2
Diğer yapı çeliklerinden imal edilen hadde profilleri	1.1
Tüm yapı çeliklerinden imal edilen levhalar	1.1

3.2.1.2 Arttırılmış deprem etkileri

Gerekli görülen yerlerde, çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımında, aşağıda verilen arttırılmış deprem etkileri göz önüne alınacaktır. Arttırılmış deprem etkilerini veren yüklemeler

$$1.0 G + 1.0 Q \pm \Omega_0 E \quad (3.15a)$$

veya daha elverişsiz sonuç vermesi halinde

$$0.9 G \pm \Omega_0 E \quad (3.15b)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bölüm 3.1'e göre hesaplanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetlere uygulanacak Ω_0 *Büyütme Katsayısı*'nın değerleri, çelik taşıyıcı sistemlerin türlerine bağlı olarak, Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8 : Büyütme katsayıları.

Taşıyıcı Sistem Türü	Ω_0
Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler	2.5
Süneklik düzeyi normal çerçeveler	2.0
Merkezi çelik çaprazlı perdeler (süneklik düzeyi yüksek veya normal)	2.0
Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler	2.5

3.2.1.3 İç kuvvet kapasiteleri ve gerilme sınır değerleri

Gerekli durumlarda kullanılmak üzere, yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri ve birleşim elemanlarının gerilme sınır değerleri aşağıda tanımlanmıştır.

Yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri:

$$\text{Eğilme momenti kapasitesi : } M_p = W_p \sigma_a \quad (3.16a)$$

$$\text{Kesme kuvveti kapasitesi : } V_p = 0.60 \cdot \sigma_a A_k \quad (3.16b)$$

$$\text{Eksenel basınç kapasitesi : } N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A \quad (3.16c)$$

$$\text{Eksenel çekme kapasitesi : } N_{cp} = \sigma_a A_n \quad (3.16d)$$

Birleşim elemanlarının gerilme sınır değerleri:

Tam penetrasyonlu kaynak : σ_a

Kısmi penetrasyonlu küt kaynak

veya köşe kaynağı : $1.7 \sigma_{em}$

Bulonlu birleşimler : $1.7 \sigma_{em}$

Burada, σ_{em} ilgili birleşim elemanına ait emniyet gerilmelerini (normal gerilme, kayma ve ezilme gerilmeleri) göstermektedir.

3.2.2 Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin boyutlandırılmasında uyulacak kurallar aşağıda verilmiştir.

3.2.2.1 Enkesit Koşulları

1- Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kiriş ve kolonlarında, *başlık genişliği/kalınlığı* ve *gövde yüksekliği/kalınlığı* oranlarına ilişkin koşullar Çizelge

3.9'da verilmiştir.

2- Kolonlar, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan eksenel kuvvet ve eğilme momentleri altında gerekli gerilme kontrollerini sağlamaları yanında, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, **Denk.(3.15a)** ve **Denk.(3.15b)**'ye göre arttırılmış yükleme durumlarından oluşan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri göz önüne alınmaksızın) yeterli dayanım kapasitesine sahip olacaktır. Kolon enkesitlerinin eksenel basınç ve çekme kapasiteleri **Denk.(3.16c)** ve **Denk.(3.16d)** ile hesaplanacaktır.

Çizelge 3.9 : Enkesit koşulları.

<i>Eleman Tanımı</i>	<i>Narinlik Oranları</i>	<i>Sınır Değerler</i>	
		<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistem</i>
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki I Kesitlerinde	$b/2t$	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
U Kesitlerinde	b/t		
Eğilme etkisindeki I Kesitlerinde	h/t_w	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$5.0\sqrt{E_s/\sigma_a}$
U Kesitlerinde			
Basınç etkisindeki T Kesitlerinde	h/t_w	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
L Kesitlerinde			
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki I Kesitlerinde	h/t_w	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için
		$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$5.0\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
		$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için	$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için
		$1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$2.08\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
U Kesitlerinde			
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	D/t	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_a}$	$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a}$
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	b/t veya h/t_w	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$1.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$

Tanımlar

b: I, U kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerinde başlık genişliği

h: I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği

L kesitlerinde büyük kenar uzunluğu

D: dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap

t: I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı

halka kesitlerde (borularda) kalınlık

t_w : I, U, T, L kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı

3.2.2.2 Kiriş – kolon birleşim bölgeleri

1- Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinde aşağıdaki üç koşul bir arada sağlanacaktır:

(a) Birleşim en az 0.04 radyan *Görelî Kat Ötelemesi Açısı*'nı (görelî kat ötelemesi/kat yüksekliği) sağlayabilecek kapasitede olacaktır. Bunun için, deneysel ve/veya analitik yöntemlerle geçerliliği kanıtlanmış olan detaylar kullanılacaktır. Bu detaylar DBYBHY Bilgilendirme Eki 4A'da verilmiştir.

(b) Birleşimin kolon yüzündeki gerekli eğilme dayanımı, birleşen kirişin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasitesinin $0.80 \times 1.1D_a$ katından daha az olmayacaktır. Ancak bu dayanımın üst limiti, düğüm noktasına birleşen kolonlar tarafından birleşime aktarılan en büyük eğilme momenti ile uyumlu olacaktır. Ayrıca düşey yükler ve deprem yükü azaltma katsayısının $R=1.5$ değeri için hesaplanan deprem yüklerinin ortak etkisi altında meydana gelen eğilme momentini aşmayacaktır. Zayıflatılmış kiriş enkesitleri kullanılması veya kiriş uçlarında guseler oluşturulması halinde, kolon yüzündeki eğilme momenti kapasitesi, kiriş plastik momenti ile kiriş ucundaki olası plastik mafsaldaki kesme kuvvetinden dolayı kolon yüzünde meydana gelen ek eğilme momenti toplanarak hesaplanacaktır.

(c) Birleşimin boyutlandırılmasında esas alınacak V_e kesme kuvveti **Denk.(3.17)** ile hesaplanacaktır.

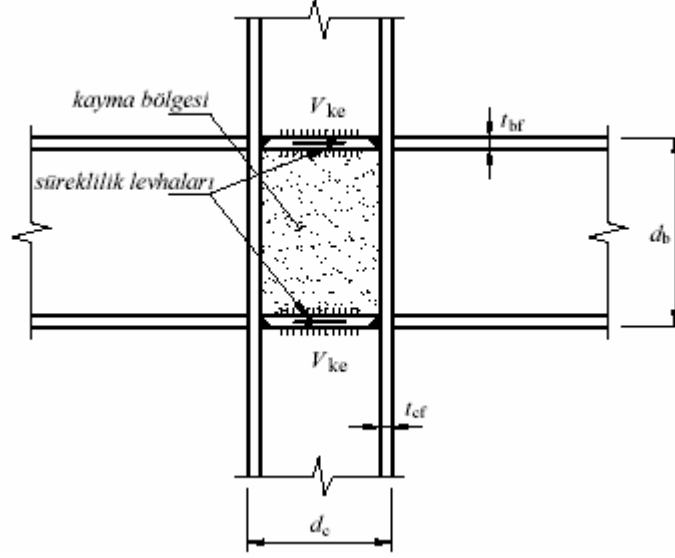
$$V_e = V_{dy} \pm 1.1D_a \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{l_n} \quad (3.17)$$

2- Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında, 3.2.1.3'te verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır.

3- Kiriş – kolon birleşim detayında, kolon ve kiriş başlıklarının sınırladığı kayma bölgesi (Şekil 3.4) aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde boyutlandırılacaktır:

(a) Kayma bölgesinin gerekli V_{ke} kesme kuvveti dayanımı, düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının 0.80 katından meydana gelen kesme kuvvetine eşit olarak alınacaktır.

$$V_{ke} = 0.8 \sum M_p \left(\frac{1}{d_b} - \frac{1}{H_{ort}} \right) \quad (3.18)$$



Şekil 3.4 : Gerekli kesme kuvveti dayanımı.

(b) Kayma bölgesinin V_p kesme kuvveti kapasitesi

$$V_p = 0.6\sigma_a d_c t_p \left[1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right] \quad (3.19)$$

denklemini ile hesaplanacaktır. Kayma bölgesinin yeterli kesme dayanımına sahip olması için

$$V_p \geq V_{ke} \quad (3.20)$$

koşulunun sağlanması gerekmektedir. Bu koşulun sağlanmaması halinde, gerekli miktarda takviye levhası kullanılacak veya kayma bölgesine köşegen doğrultusunda berkitme levhaları eklenecektir.

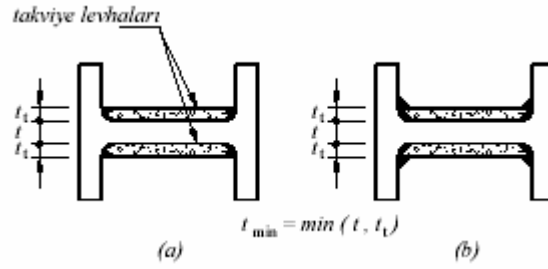
(c) Kolon gövde levhasının ve eğer kullanılmış ise takviye levhalarının her birinin en küçük kalınlığı, t_{min} , (Şekil 3.5) aşağıdaki koşulu sağlayacaktır.

$$t_{min} \geq u / 180 \quad (3.21)$$

Bu koşulun sağlanmadığı durumlarda takviye levhaları ve kolon gövde levhası birbirlerine kaynakla bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacak ve levha kalınlıkları toplamının **Denk.(3.21)**'u sağladığı kontrol edilecektir.

(d) Kayma bölgesinde takviye levhaları kullanılması halinde, bu levhaların kolon başlık levhalarına bağlanması için tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı kullanılacaktır, Şekil 3.5. Bu kaynaklar, takviye levhası tarafından karşılanan kesme

kuvvetini güvenle aktaracak şekilde kontrol edilecektir. Bu hesapta, 3.2.1.3'te verilen kaynak gerilme kapasiteleri kullanılacaktır.



Şekil 3.5 : Tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı.

4- Moment aktaran kiriş-kolon birleşim detaylarında, kolon gövdesinin her iki tarafına, kiriş başlıkları seviyesinde *süreklilik levhaları* konularak kiriş başlıklarındaki çekme ve basınç kuvvetlerinin kolona (ve iki taraflı kiriş-kolon birleşimlerinde komşu kirişe) güvenle aktarılması sağlanacaktır.

(a) Süreklilik levhalarının kalınlıkları, tek taraflı kiriş birleşimlerinde birleşen kirişin başlık kalınlığından, kolona iki taraftan kiriş birleşmesi durumunda ise birleşen kirişlerin başlık kalınlıklarının büyüğünden daha az olmayacaktır.

(b) Süreklilik levhalarının kolon gövde ve başlıklarına bağlantısı için tam penetrasyonlu küt kaynak kullanılacaktır. Süreklilik levhasının kolon gövdesine bağlantısı için köşe kaynağı da kullanılabilir, (Şekil 3.4). Ancak bu kaynağın, süreklilik levhasının kendi düzlemindeki kesme kapasitesine eşit bir kuvveti kolon gövdesine aktaracak boy ve kalınlıkta olması gereklidir.

(c) Kolon başlık kalınlığının

$$t_{cf} \geq 0.54 \sqrt{b_{bf} t_{bf}} \quad (3.22a)$$

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (3.22b)$$

koşullarının her ikisini de sağlaması durumunda süreklilik levhasına gerek olmayabilir.

3.2.3 Süneklik düzeyi normal çerçeveler

Süneklik düzeyi normal çerçevelerin boyutlandırılmasında uyulacak kurallar aşağıda verilmiştir.

3.2.3.1 Enkesit koşulları

1- Süneklik düzeyi normal çerçevelerin kiriş ve kolonlarında, *başlık genişliği/kalınlığı* ve *gövde yüksekliği/kalınlığı* oranlarına ilişkin koşullar Çizelge 3.9'da verilmiştir.

2- Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kolonları için 3.2.2.1-2'de verilen koşullar süneklik düzeyi normal çerçevelerin kolonları için de geçerlidir.

3.2.3.2 Kiriş kolon birleşim bölgeleri

1- Süneklik düzeyi normal çerçevelerin moment aktaran kiriş-kolon birleşimlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, birleşimin taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanlarını da sağlayacaktır:

(a) Kolona birleşen kirişin 3.2.2.2-1(b) 'de tanımlandığı şekilde hesaplanan eğilme momenti kapasitesi ve **Denk.(3.17)** ile hesaplanan gerekli kesme kuvveti dayanımı.

(b) **Denk.(3.15a)** ve **Denk.(3.15b)**'de verilen arttırılmış yükleme durumlarından dolayı kolon yüzünde meydana gelen eğilme momenti ve kesme kuvveti.

2- Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında, 3.2.1.3'te verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır.

3- Kiriş-kolon birleşim detayında, kolon ve kiriş başlıklarının sınırladığı kayma bölgesi (Şekil 3.4) aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde boyutlandırılacaktır:

(a) Kayma bölgesinin V_{ke} gerekli kesme kuvveti dayanımının hesabında, **Denk.(3.15a)** ve **Denk.(3.15b)**'de verilen arttırılmış deprem yüklemesinden meydana gelen kesme kuvveti ve **Denk.(3.18)** ile hesaplanan kesme kuvvetinden küçük olanı kullanılacaktır.

(b) Kayma bölgesinin V_p kesme kuvveti dayanımı **Denk.(3.19)** ile hesaplanacaktır. Kayma bölgesinin yeterli kesme dayanımına sahip olması için **Denk.(3.20)**'nin sağlanması gerekmektedir.

(c) Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kayma bölgesi hesabı için 3.2.2.2-3(c) ve 3.2.2.2-3(d)' de verilen kurallar süneklik düzeyi normal çerçeveler için de aynen geçerlidir.

4- Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerde süreklilik levhalarının hesabı için 3.2.2.2-4'de verilen kurallar süneklik düzeyi normal çerçeveler için de aynen geçerlidir

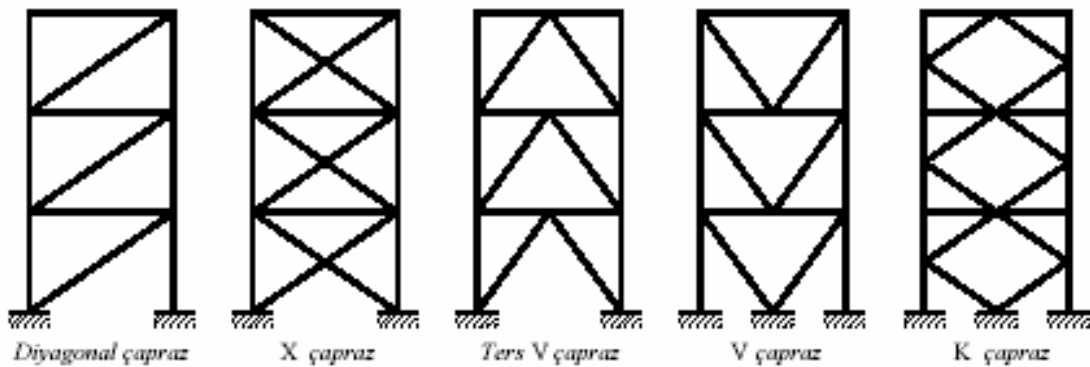
3.2.4 Merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı perdeler

Çelik çaprazlı perdeler, mafsallı birleşimli veya moment aktaran çerçeveler ile bunlara merkezi ve dışmerkez olarak bağlanan çaprazlardan oluşan yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, eğilme dayanımlarının yanında, daha çok veya tümüyle elemanların eksenel kuvvet dayanımları ile sağlanmaktadır. Çelik çaprazlı perdeler, çaprazların düzenine bağlı olarak ikiye ayrılırlar:

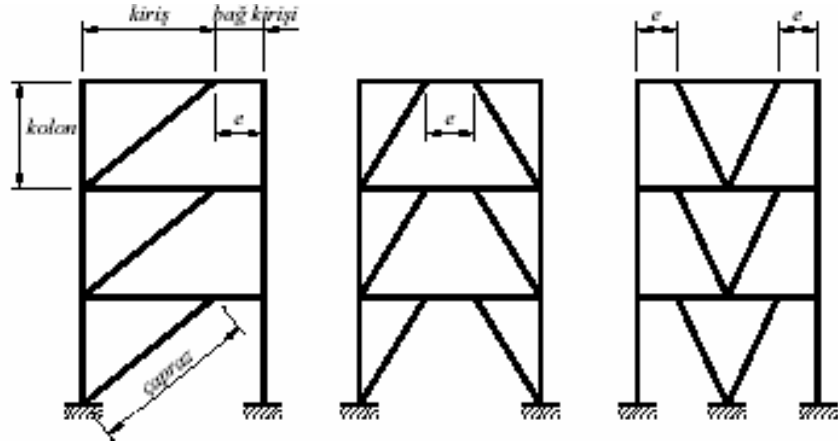
(a) Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 3.6)

(b) Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 3.7)

Çaprazların çerçeve düğüm noktalarına merkezi olarak bağlandığı *Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler* süneklik düzeyi yüksek veya süneklik düzeyi normal sistem olarak boyutlandırılabilirler. Buna karşılık, çaprazların çerçeve düğüm noktalarına dışmerkez olarak bağlandığı *Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler* süneklik düzeyi yüksek sistem olarak boyutlandırılacaklardır.



Şekil 3.6 : Merkezi çelik çaprazlı perdeler.



Şekil 3.7 : Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler

3.2.5 Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler, basınç elemanlarının bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırılırlar. Bu sistemlerin boyutlandırılmasında uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir.

3.2.5.1 Enkesit koşulları

- 1- Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, *başlık genişliği/kalınlığı*, *gövde yüksekliği/kalınlığı* ve *çap/kalınlık* oranlarına ilişkin koşullar Çizelge 3.9’da verilmiştir.
- 2- Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerinin tüm basınç elemanlarında narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $4.0\sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır.
- 3- Çok parçalı çaprazlarda bağ levhalarının aralıkları, ardışık iki bağ levhası arasındaki tek elemanın narinlik oranı tüm çubuğun narinlik oranının 0.40 katını aşmayacak şekilde belirlenecektir. Çok parçalı çaprazın burkulmasının bağ levhasında kesme etkisi oluşturmadığının gösterilmesi halinde, bağ levhalarının aralıkları, iki bağ levhası arasındaki tek çubuğun narinlik oranı çok parçalı çubuğun etkin narinlik oranının 0.75 katını aşmayacak şekilde belirlenebilir. Bağ levhalarının toplam kesme kuvveti kapasitesi, her bir çubuk elemanının eksenel çekme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacak ve bağ levhaları eşit aralıklı olarak yerleştirilecektir. Bulonlu bağ levhalarının, çubuğun temiz açıklığının orta dörtte birine yerleştirilmesine izin verilmez.

3.2.5.2 Yatay yüklerin dağılımı

Binanın bir aksı üzerindeki düşey merkezi çapraz elemanlar, o aks doğrultusundaki depremde ve her bir deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en çok %70'i basınca çalışan çaprazlar tarafından karşılanacak şekilde düzenlenecektir.

3.2.5.3 Çaprazların birleşimi

1- Çaprazların birleşim detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, birleşimin taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanını da sağlayacaktır:

(a) Çaprazın eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

(b) Düğüm noktasına birleşen diğer elemanların kapasitelerine bağlı olarak, söz konusu çaprazla aktarılabilecek en büyük eksenel kuvvet.

(c) **Denk.(3.15a)** ve **Denk.(3.15b)**'de verilen arttırılmış yükleme durumlarından meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

2- Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında, 3.2.1.3'te verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır.

3- Çaprazları kolonlara ve/veya kirişlere bağlayan düğüm noktası levhaları aşağıdaki iki koşulu da sağlayacaklardır:

(a) Düğüm noktası levhasının düzlemi içindeki eğilme kapasitesi, düğüm noktasına birleşen çaprazın eğilme kapasitesinden daha az olmayacaktır.

(b) Düğüm noktası levhasının düzlem dışına burkulmasının önlenmesi amacıyla, çaprazın ucunun kiriş veya kolon yüzüne uzaklığı düğüm levhası kalınlığının iki katından daha fazla olmayacaktır. Buna uyulamadığı durumlarda, ilave berkitme levhaları kullanarak, düğüm levhasının düzlem dışına burkulması önlenecektir.

3.2.6 Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler

3.2.6.1 Enkesit koşulları

1- Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/kalınlık oranlarına ilişkin koşullar Çizelge 3.9'da verilmiştir. Ancak en çok iki katlı binalarda, gerekli yerel burkulma kontrollerinin yapılması koşulu ile, bu

sınırların aşılmasına izin verilebilir.

2- Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerinin tüm basınç elemanlarında narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) $4.0\sqrt{E_s / \sigma_a}$ sınır değerini aşmayacaktır.

3- Çok parçalı çaprazlarda, TS648'in bağ levhalarına ilişkin kuralları geçerlidir. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacaktır.

4- Sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde hesaplanan çaprazlarda narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır. Ancak en çok iki katlı binalardaki çapraz elemanların, Bölüm 3.1'e göre hesaplanan çekme kuvvetinin Çizelge 3.8'deki Ω_o katsayısı ile çarpımını taşıyacak şekilde boyutlandırılmaları halinde bu kural uygulanmayabilir.

3.2.6.2 Çaprazların birleşimleri

1- Çaprazların birleşim detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, birleşimin taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanını da sağlayacaktır:

(a) Çaprazın eksenel kuvvet (çekme veya basınç) kapasitesi.

(b) **Denk.(3.15a)** ve **Denk.(3.15b)**'de verilen arttırılmış yüklemelerden meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

(c) Düğüm noktasına birleşen diğer elemanlar tarafından söz konusu çaprazla aktarılabilecek en büyük kuvvet.

2- Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında, 3.2.1.3'te verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır.

3- Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler için 3.2.5.3-3'te verilen koşullar süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler için de geçerlidir.

4. SİSTEM TANIMI

4.1 Problemin Tanımı

Bu çalışma kapsamında farklı açıklık, yükseklik ve aks aralıklarına göre 3. grup hal tiplerinden profil kirişli çerçeve sistem ile 1. grup hal tiplerinden kafes kirişli çerçeve sistemler ele alınmakta ve bu sistemlerin birbirine göre hangi alternatifler için daha ekonomik çözüm verdiği irdelenmektedir.

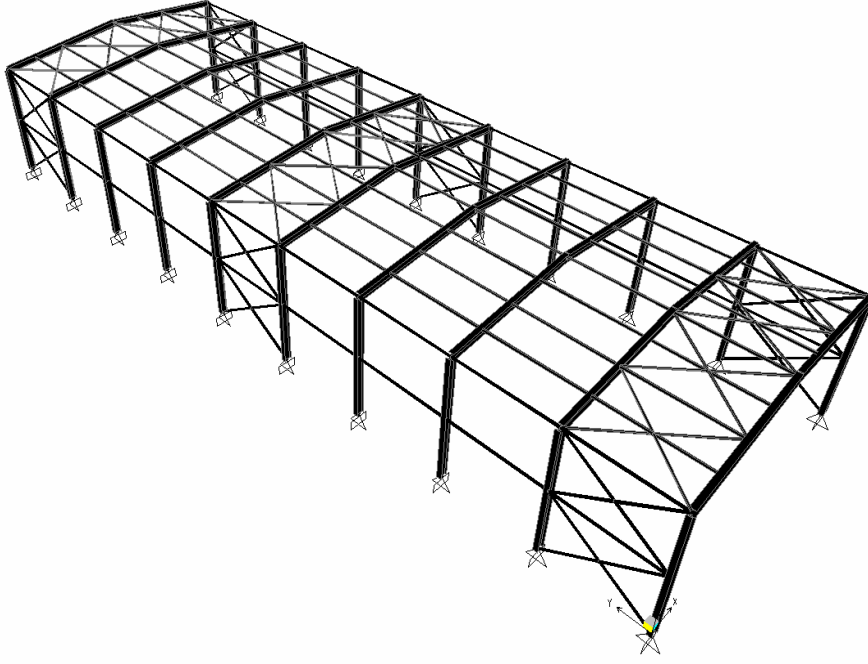
Çatı eğimi %10 (sabit) olarak alınan bu iki tip sistemin analizinde kullanılacak olan değişken değerleri şu şekilde seçilmiştir:

- Aks aralığı (a) : 5, 8 metre (10 aks)
- Çerçeve açıklığı (l): 15, 20, 25 metre
- Yapı yüksekliği (h): 7, 10, 14 metre

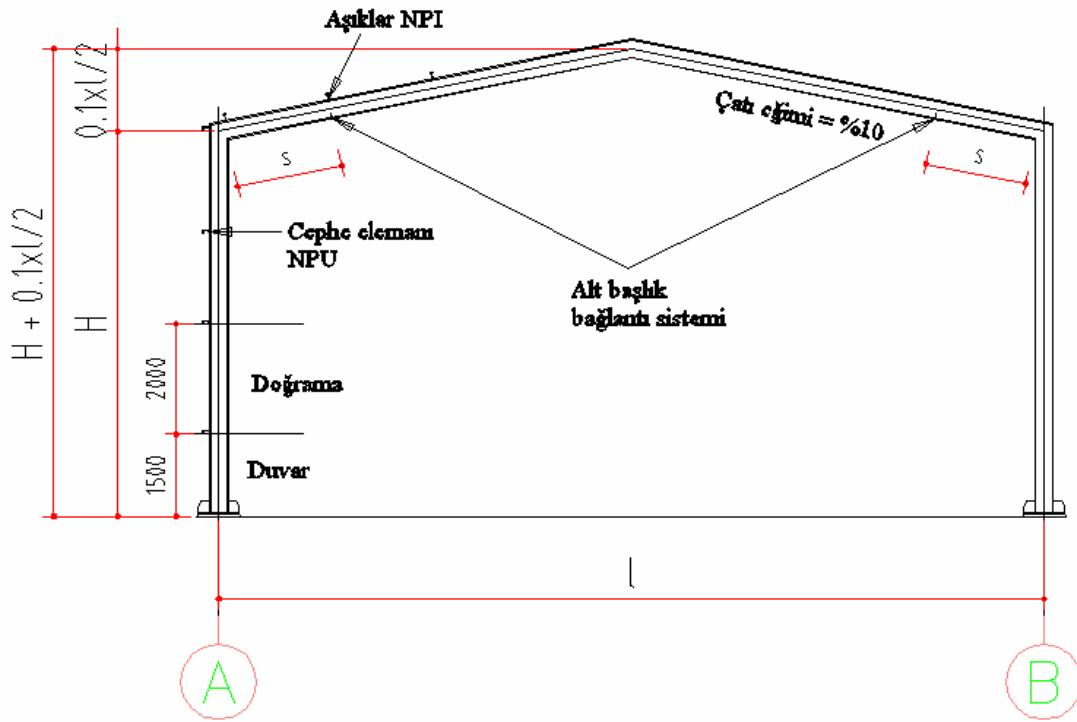
Profil kirişli çerçeve sistemde yukarıda yer alan parametrelerin kombinasyonlarından oluşturulan alternatifler çözülmüş ve bu alternatiflerin her biri için üç farklı profile göre analiz gerçekleştirilmiştir. Bu üç farklı profilin seçimi için kolon ve kiriş elemanları şu şekilde belirlenmiştir:

- Tamamının yapma profil olduğu sistem,
- Tamamının IPE profil olduğu sistem,
- Tamamının HEA profil olduğu sistem.

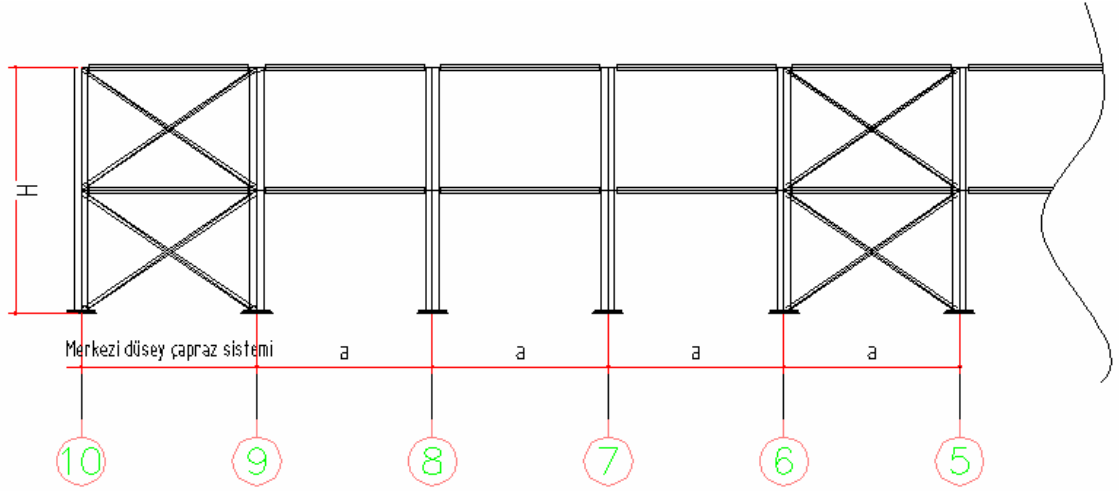
Profil kirişli çerçeve sistemin genel görünüşü Şekil 4.1’de, tipik çerçeve enkesiti Şekil 4.2’de ve cephe sistem görünüşü Şekil 4.3’te görülmektedir:



Şekil 4.1 : Profil kirişli çerçeve sistem genel görünüşü.



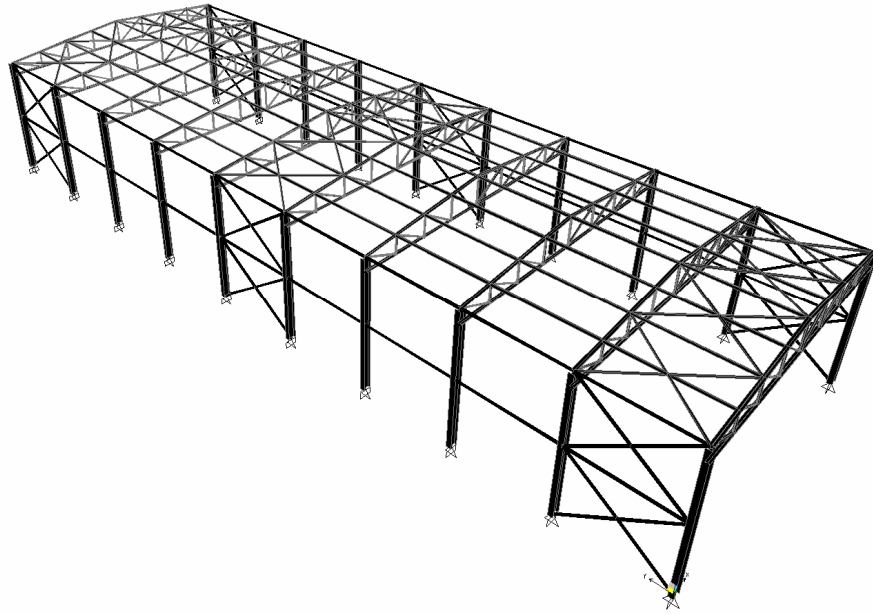
Şekil 4.2 : Tipik çerçeve enkesiti.



Şekil 4.3 : Cephe sistem görünüşü.

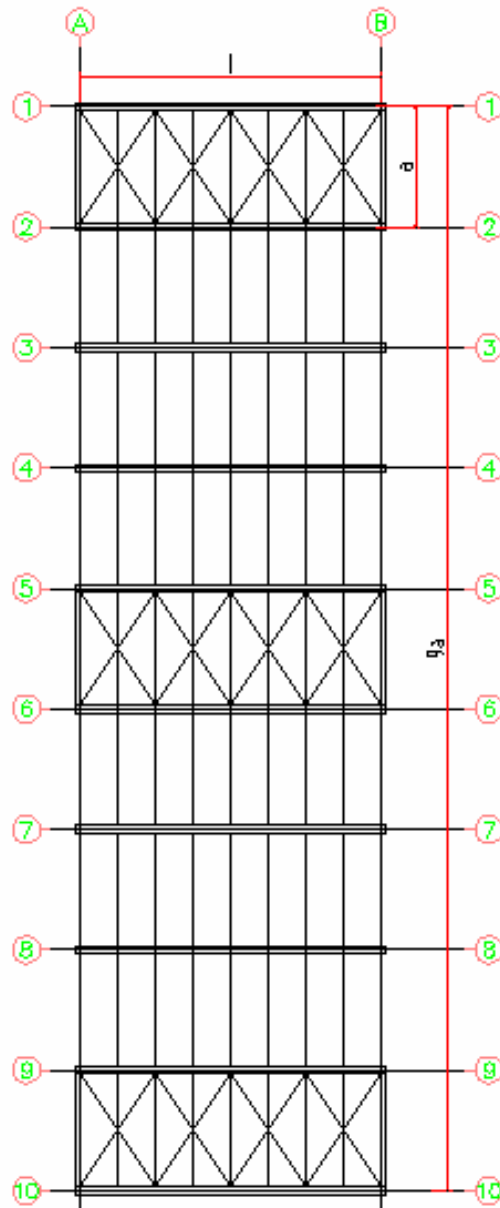
Kafes kirişli çerçeve sistemde ise aynı parametrelerin kombinasyonlarından oluşturulan alternatifler kafes elemanları çift korniyer, kolon elemanları ise IPE profil seçilerek çözülmüştür.

Kafes kirişli çerçeve sistemin cephe sistem görünüşü Şekil 4.3'te ve genel görünüşü Şekil 4.4'te görülmektedir:



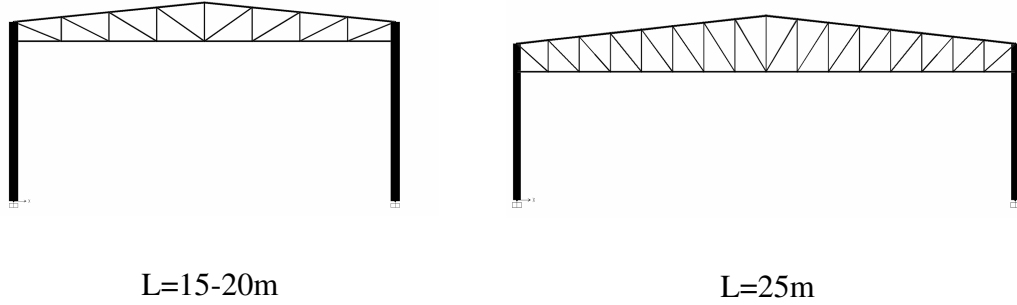
Şekil 4.4 : Kafes kirişli çerçeve sistem genel görünüşü.

İki sisteme ilişkin çatı sistem planı ise Şekil 4.5'te yer almaktadır. Çerçeve açıklığının $L=25$ m olduğu sistemde Şekil 4.5'te değişen tek şey; $L=15$ ve 20 m olan sistemlere göre aşık sayısı iki katına çıkarılmıştır.



44

Kafes kirişli çerçeve sistem için; aşık noktasında düzenlenen kiriş düğüm nokta sayısı, aşık sayısının $L=25\text{m}$ olduğu sistemde artması sebebiyle iki katına çıkmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 : Kafes kirişli çerçeve sistem kiriş düğüm noktaları.

Sonuç olarak; bu çalışmada kafes kirişli çerçeve sistem ve profil kirişli çerçeve sistem için 18'er alternatiften oluşan toplam 36 sistem analizi gerçekleştirilmiştir. Profil kirişli çerçeve sistem için alternatif profil çözümleri de ayrı birer analiz olarak düşünüldüğünde ise toplamda 72 adet sistem analizi gerçekleştirildiği görülmektedir.

4.2 Boyutlandırma

Sistemlerin analizleri iki boyutlu olarak, düşey yükler ile rüzgar ve deprem yükleri altında SAP 2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Düşey yükler ve rüzgar yükleri TS498 yönetmeliğine göre belirlenerek sisteme SAP 2000 programında etkitilmiştir. Bölüm 3.1'de yer alan, DBYBHY 2007 eşdeğer deprem yükü hesabı her bir sistem için yapılmıştır ve elde edilen yatay kuvvetler SAP 2000 programında sisteme etkitilmiştir. Bu yükler altında toplamda dokuz adet yük birleşimine göre çerçeve sistemlerin iç kuvvetleri elde edilmiştir.

Çatı ve düşey çapraz sistemler için ayrı ayrı SAP 2000 dosyaları oluşturularak rüzgar ve deprem yükleri altında çapraz elemanların iç kuvvetleri elde edilmiştir.

SAP 2000 programı ile elde edilen iç kuvvetler altında elemanlar TS648 yönetmeliğine göre boyutlandırılmıştır. SAP 2000 analizleri doğrultusunda her bir sistemin Bölüm 3.1.5'de bahsedilen DBYBHY 2007'ye göre göreceli kat ötelemelerinin ve ikinci mertebe etkilerinin kontrolleri yapılmıştır.

4.3 Tasarım Esasları

Her iki tip sistem tasarımında yapı çeliği olarak ST37 ve ST44 çelik sınıfları kullanılacaktır. Burada ST37 olarak yapma profiller, kutu profiller, korniyerler ve bağlantı elemanları; ST44 olarak ise IPE ve HEA profiller kullanılmıştır. Çelik yapı malzeme özellikleri ile ilgili olarak, Bölüm 3.2.1.1-1 aynen geçerlidir.

TS648 Çelik Yapılar Standardı'na göre ST37 yapı çeliğinin akma gerilmesi $\sigma_a = 235 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü $E = 206182 \text{ N/mm}^2$, normal emniyet gerilmesi $\sigma_{em} = 141 \text{ N/mm}^2$ ve kayma emniyet gerilmesi $\tau_{em} = 82 \text{ N/mm}^2$; ST44 yapı çeliği için akma gerilmesi $\sigma_a = 275 \text{ N/mm}^2$, elastisite modülü $E = 206182 \text{ N/mm}^2$, normal emniyet gerilmesi $\sigma_{em} = 165 \text{ N/mm}^2$ ve kayma emniyet gerilmesi $\tau_{em} = 95 \text{ N/mm}^2$ değerlerini almaktadır [10].

Birleşim elemanları Bölüm 3.2.1.1-2'ye uygun olarak, deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerde ISO 10.9 kalitesinde, deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve eklerinde ise ISO 5.6 kalitesinde bulon kullanılacaktır. Kaynaklı birleşimler ve kaynak malzemesi ile ilgili olarak Bölüm 3.2.1.1.3 ve Bölüm 3.2.1.1-4 aynen geçerlidir.

Her iki sistemde de çatı döşemesi rijit bir diyafram oluşturmadığından taşıyıcı sistemde A2 türü düzensizlik bulunmaktadır. Bu nedenle, DBYBHY Madde 2.3.2.2'ye uygun olarak, (x) doğrultusundaki deprem etkileri altında çerçeveler birbirinden bağımsız olarak hesaplanacak ve (y) doğrultusundaki deprem etkilerinin, bu doğrultudaki düşey düzlem bağlantılarına güvenle aktarıldığı hesapla doğrulanacaktır.

Yapı sisteminin düşey yükler ile yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, Bölüm 3.1.4.4'e ve TS648 Çelik Yapılar Standardı'na uygun olarak, aşağıdaki şekilde birleştirileceklerdir.

Düşey yük birleşimleri : $G + Q$ (1 yükleme)

Düşey yük + deprem birleşimleri : $G + Q \pm E$ (4 yükleme)
 $0.9G \pm E$

Düşey yük + rüzgar birleşimleri : $G + Q \pm W_x$ (4 yükleme)

$$0.9G \pm W_x$$

Burada;

G : sabit yüklerden oluşan iç kuvvetler,

Q : hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler,

E : çerçeve doğrultusundaki deprem yükleri ve çerçeveye dik yöndeki deprem yüklerinin %30'unun kombinasyonundan oluşan iç kuvvetler,

W_x : çerçeve doğrultusundaki rüzgar yüklerinden oluşan iç kuvvetlerdir.

Bölüm 3.2.1.2'ye göre, yönetmeliğin gerekli gördüğü yerlerde, çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımında, arttırılmış deprem yüklemeleri göz önüne alınacaktır. Arttırılmış deprem yüklemelerinde, deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetler Ω_0 büyütme katsayıları ile çarpılarak arttırılacaktır. Bölüm 3.2 Çizelge 3.8'e göre, süneklik düzeyi normal çerçeveler ve merkezi çelik çaprazlı perdeler için büyütme katsayısı $\Omega_0 = 2.0$, süneklik düzeyi yüksek çerçeveler için $\Omega_0=2.5$ değerini almaktadır.

TS648 Çelik Yapılar Standartı'na ve Bölüm 3.2.1.1-5'e göre, emniyet gerilmeleri yöntemine göre yapılan kesit hesaplarında, birleşim ve ekler dışında, emniyet gerilmeleri düşey yük + rüzgar yüklemeleri için %15, düşey yük + deprem yüklemeleri için %33 arttırılacaktır. Birleşim ve eklerin tasarımında ise, her iki yükleme durumu için emniyet gerilmeleri %15 arttırılacaktır.

4.3.1 Profil kirişli çerçeve sistem tasarım esasları

Yapının (x) doğrultusundaki yatay taşıyıcı sistemi, Bölüm 3.2.3'te tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen süneklik düzeyi normal moment aktaran çerçevelerden, (y) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi ise, Bölüm 3.2.6'da tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşmaktadır.

Çatı ve düşey çapraz sistemlerinin elemanları ve bunları birbirine bağlayan (y) yönü kirişleri çerçeve kirişlerine ve kolonlarına mafsallı olarak bağlanmaktadır. Çerçeve sistem elemanlarından kirişler kolonlara moment aktarabilir olarak bağlanmaktadır. Kolonların temele bağlantısı da ankastre olarak tasarlanmaktadır.

Çerçeve sistem kesitleri Bölüm 4.1’de tanımlandığı üzere ayrı ayrı boyutlandırılacaktır. Çatı ve düşey düzlem bağlantıları ile (y) doğrultusundaki basınç elemanları ise sırasıyla L profiller ve kare kesitli kutu profiller ile teşkil edilecektir.

4.3.1.1 Düşey yükler

a) Çatı döşemesi	: çatı kaplaması	0.125 kN/m ²
	aşıklar ve çaprazlar	0.125 kN/m ²
	tesisat yükü	0.20 kN/m ²
	çelik konstrüksiyon	(1+5)/100 kN/m ²
		$g = 0.5 + 1/100 \text{ kN/m}^2$
	kar yükü	$q = 1.00 \text{ kN/m}^2$
b) Cepheleler	: cephe kaplaması	0.125 kN/m ²
	cephe elemanları	0.10 kN/m ²
	doğrama	0.40 kN/m ²
	çelik konstrüksiyon (kolonlar)	0.80 kN/m
c) Dış duvar yükü	:	$g_d = 3.00 \text{ kN/m}^2$

4.3.1.2 Rüzgar yükleri

Rüzgar yükleri TS498 Yük Standardı’na göre belirlenecektir.

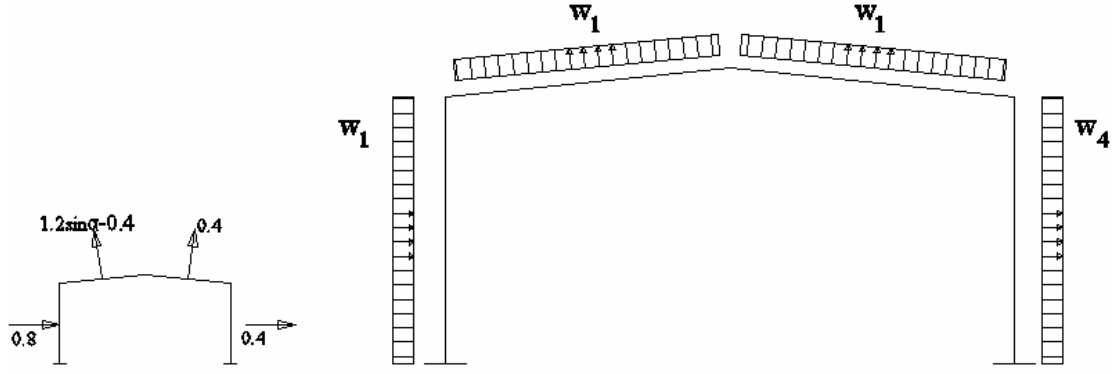
Çerçeve elemanlarına etkiyen yayılı rüzgar yükleri;

$$w_i = c_{fi} q a$$

denklemini ile hesaplanır. Burada;

c_{fi} : aerodinamik yük katsayısıdır.

Çerçeve elemanlarının konumuna bağlı olarak, c_{fi} katsayısının aldığı değerler Şekil 4.7’te gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Aerodinamik yük katsayıları ve rüzgar yükleri.

q : nominal rüzgar basıncıdır. Bina yüksekliğine bağlı olarak;

$$0 < H \leq 8.0m \rightarrow q = 50 \text{kgf} / m^2 = 0.5 \text{kN} / m^2$$

$$8 < H \leq 20.0m \rightarrow q = 80 \text{kgf} / m^2 = 0.8 \text{kN} / m^2$$

bağıntıları ile hesaplanır.

4.3.1.3 Deprem karakteristikleri

Tasarımı yapılacak olan tek katlı çelik endüstri binası birinci derece deprem bölgesinde, Z2 yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilecektir ve işyeri (fabrika) olarak kullanılacağı düşünülmüştür. Yapı taşıyıcı sisteminin bir doğrultuda süneklik düzeyi normal çerçevelerden, diğer doğrultuda ise süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşturulması öngörülmektedir. Bu parametreler esas alınarak belirlenen deprem karakteristikleri ve ilgili yönetmelik maddeleri aşağıda verilmiştir.

- Etkin yer ivme katsayısı (birinci derece deprem bölgesi)

$$A_0 = 0.40 \quad (\text{Çizelge 3.1})$$

- Bina önem katsayısı (işyerleri)

$$I = 1.00 \quad (\text{Çizelge 3.2})$$

- Spektrum karakteristik periyotları (Z2 yerel zemin sınıfı)

$$T_A / T_B = 0.15 / 0.40 \text{sn} \quad (\text{Çizelge 3.3})$$

- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$$R_x = 5, R_y = 4 \quad (\text{Çizelge 3.4})$$

- Hareketli yük katılım katsayısı (kar yükü için)

$$n = 0.30$$

(Çizelge 3.6)

4.3.1.4 (y) doğrultusu çatı ve düşey çapraz analizi

(y) doğrultusundaki deprem ve rüzgar etkilerine karşı düzenlenen süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perde sisteminin deprem etkileri ve rüzgar yükleri altında analizi yapılacaktır.

Şekil 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, merkezi çapraz sistemi, 1-2, 5-6, 9-10 aksları arasında düzenlenen çatı ve düşey çapraz düzeninden oluşmaktadır.

Merkezi çapraz sisteminin analiz ve boyutlandırılmasında yapılan varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

- Tüm çapraz sistemi, Bölüm 4.2'de anlatılan analiz sonuçlarında elde edilen en elverişsiz iç kuvvetlere göre boyutlandırılacaktır. Böylece çapraz elemanlarının kesitleri aynı seçilmiş olacaktır.
- Dış aks aralarındaki (1-2 ve 9-10 aksları arasındaki) merkezi çapraz sistemi kalkan duvardan gelen rüzgar etkileri altında analiz edilecektir.
- 5-6 aksları arasındaki çelik merkezi çapraz sistemi ise, 3-4 aksı ortasından 7-8 aksı ortasına kadar olan mesafenin deprem yükünü alacak şekilde analiz edilecektir.
- Tek katlı olan ve büyük bir yatay rijitliğe sahip bulunan merkezi çapraz sisteminin birinci doğal titreşim periyodu;

$$T_A < T_{1y} < T_B$$

olduğu kabul edilerek,

$$S(T_{1y}) = 2.5$$

olarak hesaplarda göz önüne alınmıştır.

- Eğik çatı düzlemindeki çubuk kuvvetlerinin düşey düzlemdeki bileşenleri terk edilerek çatı çapraz sistemi yatay düzlemde hesaplanmıştır.
- Rüzgar ve deprem yükleri etkisinde, çapraz sisteminde basınç oluşacak elemanlar terk edilerek çubuk elemanların yalnız çekme kuvveti taşıyacağı düşünülmüştür.

4.3.2 Kafes kirişli çerçeve sistem tasarım esasları

Yapının (x) doğrultusundaki yatay taşıyıcı sistemi, Bölüm 3.2.2’de tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen süneklik düzeyi yüksek kolonları üstten mafsallı çerçevelerden, (y) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi ise, Bölüm 3.2.5’te tanımlanarak ilgili tasarım koşulları verilen süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşmaktadır.

Çatı ve düşey çapraz sistemlerinin elemanları ve bunları birbirine bağlayan (y) yönü kirişleri çerçeve kirişlerine ve kolonlarına mafsallı olarak bağlanmaktadır. Çerçeve sistem elemanlarından kafes kirişler kolonlara bir taraftan sabit mafsallı diğer tarafta kayıcı mafsallı olarak bağlanmaktadır. Kolonların temele bağlantısı da ankastre olarak tasarlanmaktadır.

Kafes kirişli çerçeve sistem kesitleri Bölüm 4.1’de tanımlandığı üzere ayrı ayrı boyutlandırılacaktır. Çatı ve düşey düzlem bağlantıları ile (y) doğrultusundaki basınç elemanları ise kare kesitli kutu profiller ile teşkil edilecektir.

4.3.2.1 Düşey yükler

a) Çatı döşemesi	: çatı kaplaması	0.125 kN/m ²
	aşıklar ve çaprazlar	0.125 kN/m ²
	tesisat yükü	0.20 kN/m ²
	çelik konstrüksiyon	0.15 kN/m ²
		g = 0.60 kN/m ²
	kar yükü	q = 1.00 kN/m ²
b) Cepheler	: cephe kaplaması	0.125 kN/m ²
	cephe elemanları	0.10 kN/m ²
	doğrama	0.40 kN/m ²
	çelik konstrüksiyon (kolonlar)	0.80 kN/m
c) Dış duvar yükü	:	g _d = 3.00 kN/m ²

4.3.2.2 Rüzgar yükleri

Rüzgar yükleri Bölüm 4.3.1.2’de bahsedildiği gibidir.

4.3.2.3 Deprem karakteristikleri

Tasarımı yapılacak olan tek katlı çelik endüstri binası birinci derece deprem bölgesinde, Z2 yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilecektir ve işyeri (fabrika) olarak kullanılacağı düşünülmüştür. Bölüm 3.1.2.1-2'e göre yapı taşıyıcı sisteminin bir doğrultuda süneklik düzeyi yüksek kolonları üstten mafsallı çerçevelerden, diğer doğrultuda ise süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşturulması öngörülmektedir. Bu parametreler esas alınarak belirlenen deprem karakteristikleri ve ilgili yönetmelik maddeleri aşağıda verilmiştir.

- Etkin yer ivme katsayısı (birinci derece deprem bölgesi)

$$A_0 = 0.40 \quad (\text{Çizelge 3.1})$$

- Bina önem katsayısı (işyerleri)

$$I = 1.00 \quad (\text{Çizelge 3.2})$$

- Spektrum karakteristik periyotları (Z2 yerel zemin sınıfı)

$$T_A/T_B = 0.15/0.40 \text{ sn} \quad (\text{Çizelge 3.3})$$

- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$$R_x = 4, R_y = 5 \quad (\text{Çizelge 3.4})$$

- Hareketli yük katılım katsayısı (kar yükü için)

$$n = 0.30 \quad (\text{Çizelge 3.6})$$

4.3.2.4 (y) doğrultusu çatı ve düşey çapraz analizi

(y) doğrultusundaki deprem ve rüzgar etkilerine karşı düzenlenen süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perde sisteminin deprem etkileri ve rüzgar yükleri altında analizi yapılacaktır.

Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, merkezi çapraz sistemi, 1-2, 5-6, 9-10 aksları arasında düzenlenen çatı ve düşey çapraz düzeninden oluşmaktadır.

Merkezi çapraz sisteminin analiz ve boyutlandırılmasında yapılan varsayımlar aşağıda sıralanmıştır.

- a) Tüm çapraz sistemi, Bölüm 4.2’de anlatılan analiz sonuçlarında elde edilen elverişsiz iç kuvvetlere göre boyutlandırılacaktır. Böylece çapraz elemanlarının kesitleri aynı seçilmiş olacaktır.
- b) Dış aks aralarındaki (1-2 ve 9-10 aksları arasındaki) merkezi çapraz sistemi kalkan duvardan gelen rüzgar etkileri altında analiz edilecektir.
- c) 5-6 aksları arasındaki çelik merkezi çapraz sistemi ise, 3-4 aksı ortasından 7-8 aksı ortasına kadar olan mesafenin deprem yükünü alacak şekilde analiz edilecektir.
- d) Tek katlı olan ve büyük bir yatay rijitliğe sahip bulunan merkezi çapraz sisteminin birinci doğal titreşim periyodu;

$$T_A < T_{1y} < T_B$$

olduğu kabul edilerek,

$$S(T_{1y}) = 2.5$$

olarak hesaplarda göz önüne alınmıştır.

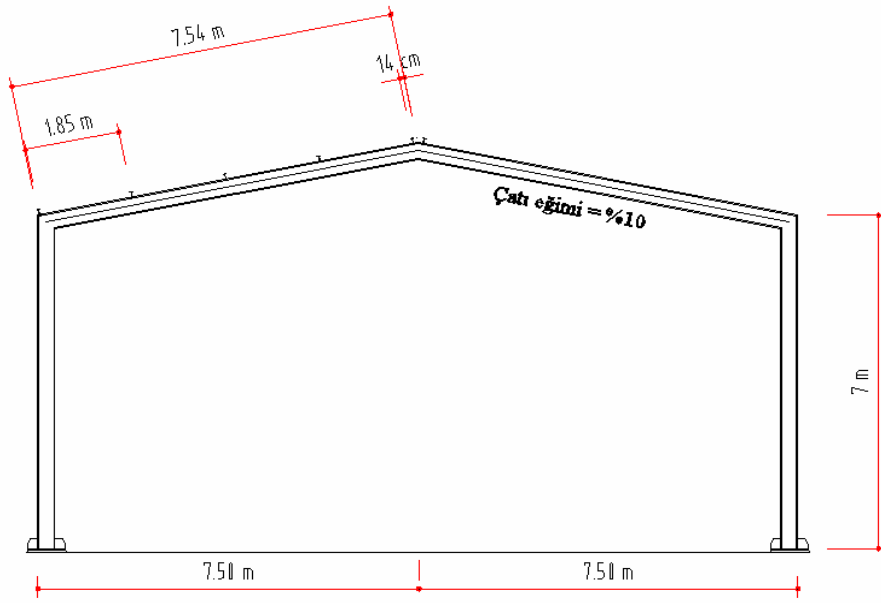
- e) Eğik çatı düzlemindeki çubuk kuvvetlerinin düşey düzlemdeki bileşenleri terk edilerek çatı çapraz sistemi yatay düzlemde hesaplanmıştır.
- f) Rüzgar ve deprem yükleri etkisinde, çapraz sistemindeki elemanların hem basınç hem de çekme kuvveti taşıyacağı düşünülmüştür.

4.3.3 Aşık, kalkan duvar dikmesi ve yatay kuşakların boyutlandırılması

4.3.3.1 Aşık boyutlandırılması

Aşık aralıkları kullanılacak olan çatı panelinin özelliklerine göre belirlenmiştir. Hesaplarda Aluform AL-DT 1000/56/100 marka poliüretan dolgulu çatı paneli kullanılacağı düşünülmüştür. Bu panelin özellikleri EK A.1’de verilmiştir.

Hesap yükleri, panel özellikleri ve sistem açıklığı parametreleri doğrultusunda aşık aralığı L=15 m olan sistemler için 1.85 m, L=20 m olan sistemler için 2.50 m, L=25 m olan sistemler için 1.55 m olarak belirlenmiştir ve L=15 m için düzenlenen aşık yerleşimi Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8 : L=15m sistem için aşık yerleşimi.

Aşık, panel hesap ağırlığı (0.125 kN/m^2) ve kar yükü (1.0 kN/m^2) altında TS648 Çelik Yapılar Standardı'na uygun iki açıklıkta sürekli ortadan gergili düşünülerek boyutlandırılmıştır ve boyutlandırmada aşık kesiti olarak IPN profiller seçilmiştir. Boyutlandırmalar sonucu elde edilen aşık kesitleri ve ağırlıkları EK B.1 ve EK B.2'de verilmiştir.

4.3.3.2 Kalkan duvar dikmesi ve yatay kuşak boyutlandırılması

Yatay kuşaklar cephe kaplaması yüklerini ve kaplamaya etkiyecek rüzgar yüklerini çerçeveye aktarır. Yatay kuşak aralıkları kullanılacak olan panelin özelliklerine göre belirlenir. Projede Aluform SF-DT 1000/60/100 paneli kullanılacaktır ve bu panelin özellikleri dikkate alınarak (bkz EK A.2) yatay kuşak aralıkları belirlenmiştir. Yatay kuşaklar, cephe paneli (0.125 kN/m^2) ve rüzgar yükü ($0.8 \times 0.5 \text{ kN/m}^2$ veya $0.8 \times 0.8 \text{ kN/m}^2$) altında TS648 Çelik Yapılar Standardı'na uygun iki açıklıkta sürekli ortadan gergili düşünülerek boyutlandırılmıştır ve boyutlandırmada yatay kuşak kesiti olarak UPN profiller seçilmiştir. Yatay kuşaklar sistemin kalkan duvarlarında ve boyuna doğrultusunda aynı UPN profil tipi seçilerek tasarlanmıştır.

Kalkan duvar dikmeleri, yatay kuşaklar aracılığı ile çerçeve düzlemine dik etkiyen rüzgar yüklerini çatı çaprazlarına ileten elemanlardır. Bu etkiler çatı çaprazlarından düşey çaprazlara oradan da temellere iletilirler.

Çatı çapraz düzenine uygun olarak $L=15$ m olan sistemlerde 3.75 m; $L=20$ m için 5.0 m; $L=25$ m için ise 6.25 m arayla olmak üzere tek aksta 3 adet kalkan duvar dikmesi teşkil edileceği düşünülmüştür.

Kalkan duvar dikmeleri kaplama yükü, yatay kuşak yükü ve rüzgar yükü altında TS648 Çelik Yapılar Standardı'na uygun olarak normal kuvvet ve eğilme momenti etkisinde boyutlandırılmıştır. Profil kirişli çerçeve sistem için, sistem kesit seçimine uygun olarak sistemin tamamı yapma için yapma; IPE için IPE; HEA için HEA profil kalkan duvar dikmesi seçilmiştir. Kafes kirişli çerçeve sistemde ise, kolon profili IPE profil olarak tasarlandığından kalkan duvar dikmesi de IPE profil seçilmiştir.

Boyutlandırmalar sonucu her bir sistem için seçilen kalkan duvar dikme kesitleri ve yatay kuşak kesit ve aralıkları EK B.1 ve EK B.2'de verilmiştir.

5. ÇELİK SİSTEMLERİN ANALİZİ

Bölüm 4.1’de belirtildiği üzere her iki sistem için toplamda 72 adet sistemin analizi SAP 2000 ortamında gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde her iki sistem için yapı parametreleri aks aralığı 5m, çerçeve açıklığı 15m ve yapı yüksekliği 7m alınarak yapılan hesap ve analizlere yer verilmiştir.

5.1 Profil Kirişli Çerçeve Sistem Analizi

Üç boyutlu genel sistem görünüşü Şekil 4.1’de, tipik çerçeve enkesiti Şekil 4.2’de, cephe sistem görünüşü Şekil 4.3’te ve çatı sistem planı Şekil 4.5’te verilen üçüncü grup hal tipine giren tek katlı çelik endüstri binası, aks aralığı 5m, çerçeve açıklığı 15m ve yapı yüksekliği 7m alınarak hesaplar gerçekleştirilmiş, statik sonuçlar ve tipik eleman boyutlandırılması yapılmıştır.

5.1.1 Düşey yükler

Bölüm 4.3.1.1’de bahsedildiği üzere $l=15m$ için $g=0.65 \text{ KN/m}^2$ elde edilmiştir. Diğer yükler ise aynen alınmıştır.

5.1.2 Deprem karakteristikleri

Bölüm 4.3.1.3’te belirtildiği üzere $A_0=0.40$, $I=1.00$, $T_A/T_B=0.15/0.40\text{sn}$, $R_x=5$ ve $R_y=4$ alınmıştır.

5.1.3 (x) doğrultusundaki moment aktaran çerçevelerin analizi

En elverişsiz durumda olan (6) aksı çerçevesinin düşey yükler, deprem etkileri ve rüzgar yükleri altında analizi yapılmıştır.

5.1.3.1 Çerçevenin birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin uygulanmasında, Bölüm 3.1.4.3’e göre, çerçevenin birinci doğal titreşim periyodu **Denk.(3.10)** ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

Çizelge 5.1: Düğüm noktası ağırlıkları ve kütleleri.

Düğüm Noktası	w_i (kN)	m_i (kNs ² /m)
1	27.4	2.79
2	35.625	3.63
3	27.4	2.79
Σ	90.425	9.21

Denk.(3.10)'daki F_{fi} fiktif kuvvetleri düğüm noktalarının ağırlıkları ve ± 0.00 kotundan yükseklikleri ile orantılı kuvvetlerdir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} F_0$$

Burada F_0 , seçilen herhangi bir yük katsayısını göstermektedir ve bu örnekte $F_0 = 1000 \text{ kN}$ olarak alınmıştır. Bu şekilde hesaplanan F_{fi} fiktif kuvvetleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Ön boyutlandırma sonucunda kiriş ve kolon enkesitleri belirlenen çerçeve sistemin F_{fi} fiktif kuvvetleri altında analizi ile elde edilen d_{fix} yatay kat yerdeğiştirmeleri Çizelge 5.2'de görülmektedir. Bu büyüklükler **Denk.(3.10)**'da yerlerine konularak çerçevenin birinci doğal periyodu hesaplanır. Bu hesaplar da Çizelge 5.2'de görülmektedir.

Çizelge 5.2: Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri.

Düğüm Noktası	F_{fi} (kN)	d_{fix} (m)	m_i	$m_i d_{fix}^2$	$F_{fi} d_{fix}$
1	290.7	0.68608	2.79	1.31327	199.460
2	418.6	0.68726	3.63	1.71454	287.654
3	290.7	0.68608	2.79	1.31327	199.460
Σ	1000			4.34108	686.574

Çerçevenin birinci doğal titreşim periyodunun hesabı şu şekildedir:

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} = 2\pi \left(\frac{4.34108}{686.574} \right)^{1/2} = 0.50 \text{ s}$$

5.1.3.2 Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi

Bölüm 3.1.3.2'ye göre, bina yüksekliğinin $H_N \cong 7.75m < 40.0m$ olması ve taşıyıcı sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması nedeniyle eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanacaktır.

Bölüm 3.1.4.1'e göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, çerçevenin tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t , **Denk.(3.4)** ile hesaplanmaktadır.

Çerçevenin (x) doğrultusundaki taban kesme kuvveti

$$T_{1x} = 0.50s > T_B = 0.40s \rightarrow S(T_{1x}) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} = 2.11$$

$$R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 5$$

değerleri **Denk.(3.4)**'te yerlerine konularak

$$V_{tx} = \frac{WA(T)_1}{R_a(T_1)} = 90.43 \frac{0.40 \times 1.0 \times 2.11}{5} = 15.26kN$$

şeklinde hesaplanır.

5.1.3.3 Düğüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Bölüm 3.1.4 uyarınca, çerçeveye etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, düğüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın tek katlı olması nedeniyle, ek eşdeğer deprem yükünün hesabına gerek olmamaktadır. Bu durumda, düğüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri;

$$F_i = V_t \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

denklemini ile

$$\sum_{j=1}^N w_j H_j = 659.73$$

$$F_1 = F_3 = 15.26 \times \frac{27.4 \times 7.0}{659.73} = 4.44kN$$

$$F_2 = 15.26 \times \frac{35.63 \times 7.75}{659.73} = 6.39 \text{ kN}$$

olarak elde edilmiştir.

5.1.3.4 Rüzgar yükleri

Buna göre, (x) doğrultusunda çerçeveye etkiyen yayılı rüzgar yükleri [11];

$$w_1 = 0.8 \times 0.5 \times 5 = 2.00 \text{ kN / m}$$

$$w_2 = -0.28 \times 0.5 \times 5 = -0.70 \text{ kN / m}$$

$$w_3 = w_4 = -0.4 \times 0.5 \times 5 = -1.00 \text{ kN / m}$$

değerlerini almaktadır. Bu yükler, gerçek yönleri ile, Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

5.1.3.5 Yatay yer değiştirmelerin kontrolü

Yatay yer değiştirmelerin kontrolü Bölüm 3.1.5.1’e göre yapılacaktır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$$

Tek katlı olan bu örnekte $d_{i-1} = 0$ olduğundan, yukarıdaki denklem;

$$\Delta_i = d_i$$

olur.

Çerçevenin *etkin görelî kat ötelemesi*, δ_i ise

$$\delta_i = R \Delta_i$$

bağıntısı ile hesaplanır.

(6) aksı çerçevesinin deprem yükleri analizi sonucunda bulunan azaltılmış görelî kat ötelemesi;

$$\Delta_i = d_i = 1.459 \text{ cm}$$

olduğundan, etkin görelî kat ötelemesi;

$$\delta_i = 5 \times 1.459 = 7.295 \text{ cm}$$

olarak hesaplanır. Buna göre, δ_i / h_i oranı;

$$\delta_i / h_i = 7.295 / 700 = 0.0104$$

değerini almakta ve Bölüm 3.1.5.1-3'de öngörülen

$$(\delta_i / h_i)_{maks} = 0.0104 < 0.02$$

koşulunu sağlamaktadır.

5.1.3.6 İkinci merteye etkileri

Bölüm 3.1.5.2 uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda ikinci merteye etkilerini temsil eden *ikinci merteye gösterge değeri*, θ_i hesaplanarak

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0.12$$

koşulu kontrol edilecektir.

Tek katlı olan (6) aksı çerçevesinde θ_i değeri

$$(\Delta_i)_{ort} = 1.459 \text{ cm}$$

$$\sum w_j = 90.43 \text{ kN} \quad (\text{bakınız, Çizelge 5.1})$$

$$V_i = 15.26 \text{ kN}$$

$$h_i = 700 \text{ cm}$$

olmak üzere

$$\theta_{maks} = \frac{1.459 \times 90.43}{15.29 \times 700} = 0.0123 < 0.12$$

koşulu sağlanmıştır.

5.1.4 (y) doğrultusundaki merkezi çapraz sisteminin analizi

5.1.4.1 Merkezi çapraz sisteminin rüzgar yükleri için hesabı

1 ve 2 aksları cephe kolonlarına etkiyen rüzgar yükleri ve bu yüklerden dolayı çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerine aktarılan mesnet tepkileri aşağıda hesaplanarak Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

Cephe kolonlarına etkiyen rüzgar yükleri:

$$w_1 = 0.8 \times 0.5 \times 1.875 = 0.75 \text{ kN / m}$$

$$w_2 = 0.8 \times 0.5 \times 3.75 = 1.50 \text{ kN / m}$$

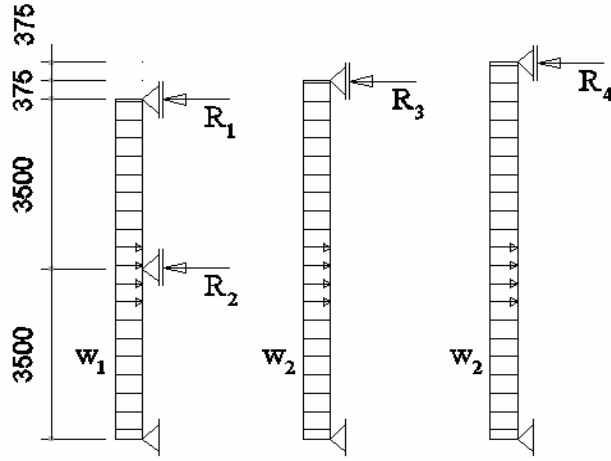
Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemine etkiyen mesnet tepkileri:

$$R_1 = 0.75 \times 1.75 = 1.3125 \text{ kN}$$

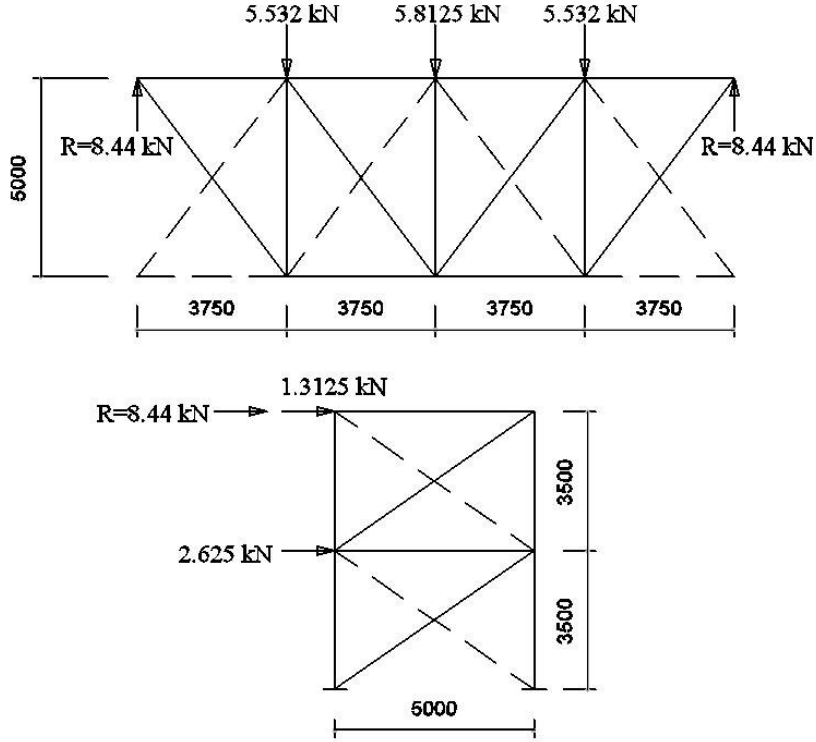
$$R_2 = 0.75 \times 3.50 = 2.625 \text{ kN}$$

$$R_3 = 1.50 \times 7.375 / 2 = 5.532 \text{ kN}$$

$$R_4 = 1.50 \times 7.75 / 2 = 5.8125 \text{ kN}$$



Şekil 5.2 : Cephe kolonlarının rüzgar yükleri ve mesnet tepkileri.



Şekil 5.3 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkiyen rüzgar yükleri.

1-2 ve 9-10 aksları arasındaki çatı ve düşey düzlem çapraz sistemleri yukarıda gösterilmiş olan rüzgar yükleri altında hesaplanarak çubuk kuvvetleri Sap2000 programı aracılığıyla bulunmuştur.

5.1.4.2 Merkezi çapraz sisteminin deprem yükleri için hesabı

5-6 aksları arasındaki çatı ve düşey çapraz sistemine etkiyen deprem yükleri hesaplanarak Şekil 5.4’de gösterilmiştir.

Bölüm 3.1.4.1 uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda çatı ve düşey düzlem çapraz sisteminin düğüm noktalarına etkiyen F_i eşdeğer deprem yükleri,

Denk.(3.4)’e benzer olarak uygulanan aşağıdaki bağıntı ile belirlenecektir.

$$F_i = W_i \frac{A(T_i)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 W_i$$

Burada, W_i , ilgili düğüm noktasına etkiyen eşdeğer deprem yükü hesabına esas olan ağırlıktır.

Binaya (y) doğrultusundaki eşdeğer deprem yükleri, daha önceden belirtildiği gibi;

$$S(T_{1y}) = 2.5 \text{ ve } R_{ay}(T_{1y}) = R_y = 4$$

alınarak,

$$F_1 = W_i \frac{0.4 \times 1.0 \times 2.5}{4} = 0.25 W_i$$

şeklinde hesaplanır.

Çatı çapraz sistemine etkiyen deprem yükleri:

$$F_1 = 0.25 \times (0.65 + 0.3 \times 1.00) \times 1.875 \times 10.0 = 4.46 kN$$

$$F_2 = 0.25 \times (0.65 + 0.3 \times 1.00) \times 3.75 \times 10.0 = 8.91 kN$$

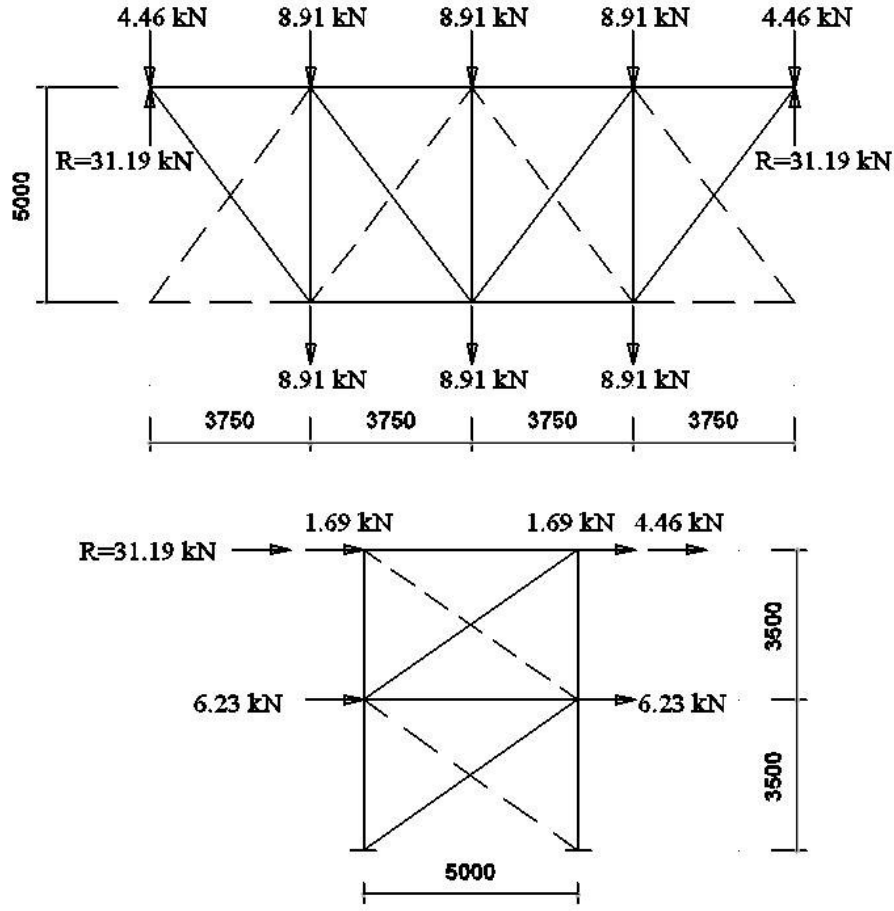
Çatı çapraz sistemi mesnet tepkileri:

$$R = 4.46 + 3 \times 8.91 = 31.19 kN$$

Düşey çapraz sistemine etkiyen deprem yükleri:

$$F_3 = 0.25 \times (1.925 \times 1.75) \times 2 = 1.69 kN$$

$$F_4 = 0.25 \times (1.925 \times 1.75 + 2.8 \times 2 \times \frac{2.5}{3.5} + 15.8 \times 1.5 \times \frac{0.75}{3.5}) \times 2 = 6.23 kN$$



Şekil 5.4 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkiyen deprem yükleri.

5-6 aksları arasındaki çatı ve düşey düzlem çapraz sistemleri yukarıda gösterilmiş olan deprem yükleri altında hesaplanarak çubuk kuvvetleri Sap2000 programı aracılığıyla bulunmuştur.

5.1.4.3 Çerçeve kirişlerinin boyutlandırılması

(6) aksı çerçeve kirişinde, en elverişsiz olan düşey yükler (G+Q yüklemesi) için gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır.

Düşey sabit ve hareketli yüklerden dolayı kiriş mesnedinde oluşan toplam iç kuvvetler;

$$N_{G+Q} = -32.54 kN$$

$$M_{G+Q} = 118.71 kNm$$

$$T_{G+Q} = 58.04 kN$$

değerlerini almaktadır.

Seçilen yapma kiriş kesiti (YI 350x8/200x12) için gerekli enkesit karakteristikleri;

$$W_x = 994cm^3, I_x = 18589cm^4, S_x = 557cm^3, A = 76cm^2$$

$$W_y = 160cm^3, I_y = 1601cm^4, i_x = 15.64cm, i_y = 4.59cm, i_{min} = 4.59cm$$

Enkesit boyutları: başlık genişliği: b=200mm

başlık kalınlığı: t=12mm

en kesit yüksekliği: d=374mm

gövde kalınlığı: tw=8mm

gövde yüksekliği: h=374-2x12=350mm

başlık alanı: Fb=20x1.2+0.8x(35/6)= 28.67cm²

Bölüm 3.2.3'te verilen enkesit koşulları uyarınca, kiriş enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının Çizelge 3.9'da verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Kiriş enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşullar;

$$\frac{b/2}{t} = 0.5\sqrt{Es/\sigma_a}$$

ve

$$\frac{h}{t_w} = 5.0\sqrt{Es/\sigma_a}$$

şeklindedir.

$$\text{ST37 yapı çeliği için; } \sqrt{Es/\sigma_a} = \sqrt{206182/235} = 29.62$$

değeri yukarıdaki ifadede yerine konulursa;

$$\frac{100}{12} = 8,33 < 0.5 \times 29.58 = 14.81 \text{ ve } \frac{350}{8} = 43.75 < 5.0 \times 29.81 = 148.10$$

elde edilir ve enkesit koşullarının sağladığı görülür.

Çerçeve kirişinin mesnet bölgesindeki s=185cm uzunlukta, negatif mesnet momentinden dolayı basınç başlığının yanal burkulmasının önlenmesi amacıyla, kiriş

alt başlık düzleminde bir bağlantı sistemi oluşturulacak ve bu durum için kiriş alt başlığının yanal burkulma tahkiki yapılacaktır.

TS648 Çelik Yapılar Standardı Madde 3.3.4.2'ye göre, basınç emniyet gerilmesi (σ_{Bx}) olarak aşağıdaki denklemlerle hesaplanan değerlerden büyük olanı alınır [10].

$$\sigma_{Bx} = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_a x \lambda_{yb}^2}{9 \cdot 10^7 C_b} \right] x \sigma_a \quad (1) \quad \rightarrow \lambda_{yb} \leq \sqrt{\frac{3 \cdot 10^7 C_b}{\sigma_a}} \text{ ise,}$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{10^7 C_b}{\lambda_{yb}^2} \quad (2) \quad \rightarrow \lambda_{yb} > \sqrt{\frac{3 \cdot 10^7 C_b}{\sigma_a}} \text{ ise,}$$

$$\sigma_{Bx} = \frac{84 x 10^4 x C_b}{S_{ky} \frac{d}{F_b}} \quad (3) \quad \text{En kesitte basınç başlığı dolu kesit, dikdörtgene yakın formda ve alanı da çekme başlığı alanından küçük değilse.}$$

Burada;

S_{ky} : kirişin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık ($S_{ky}=185$ cm).

C_b : emniyetli yönde kalmak üzere, sabit eğilme momenti diyagramı varsayımı ile

$C_b \cong 1.00$ olarak seçilen bir katsayı.

λ_{yb} : basınç başlığı yanal burkulma narinliği.

F_b : kiriş basınç bölgesi alanı.

d: kiriş en kesit yüksekliği.

$$I_{yb} = 1.2 \frac{20^3}{12} = 800 \text{ cm}^4 \rightarrow i_{yb} = \sqrt{\frac{I_{yb}}{F_b}} = 5.28 \text{ cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_{ky}}{i_{yb}} = 35.04 < \sqrt{\frac{3 \cdot 10^7 x 1}{2400}} = 111.80$$

elde edilir. Böylece, basınç emniyet gerilmesi (σ_{Bx}) hesabında (1) ve (3) formülleri kullanılarak elde edilen değerden büyük olanı alınacaktır ve bu değer $0.6\sigma_a$ değerinden büyük olmayacaktır.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{Bx} &= \left[\frac{2}{3} - \frac{2400 \times 35.04^2}{9.10^7 \times 1} \right] \times 2400 = 1521 \text{ kgf / cm}^2 = 152 \text{ N / mm}^2 \\ \sigma_{Bx} &= \frac{84 \times 10^4 \times 1}{185 \times \frac{37.4}{28.67}} = 3480.6 \text{ kgf / cm}^2 = 348 \text{ N / mm}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_{Bx} = 141 \text{ N / mm}^2$$

Normal kuvvet ve eğilme momenti altında normal gerilme tahkiki yapılacaktır.

$$\sigma_{eb} = \frac{N}{A} = \frac{32.54}{76} = 0.428 \text{ kN / cm}^2 = 4.28 \text{ N / mm}^2$$

σ_{bem} : kirişin $\lambda_{maks} = \max(\lambda_x, \lambda_y)$ narinliğine bağlı olarak, TS648 Çizelge 8'e göre belirlenen basınç emniyet gerilmesidir [10].

$$\left. \begin{aligned} \lambda_x &= \frac{1500}{15.4} = 95.9 \\ \lambda_y &= \frac{185}{4.59} = 40.3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_{bem} = 766.2 \text{ kgf / cm}^2 = 76.62 \text{ N / mm}^2 \quad (\text{TS648 Çizelge 8})$$

TS648 Standardı Madde 3.4'e göre ;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{4.28}{76.62} = 0.057 < 0.15$$

olması halinde, tek eksenli birleşik eğilmede normal gerilme tahkiki;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1.00$$

formülü ile yapılır [10].

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{W_x} = \frac{11871}{994} = 11.943 \text{ kN / cm}^2 = 119.43 \text{ N / mm}^2$$

değerleri bu formülde yerine konulursa;

$$\frac{4.28}{76.62} + \frac{119.43}{141} = 0.903 < 1.00$$

elde edilir ve normal gerilme tahkiki sağlanır.

Kayma gerilmesi tahkiki;

$$\tau = \frac{T_x S_x}{I_x t_w} = \frac{58.04 \times 557}{18589 \times 0.8} = 2.17 \text{ kN} / \text{cm}^2 = 21.7 \text{ N} / \text{mm}^2 < 82 \text{ N} / \text{mm}^2 = \tau_{em}$$

Sehim tahkiki analiz sonuçlarına göre maksimum düşey yer değıştirme;

$$f_{maks} = 4.444 \text{ cm} \quad , \quad L = 1500 \text{ cm}$$

$$\frac{f_{maks}}{L} = \frac{4.444}{1500.0} = \frac{1}{337} < \frac{1}{300} \quad \checkmark$$

5.1.4.4. Çerçeve kolonlarının boyutlandırılması

(6) aksı çerçeve kolonunun (bakınız, Şekil 4.2) üst ucunda, en elverişsiz sonuç veren düşey yükleme (G+Q) için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

$$N_{G+Q} = -60.981 \text{ kN}$$

$$M_{G+Q} = 118.71 \text{ kNm}$$

$$T_{G+Q} = 26.61 \text{ kN}$$

değerlerini almaktadır. Düşey yükler altında kolon alt ucundaki eğilme momenti ise $M_x = 67.52 \text{ kNm}$ dir.

Seçilen yapma kolon kesiti (YI 350x8/200x12) için gerekli enkesit karakteristikleri;

$$W_x = 994 \text{ cm}^3 \quad , \quad I_x = 18589 \text{ cm}^4 \quad , \quad S_x = 557 \text{ cm}^3 \quad , \quad A = 76 \text{ cm}^2$$

$$W_y = 160 \text{ cm}^3 \quad , \quad I_y = 1601 \text{ cm}^4 \quad , \quad i_x = 15.64 \text{ cm} \quad , \quad i_y = 4.59 \text{ cm} \quad , \quad i_{\min} = 4.59 \text{ cm}$$

Süneklik düzeyi normal çerçevelerin kolonları için Bölüm 3.2.3.1-1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, kolon enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının Çizelge 3.9 ’da verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Kolon enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşullar;

$$\frac{b/2}{t} = 0.5 \sqrt{Es / \sigma_a} \quad \text{ve} \quad \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \leq 0.10 \quad \text{için} \quad \frac{h}{t_w} = 5.0 \sqrt{Es / \sigma_a} \left(1 - 1.7 \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$$

şeklindedir.

Boyutsuz normal kuvvet oranının;

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| = \frac{6.22}{2.4 \times 76} = 0.0341 < 0.10$$

değeri ile ST37 yapı çeliği için $\sqrt{E s / \sigma_a} = 29.62$ değeri yukarıdaki ifadelerde yerine konulursa;

$$\frac{100}{12} = 8,33 < 14.81 \text{ ve}$$

$$\frac{350}{8} = 43.75 < 5.0 \times 29.62 \times (1 - 1.7 \times 0.0341) = 139.32$$

elde edilir ve en kesit koşullarının sağlandığı görülür.

Bileşik eğilme etkisindeki bu kolonda normal gerilme tahkiki TS648 Çelik Yapılar Standardı Madde 3.4'te verilen;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \sigma_{bx}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}} \right) \sigma_{Bx}} \leq 1.00$$

formülü ile yapılacaktır [10]. Burada;

$$\sigma_{eb} = \frac{60.981}{76} = 0.803 \text{ kN / cm}^2 = 8.03 \text{ N / mm}^2 \quad : \text{ yalnız basınç kuvveti altındaki gerilme.}$$

σ_{bem} : kolonun λ_x ve λ_y narinliklerinden büyük olanına bağlı olarak TS648 Standardı Çizelge 8'den alınan basınç emniyet gerilmesidir.

(6) aksı çerçevesi kolonunun kuvvetli eksenı doğrultusunda yanal ötelenmesinin önlenmemiş olduğu, zayıf eksenı doğrultusunda ise yanal ötelenmesinin düşey çapraz sistemi tarafından önlendiği göz önünde tutulmuştur.

Buna göre, çerçeve kolonunun eğilme rijitliği ile bu kolona bağlanan çerçeve kirişinin eğilme rijitliğine bağlı olarak TS648 Çizelge 5'ten K_x katsayısı belirlenmiştir.

$$S_{kx} = K_x \times H = 1.48 \times 700 = 1036 \text{ cm} , S_{ky} = 350 \text{ cm}$$

değerlerini almaktadır. Bu değerler kullanılarak narinlik oranları;

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{1036}{15.64} = 66.24 \quad , \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} = \frac{350}{4.59} = 76.25 \rightarrow \lambda_{maks} = 76.25$$

olarak bulunur.

Bu narinlik değerlerine göre, TS648 Çizelge 8'den okunan basınç emniyet gerilmesi;

$$\sigma_{bem} = 92.54 N / mm^2 \text{ dir.}$$

Yalnız eğilme momenti altında hesaplanan gerilme;

$$\sigma_{bx} = \frac{11871}{994} = 11.943 kN / cm^2 = 119.43 N / mm^2 \text{ dir.}$$

$C_{mx} \cong 0.85$: yanal ötelenmesi önlenmemiş sistem.

$$\sigma'_{ex} = \frac{829 \times 10^4}{\lambda_x^2} = 1889.35 kg / cm^2 = 189 N / mm^2$$

Yanal burkulma halinde basınç emniyet gerilmesi; TS648 Madde 3.3.4.2'ye göre hesaplanır. Bu hesaplamalar Bölüm 5.1.4.3'te gösterilmiştir. Buna göre;

$$I_{yb} = 1.2 \frac{20^3}{12} = 800 cm^4 \rightarrow i_{yb} = 5.28 cm$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_{ky}}{i_{yb}} = \frac{350}{5.28} = 66.30$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.3 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.3$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{25.6}{67.5} \right) + 0.3 \left(\frac{25.6}{67.5} \right)^2 = 2.19$$

olarak elde edilir [10].

$$\lambda_{yb} = 66.30 < \sqrt{\frac{3 \times 10^7 C_b}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{3 \times 10^7 \times 2.19}{2400}} = 165.45$$

olarak elde edildiğinden (1) ve (3) denklemleri hesaplanarak büyük olan değer basınç emniyet gerilmesi olarak alınacaktır.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{Bx} &= \left[\frac{2}{3} - \frac{2400 \times 66.30^2}{9.10^7 \times 2.19} \right] 2400 = 1471.5 \text{ kg / cm}^2 = 147 \text{ N / mm}^2 \\ \sigma_{Bx} &= \frac{84 \times 10^4 \times 2.19}{350 \times \frac{37.4}{28.67}} = 4029.13 \text{ kg / cm}^2 = 403 \text{ N / mm}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_{Bx} = 141 \text{ N / mm}^2$$

olarak alınır.

Normal gerilme tahkiki;

$$\frac{\sigma}{\sigma_{em}} = \frac{8.03}{92.54} + \frac{0.85 \times 119.43}{\left(1.0 - \frac{8.03}{189}\right) 141} = 0.84 < 1.00$$

TS648 Çelik Yapılar Standardı Madde 3.4'e göre;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{8.03}{92.54} = 0.089 < 0.15$$

olması halinde tek eksenli birleşik eğilme tahkiki;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \leq 1.00$$

formülü ile de yapılmaktadır [10]. Bu durumda da $\frac{\sigma}{\sigma_{em}}$

$$\frac{8.03}{92.54} + \frac{119.43}{141} = 0.934 < 1.00$$

değerini alır ve tahkik sağlanır.

Kayma gerilmesi tahkiki:

$$\tau = \frac{T_x S_x}{I_x t_w} = \frac{26.61 \times 557}{18589 \times 0.8} = 1.02 \text{ kN / cm}^2 = 10.2 \text{ N / mm}^2 < 82 \text{ N / mm}^2 = \tau_{em}$$

5.1.4.5 Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemi elemanlarının boyutlandırılması

En elverişsiz olan (5-6) aksı arası düşey düzlem çapraz sistemi elemanları boyutlandırılacaktır. Düşey düzlem çapraz sisteminin en elverişsiz çubuk kuvvetleri;

Diyagonal çubukları;

rüzgar yüklemesi = 15,10 kN

deprem yüklemesi = 62.782 kN

Dikme çubukları;

rüzgar yüklemesi = -12.37 kN

deprem yüklemesi = -45.22 kN

Diyagonal çubukları için seçilen kesit L80x80x8

Enkesit karakteristikleri: $A=12.30 \text{ cm}^2$, $i_{\min}=1.55 \text{ cm}$

M20 bulon konulması halinde net enkesit alanı: $A_n=12.3-0.8 \times 2.1=10.62 \text{ cm}^2$

Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerin elemanları için Bölüm 3.2.6.1-1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, çaprazların kenar uzunluğu/kalınlık oranının Çizelge 3.9’da verilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Çapraz elemanının enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşul;

$$\frac{h}{t_w} = 0.5 \sqrt{E_s / \sigma_a}$$

şeklindedir.

St37 yapı çeliği için;

$$\sqrt{E_s / \sigma_a} = 29.62$$

değerini alır ve bu değer yukarıdaki denklemde yerine konulursa;

$$\frac{80}{8} < 10.00 < 0.5 \times 29.62 = 14.81$$

elde edilir ve en kesit koşulunun sağlandığı görülür.

Bölüm 3.2.6.1-4’e göre sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde hesaplanan çaprazlarda narinlik oranı 250’yi aşmayacaktır. Ancak en çok iki katlı binalarda çapraz elemanların deprem etkilerinden oluşan çekme kuvvetinin $\Omega_0 = 2$ katsayısı ile çarpımını taşıyacak şekilde boyutlandırılmaları halinde bu kural uygulanmayabilir.

Çubuk boyu $L=610 \text{ cm}$ olan diyagonal çubuklarında, narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{l}{i_{\min}} = \frac{610}{1.55} = 394 > 250$$

olduğundan, boyutlandırma çubuk kuvvetinin

$$\Omega_0 N_{maks} = 2.0 \times 62.782 = 125.564 kN$$

değeri için yapılacaktır.

$$\sigma = \frac{125.564}{10.62} = 11.82 kN / cm^2 = 118.2 N / mm^2 < 1.33 \times 141 = \sigma_{em}$$

Dikme çubukları için seçilen kesit: Kutu 120x120x4

En kesit karakteristikleri: $A=18.1 cm^2$, $i_{min}=4.7 cm$

Süneklik düzeyi normal merkezli çelik çaprazlı perdelerin elemanları için Bölüm 3.2.6.1-1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, dikdörtgen kutu kesitli elemanların kenar uzunluğu/kalınlık oranının Çizelge 3.9’da verilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Elemanın enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşul;

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.2 \sqrt{Es / \sigma_a} = 35.50$$

olarak elde edilir ve

$$\frac{120 - 2 \times 4}{4} = 28 \leq 1.2 \sqrt{Es / \sigma_a} = 35.50$$

en kesit koşulunun sağlandığı görülür.

Bölüm 3.2.6.1-2’ye göre basınca çalışan elemanların narinlik oranı;

$$4.0 \sqrt{Es / \sigma_a} = 4.0 \times 29.62 = 118.32$$

sınır değerini aşmayacaktır.

Çubuk boyu $L=500 cm$ olan dikme çubuklarında, narinlik oranı

$$\lambda = \frac{500}{4.7} = 106 < 118$$

olduğundan narinlik koşulu sağlanmıştır ve bu narinlik değeri için TS648 Çizelge 8’den bulunan basınç emniyet gerilmesi;

$$\sigma_{bem} = 685.3 kgf / cm^2 = 68.53 N / mm^2 \text{ dir.}$$

Buna göre dikme çubuklarında gerilme tahkiki;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} = \frac{45.22 \times 10}{68.53 \times 18.1} = 0.365 < 1.33$$

5.2 Kafes Kirişli Çerçeve Sistem Analizi

Üç boyutlu genel sistem görünüşü Şekil 4.4’de, tipik çerçeve enkesiti Şekil 4.6’da, cephe sistem görünüşü Şekil 4.3’de ve çatı sistem planı Şekil 4.5’de verilen birinci grup hal tipine giren tek katlı çelik endüstri binası, aks aralığı 5m, çerçeve açıklığı 15m ve yapı yüksekliği 7m alınarak hesaplar gerçekleştirilmiş, statik sonuçlar ve tipik eleman boyutlandırılması yapılmıştır.

5.2.1 Düşey yükler

Bölüm 4.3.2.1’de bahsedildiği üzere yükler aynen alınmıştır. Bu yükler kafes giriş düğüm noktalarına etkilmiştir.

5.2.2 Deprem karakteristikleri

Bölüm 4.3.2.3’te belirtildiği üzere $A_0=0.40$, $I=1.00$, $T_A/T_B=0.15/0.40$ sn, $R_x=4$ ve $R_y=5$ alınmıştır.

5.2.3 (x) doğrultusundaki kafes girişli çerçevelerin analizi

En elverişsiz durumda olan (6) aksı çerçevesinin düşey yükler, deprem etkileri ve rüzgar yükleri altında analizi yapılmıştır.

5.2.3.1 Çerçevenin birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi’nin uygulanmasında, Bölüm 3.1.4.3’e göre, çerçevenin birinci doğal titreşim periyodu **Denk.(3.10)** ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

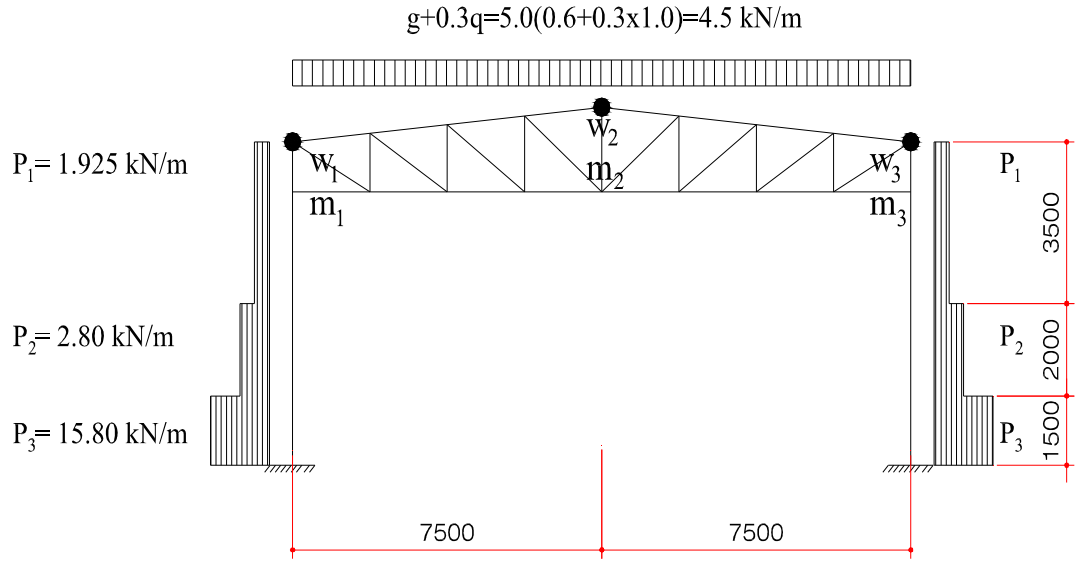
(6) aksı çerçevesine etkiyen sabit yükler ve hareketli yük katılım katsayısı ile çarpılmış hareketli yükler Şekil 5.5’teki sistem şeması üzerinde görülmektedir.

Sistemin düğüm noktalarında toplandığı varsayılan w_i toplam ağırlıklarının ve m_i kütlelerinin bu yüklere bağlı olarak hesabı aşağıda verilmiş ve sonuçlar Çizelge 5.3’de topluca gösterilmiştir.

$$p_1 = 5.0 \times 0.225 + 0.8 = 1.925 \text{ kN / m}$$

$$p_2 = 5.0 \times 0.4 + 0.8 = 2.80 \text{ kN/m}$$

$$p_3 = 5.0 \times 3.0 + 0.8 = 15.80 \text{ kN/m}$$



Şekil 5.5 : (6) aksı çerçevesine etkiyen sabit ve hareketli yükler ($n=0.30$).

$$w_1 = 15.8 \times 1.5 \times \frac{0.75}{7.0} + 2.8 \times 2.0 \times \frac{2.5}{7.0} + 1.925 \times 3.5 \times \frac{5.25}{7.0} + 4.5 \times 3.75 = 26.5 \text{ kN}$$

$$w_1 = w_3 = 26.5 \text{ kN}$$

$$m_1 = m_3 = \frac{26.5}{9.81} = 2.70 \text{ kNs}^2 / \text{m}$$

$$w_2 = 7.5 \times 4.50 = 33.75 \text{ kN}$$

$$m_2 = \frac{33.75}{9.81} = 3.44 \text{ kNs}^2 / \text{m}$$

Çizelge 5.3: Düğüm noktası ağırlıkları ve kütleleri.

Düğüm Noktası	w_i (kN)	m_i (kNs ² /m)
1	26.5	2.70
2	33.75	3.44
3	26.5	2.70
Σ	86.75	8.84

Denk.(3.10)'daki F_{fi} fiktif kuvvetleri düğüm noktalarının ağırlıkları ve ± 0.00 kotundan yükseklikleri ile orantılı kuvvetlerdir ve aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} F_0$$

Burada F_0 , seçilen herhangi bir yük katsayısını göstermektedir ve bu örnekte $F_0 = 1000kN$ olarak alınmıştır. Bu şekilde hesaplanan F_{fi} fiktif kuvvetleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Ön boyutlandırma sonucunda kiriş ve kolon enkesitleri belirlenen çerçeve sistemin F_{fi} fiktif kuvvetleri altında analizi ile elde edilen d_{fix} yatay kat yerdeğiştirmeleri Çizelge 5.4’de görülmektedir. Bu büyüklükler **Denk.(3.10)**’da yerlerine konularak çerçevenin birinci doğal periyodu hesaplanır. Bu hesaplar da Çizelge 5.4’de görülmektedir.

Çizelge 5.4: Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri.

Düğüm Noktası	F_{fi} (kN)	d_{fix} (m)	m_i	$m_i d_{fix}^2$	$F_{fi} d_{fix}$
1	293.25	3.99	2.70	42.98427	1170.074
2	413.50	4.01	3.44	55.31554	1658.122
3	293.25	0.00	2.70	0.00	0.00
Σ	1000			98.29981	2828.196

Çerçevenin birinci doğal titreşim periyodunun hesabı şu şekildedir:

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} = 2\pi \left(\frac{98.29981}{2828.196} \right)^{1/2} = 1.17s$$

5.2.3.2 Toplam eşdeğer deprem yükünün belirlenmesi

Bölüm 3.1.3.2’ye göre, bina yüksekliğinin $H_N \cong 7.75m < 40.0m$ olması ve taşıyıcı sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizliklerinin bulunmaması nedeniyle eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanacaktır.

Bölüm 3.1.4.1’e göre, göz önüne alınan deprem doğrultusunda, çerçevenin tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t , **Denk.(3.4)** ile hesaplanmaktadır.

Çerçevenin (x) doğrultusundaki taban kesme kuvveti

$$T_{1x} = 1.17s > T_B = 0.40s \rightarrow S(T_{1x}) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} = 1.06 \approx 1.1$$

$$R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 4$$

değerleri **Denk.(3.4)**'te yerlerine konularak

$$V_{tx} = \frac{WA(T)_1}{R_a(T_1)} = 86.75 \frac{0.40 \times 1.0 \times 1.10}{4} = 9.55 kN < V_{tmin} = 0.1 \times 0.4 \times 1 \times 86.75 = 3.47 kN$$

şeklinde hesaplanır.

5.2.3.3 Düğüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin belirlenmesi

Bölüm 3.1.4 uyarınca, çerçeveye etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, düğüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı olarak ifade edilir. Binanın tek katlı olması nedeniyle, ek eşdeğer deprem yükünün hesabına gerek olmamaktadır. Bu durumda, düğüm noktalarına etkiyen eşdeğer deprem yükleri;

$$F_i = V_t \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j}$$

denklemini ile

$$\sum_{j=1}^N w_j H_j = 632.56$$

$$F_1 = F_3 = 9.55 \times \frac{26.5 \times 7.0}{632.56} = 2.80 kN$$

$$F_2 = 9.55 \times \frac{33.75 \times 7.75}{632.56} = 3.95 kN \text{ olarak elde edilmiştir.}$$

5.2.3.4 Rüzgar yükleri

Buna göre, (x) doğrultusunda çerçeveye etkiyen yayılı rüzgar yükleri [11];

$$w_1 = 0.8 \times 0.5 \times 5 = 2.00 kN / m$$

$$w_2 = -0.28 \times 0.5 \times 5 = -0.70 kN / m$$

$$w_3 = w_4 = -0.4 \times 0.5 \times 5 = -1.00 kN / m$$

değerlerini almaktadır.

5.2.3.5 Yatay yerdeğiştirmelerin kontrolü

Yatay yerdeğiştirmelerin kontrolü Bölüm 3.1.5.1'e göre yapılacaktır.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1}$$

Tek katlı olan bu örnekte $d_{i-1} = 0$ olduğundan, yukarıdaki denklem;

$$\Delta_i = d_i$$

olur.

Çerçevenin *etkin görelî kat ötelemesi*, δ_i ise

$$\delta_i = R\Delta_i$$

bağıntısı ile hesaplanır.

(6) aksı çerçevesinin deprem yükleri analizi sonucunda bulunan azaltılmış görelî kat ötelemesi;

$$\Delta_i = d_i = 3.36cm$$

oldüğundan, etkin görelî kat ötelemesi;

$$\delta_i = 4 \times 3.36 = 13.44cm$$

olarak hesaplanır. Buna göre, δ_i / h_i oranı;

$$\delta_i / h_i = 13.44 / 700 = 0.0192$$

değerini almakta ve Bölüm 3.1.5.1-3'te öngörülen

$$(\delta_i / h_i)_{maks} = 0.0192 < 0.02$$

koşulunu sağlamaktadır.

5.2.3.6 İkinci mertebe etkileri

Bölüm 3.1.5.2 uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda ikinci mertebe etkilerini temsil eden *ikinci mertebe gösterge değeri*, θ_i hesaplanarak

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N w_j}{V_i h_i}$$

koşulu kontrol edilecektir.

Tek katlı olan (6) aksı çerçevesinde θ_i değeri

$$(\Delta_i)_{ort} = 3.36cm$$

$$\sum w_j = 86.75kN \quad (\text{bakınız, Çizelge 5.3})$$

$$V_i = 9.55kN$$

$$h_i = 700cm$$

olmak üzere

$$\theta_{maks} = \frac{3.36 \times 86.75}{9.55 \times 700} = 0.044 < 0.12$$

koşulu sağlanmıştır.

5.2.4 (y) doğrultusundaki merkezi çapraz sisteminin analizi

5.2.4.1 Merkezi çapraz sisteminin rüzgar yükleri için hesabı

1 ve 2 aksları cephe kolonlarına etkiyen rüzgar yükleri ve bu yüklerden dolayı çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerine aktarılan mesnet tepkileri aşağıda hesaplanarak Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

Cephe kolonlarına etkiyen rüzgar yükleri:

$$w_1 = 0.8 \times 0.5 \times 1.875 = 0.75kN / m$$

$$w_2 = 0.8 \times 0.5 \times 3.75 = 1.50kN / m$$

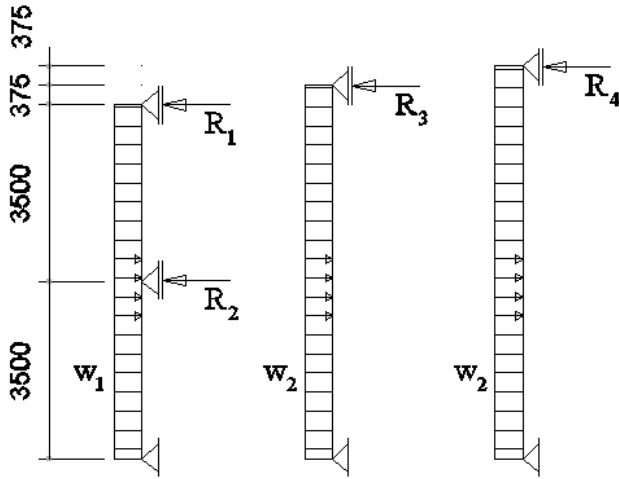
Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemine etkiyen mesnet tepkileri:

$$R_1 = 0.75 \times 1.75 = 1.3125kN$$

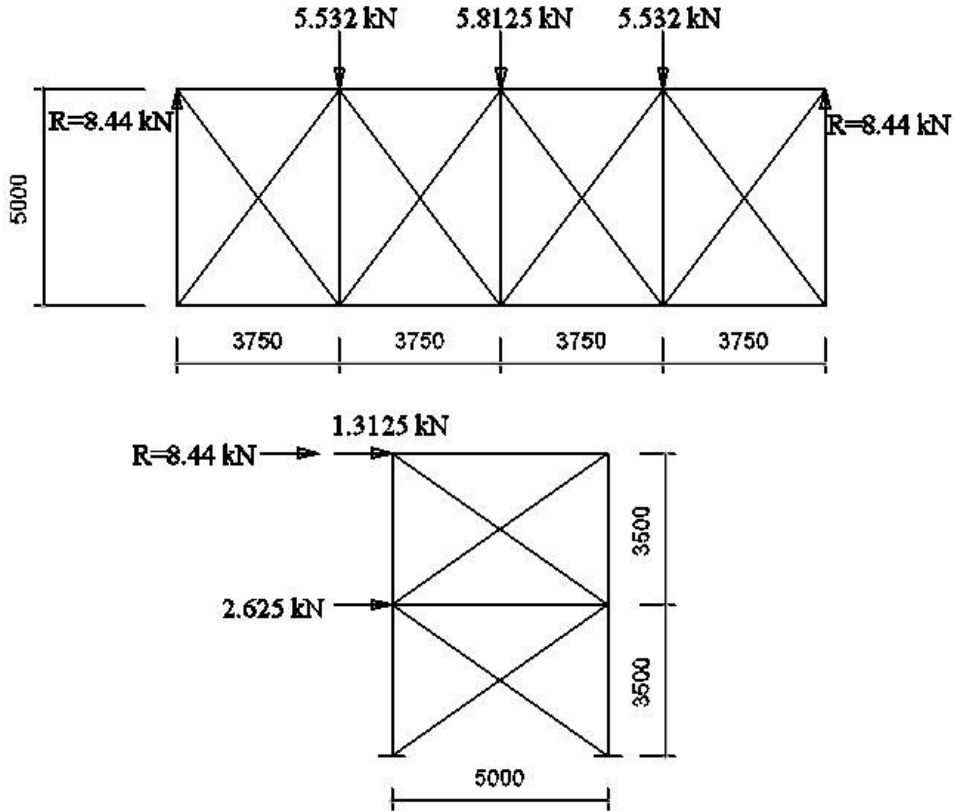
$$R_2 = 0.75 \times 3.50 = 2.625kN$$

$$R_3 = 1.50 \times 7.375 / 2 = 5.532kN$$

$$R_4 = 1.50 \times 7.75 / 2 = 5.8125kN$$



Şekil 5.6 : Cephe kolonlarının rüzgar yükleri ve mesnet tepkileri.



Şekil 5.7 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkiyen rüzgar yükleri.

1-2 ve 9-10 aksları arasındaki çatı ve düşey düzlem çapraz sistemleri yukarıda gösterilmiş olan rüzgar yükleri altında hesaplanarak çubuk kuvvetleri Sap2000 programı aracılığıyla bulunmuştur.

5.2.4.2 Merkezi çapraz sisteminin deprem yükleri için hesabı

5-6 aksları arasındaki çatı ve düşey çapraz sistemine etkiyen deprem yükleri hesaplanarak Şekil 5.8’de gösterilmiştir.

Bölüm 3.1.4.1 uyarınca, göz önüne alınan deprem doğrultusunda çatı ve düşey düzlem çapraz sisteminin düğüm noktalarına etkiyen F_i eşdeğer deprem yükleri, **Denk.(3.4)**’e benzer olarak uygulanan aşağıdaki bağıntı ile belirlenecektir.

$$F_i = W_i \frac{A(T_i)}{R_a(T_i)} \geq 0.10 A_0 W_i$$

Burada, W_i , ilgili düğüm noktasına etkiyen eşdeğer deprem yükü hesabına esas olan ağırlıktır.

Binaya (y) doğrultusundaki eşdeğer deprem yükleri, daha önceden belirtildiği gibi;

$$S(T_{1y}) = 2.5 \text{ ve } R_{ay}(T_{1y}) = R_y = 5$$

alınarak,

$$F_1 = W_i \frac{0.4 \times 1.0 \times 2.5}{5} = 0.20 W_i$$

şeklinde hesaplanır.

Çatı çapraz sistemine etkiyen deprem yükleri:

$$F_1 = 0.20 \times (0.60 + 0.3 \times 1.00) \times 1.875 \times 10.0 = 3.375 kN$$

$$F_2 = 0.20 \times (0.60 + 0.3 \times 1.00) \times 3.75 \times 10.0 = 6.75 kN$$

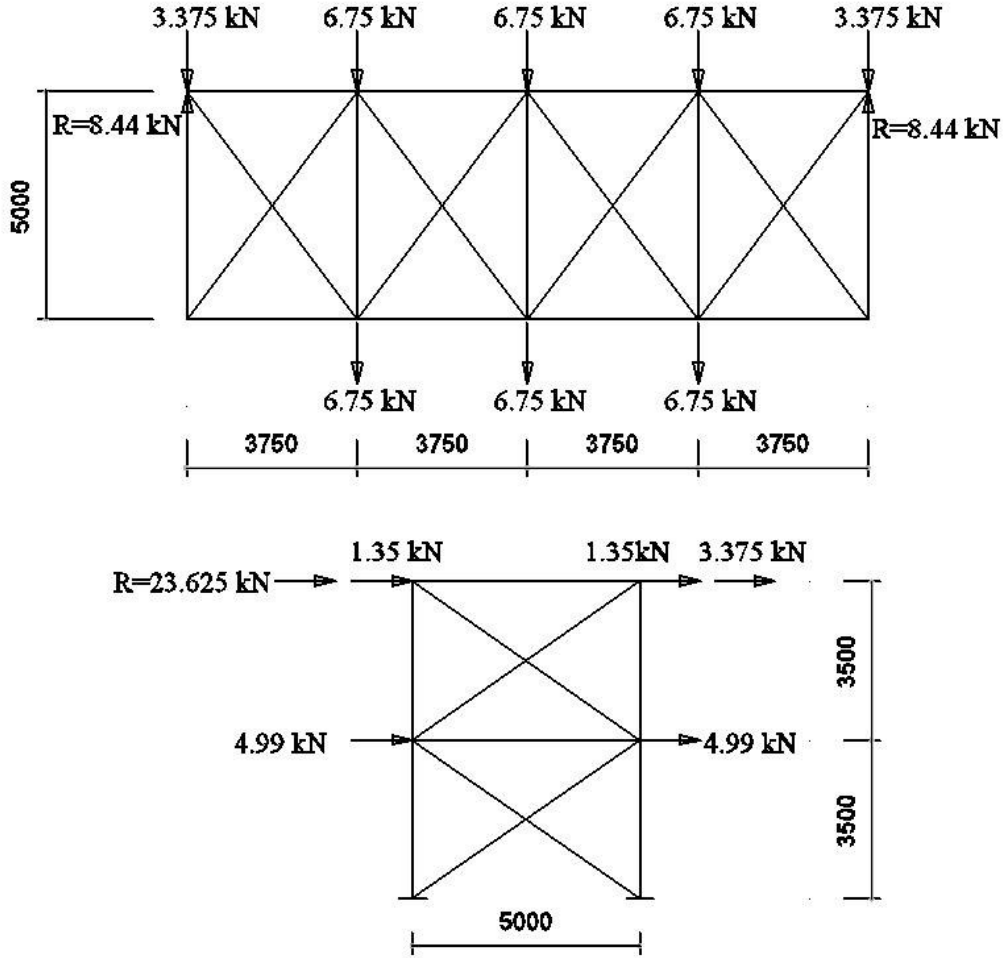
Çatı çapraz sistemi mesnet tepkileri:

$$R = 3.375 + 3 \times 6.75 = 23.625 kN$$

Düşey çapraz sistemine etkiyen deprem yükleri:

$$F_3 = 0.20 \times (1.925 \times 1.75) \times 2 = 1.35 kN$$

$$F_4 = 0.20 \times (1.925 \times 1.75 + 2.8 \times 2 \times \frac{2.5}{3.5} + 15.8 \times 1.5 \times \frac{0.75}{3.5}) \times 2 = 4.99 kN$$



Şekil 5.8 : Çatı ve düşey düzlem çaprazlarına etkiyen deprem yükleri.

5-6 aksları arasındaki çatı ve düşey düzlem çapraz sistemleri yukarıda gösterilmiş olan deprem yükleri altında hesaplanarak çubuk kuvvetleri Sap2000 programı aracılığıyla bulunmuştur.

5.2.4.3 Kafes kiriş elemanlarının boyutlandırılması

(6) aksı kafes kirişinde, en elverişsiz olan düşey yükler (G+Q yükleme) için gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır.

Üst başlık hesabı

Düşey sabit ve hareketli yüklerden dolayı üst başlık elemanında oluşan toplam iç kuvvet;

$$N_{G+Q} = -161.52 \text{ kN}$$

değerini almaktadır.

Seçilen profil (2L75x7) için gerekli enkesit karakteristikleri;

$$i_x = i_y = 2.28cm, F = 10.1 \times 2 = 20.2cm^2$$

Üst başlık eleman burkulma boyları $S_{kx} = S_{ky} = 185cm$ şeklindedir.

Böylece maksimum narinlik,

$$\lambda_{maks} = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{185}{2.28} = 81 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

TS498 St37 Çeliği için w burkulma katsayıları çizelgesinden $\lambda_{maks} = 81$ için w burkulma katsayısı $w = 1.62$ alınmıştır [10]. Böylece üst başlıkta oluşacak gerilme;

$$\sigma = \frac{wN}{F} = \frac{1.62 \times 161.52}{20.2} = 12.954kN/cm^2 = 129.54N/mm^2 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

$$\sigma = 129.54N/mm^2 < \sigma_{em} = 141N/mm^2 \text{ olduğu görülmektedir.}$$

Alt başlık hesabı

Düşey sabit ve hareketli yüklerden dolayı alt başlık elemanında oluşan toplam iç kuvvet;

$$N_{G+Q} = 160.72kN$$

değerini almaktadır.

Seçilen profil (2L60x6) için gerekli enkesit karakteristikleri;

$$F = 6.91 \times 2 = 13.82cm^2$$

Böylece alt başlıkta oluşacak gerilme;

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{160.72}{13.82} = 11.63kN/cm^2 = 116.3N/mm^2 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

$$\sigma = 116.3N/mm^2 < \sigma_{em} = 141N/mm^2 \text{ olduğu görülmektedir.}$$

Örgü çubuğu hesabı

Düşey sabit ve hareketli yüklerden dolayı örgü çubukların elemanlarında oluşan maksimum kuvvet kolona bağlanan diyagonallerde oluşmaktadır. Dolayısıyla örgü çubuklarının boyutlandırılması bu diyagonalde oluşan kuvvet doğrultusunda hesaplanacaktır.

$$N_{G+Q} = 113.1kN$$

değerini almaktadır.

Seçilen profil (2L50x5) için gerekli enkesit karakteristikleri;

$$F = 4.80 \times 2 = 9.60cm^2$$

Böylece diyagonal elemanında oluşacak gerilme;

$$\sigma = \frac{N}{F} = \frac{113.1}{9.6} = 17.78kN / cm^2 = 117.8N / mm^2 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

$$\sigma = 117.8N / mm^2 < \sigma_{em} = 141N / mm^2 \text{ olduğu görülmektedir.}$$

5.2.4.4. Çerçeve kolonlarının boyutlandırılması

(6) aksı çerçeve kolonunun alt ucunda, en elverişsiz sonuç veren düşey yükler ve deprem yüklemesi ($G+Q+E_x+0.3E_y$) için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

(x) yönü deprem kuvveti altında;

$$N_{G+Q+E_x} = -95.54kN$$

$$M_{G+Q+E_x} = 66.85kNm$$

$$T_{G+Q+E_x} = 9.55kN$$

(y) yönü deprem kuvveti altında;

$$N_{E_y} = -35.50kN$$

Hesapta dikkate alınan ($G+Q+E_x+0.3E_y$) kombinasyonu için kesit tesiri değerleri,

$$N_d = -106.2kN$$

$$M_{G+Q+E_x} = 66.85kNm$$

$$T_{G+Q+E_x} = 9.55kN \text{ şeklindedir.}$$

Seçilen IPE 360 için profil kesiti değerleri,

$$W_x = 903.6cm^3, I_x = 16270cm^4, A = 72.73cm^2, S_x = 822cm^2$$

$$W_y = 122.8cm^3, I_y = 1043cm^4, i_x = 14.95cm, i_y = 3.79cm = i_{min}$$

Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kolonları için Bölüm 3.2.2.1-1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, kolon enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının Çizelge 3.9’da verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Kolon enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşullar;

$$\frac{b/2}{t} = 0.3\sqrt{Es/\sigma_a} \text{ ve } \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \leq 0.10 \text{ için } \frac{h}{t_w} = 3.2\sqrt{Es/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right)$$

şeklindedir.

Boyutsuz normal kuvvet oranının;

$$\left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| = \frac{10.62}{2.8 \times 72.73} = 0.052 < 0.10$$

değeri ile ST44 yapı çeliği için $\sqrt{Es/\sigma_a} = 27.38$ değeri yukarıdaki ifadelerde yerine konulursa;

$$\frac{85}{12.7} = 6.7 < 8.22 \text{ ve}$$

$$\frac{299}{8} = 37.37 < 3.2 \times 27.38 \times (1 - 1.7 \times 0.052) = 79.88$$

elde edilir ve en kesit koşullarının sağlandığı görülür.

Birleşik eğilme etkisindeki bu kolonda normal gerilme tahkiki TS648 Çelik Yapılar Standardı Madde 3.4’te verilen;

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}} \right) \sigma_{Bx}} \leq 1.00$$

formülü ile yapılacaktır [10]. Burada;

$$\sigma_{eb} = \frac{106.2}{72.73} = 1.46 \text{ kN/cm}^2 = 14.6 \text{ N/mm}^2 : \text{yalnız basınç kuvveti altındaki gerilme.}$$

σ_{bem} : kolonun λ_x ve λ_y narinliklerinden büyük olanına bağlı olarak TS648 Standardı Çizelge 8’den alınan basınç emniyet gerilmesidir.

(6) aksı çerçevesi kolonunun kuvvetli eksenı doğrultusunda yanal ötelenmesinin önlenmemiş olduğu, zayıf eksenı doğrultusunda ise yanal ötelenmesinin düşey çapraz sistemi tarafından önlendiği göz önünde tutulmuştur.

Kolon burkulma boyları;

$$S_{kx} = K_x \cdot H = 2.1 \cdot 700 = 1470 \text{ cm} , S_{ky} = 350 \text{ cm}$$

değerlerini almaktadır. Bu değerler kullanılarak narinlik oranları;

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} = \frac{1470}{14.95} = 98.33 , \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} = \frac{700}{3.79} = 92.35 \rightarrow \lambda_{\max} = 98.33$$

olarak bulunur.

Bu narinlik değerlerine göre, St44 için basınç emniyet gerilmesi;

$$\sigma_{bem} = 79.41 \text{ N / mm}^2 \text{ dir.}$$

Yalnız eğilme momenti altında hesaplanan gerilme;

$$\sigma_{bx} = \frac{6685}{903.6} = 7.40 \text{ kN / cm}^2 = 74.0 \text{ N / mm}^2 \text{ dir.}$$

$C_{mx} \cong 0.85$: yanal ötelenmesi önlenmemiş sistem.

$$\sigma'_{ex} = \frac{829 \cdot 10^4}{\lambda_x^2} = 857.4 \text{ kg / cm}^2 = 85.74 \text{ N / mm}^2$$

Yanal burkulma halinde basınç emniyet gerilmesi; TS648 Madde 3.3.4.2'ye göre hesaplanır. Buna göre;

$$I_{yb} = 1.27 \frac{17^3}{12} = 519.96 \text{ cm}^4 \rightarrow i_{yb} = 4.47 \text{ cm}$$

$$\lambda_{yb} = \frac{S_{ky}}{i_{yb}} = \frac{350}{4.47} = 78.3$$

$C_b = 1.43$ olarak hesaplanmıştır.

$$\lambda_{yb} = 78.3 < \sqrt{\frac{3 \cdot 10^7 C_b}{\sigma_a}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10^7 \cdot 1.43}{2800}} = 123.78$$

olarak elde edildiğinden (1) ve (3) denklemleri hesaplanarak büyük olan değer basınç emniyet gerilmesi olarak alınacaktır.

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{Bx} &= \left[\frac{2}{3} - \frac{2800 \times 78.3^2}{9.10^7 \times 1.43} \right] 2800 = 1493 \text{ kg / cm}^2 = 149.3 \text{ N / mm}^2 \\ \sigma_{Bx} &= \frac{84 \times 10^4 \times 1.43}{350 \times \frac{36.0}{21.59}} = 2058 \text{ kg / cm}^2 = 205.8 \text{ N / mm}^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \sigma_{Bx} = 168 \text{ N / mm}^2$$

olarak alınır.

Normal gerilme ;

$$\frac{\sigma}{\sigma_{em}} = \frac{14.6}{79.41} + \frac{0.85 \times 74.0}{\left(1.0 - \frac{14.6}{85.74}\right) 168} = 0.64 < 1.33$$

değerini alır ve tahkik sağlanır.

Kayma gerilmesi tahkiki:

$$\tau = \frac{T_x S_x}{I_x t_w} = \frac{9.55 \times 822}{16270 \times 0.8} = 0.6 \text{ kN / cm}^2 = 6.0 \text{ N / mm}^2 < 95 \text{ N / mm}^2 = \tau_{em}$$

5.2.4.5 Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemi elemanlarının boyutlandırılması

En elverişsiz olan (5-6) aksı arası düşey düzlem çapraz sistemi elemanları boyutlandırılacaktır. Düşey düzlem çapraz sisteminin en elverişsiz çubuk kuvvetleri;

Diyagonal çubukları;

deprem yüklemesi = ± 25.0 kN

Dikme çubukları;

deprem yüklemesi = -10.0 kN

Diyagonal çubukları için seçilen kutu 70x70x4

Enkesit karakteristikleri: $A=10.10 \text{ cm}^2$, $i_{\min}=2.70 \text{ cm}$

Birleşim noktasında 8 mm plaka düşünülerek kutu profil net enkesit alanı;

$$A_n = 10.10 - 0.8 \times 0.4 \times 2 = 9.46 \text{ cm}^2$$

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin elemanları için Bölüm 3.2.5.1-1'de verilen enkesit koşulları uyarınca, çaprazların kenar uzunluğu/kalınlık

oranının Çizelge 3.9’da verilen koşulu sağlaması gerekmektedir. Çapraz elemanın enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşul;

$$\frac{h}{t_w} = 0.7\sqrt{E_s / \sigma_a}$$

şeklindedir.

St37 yapı çeliği için;

$$\sqrt{E_s / \sigma_a} = 29.62$$

değerini alır ve bu değer yukarıdaki denklemde yerine konulursa;

$$\frac{70 - 2 \times 4}{4} = 15.5 < 0.7 \times 29.62 = 20.7$$

elde edilir ve en kesit koşulunun sağlandığı görülür.

Çubuk boyu L=625 cm, çubuk burkulma boyu 312,5 cm olan diyagonal çubuklarında, narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{312.5}{2.70} = 116 < 4.0\sqrt{E_s / \sigma_a} = 118 \quad (\text{Bölüm 3.2.5.1-2})$$

şeklinde bulunur.

TS498 St37 Çeliği için w burkulma katsayıları çizelgesinden $\lambda_{maks} = 116$ için w burkulma katsayısı $w = 2.38$ alınmıştır. Böylece oluşacak gerilme;

$$\sigma = \frac{wN}{F} = \frac{2.38 \times 25}{9.46} = 6.29 \text{ kN / cm}^2 = 62.9 \text{ N / mm}^2 \quad \text{şeklinde hesaplanır.}$$

$$\sigma = 62.9 \text{ N / mm}^2 < 1.33 \times \sigma_{em} = 187 \text{ N / mm}^2 \quad \text{olduğu görülmektedir.}$$

Dikme çubukları için seçilen kesit: Kutu 120x120x6

En kesit karakteristikleri: A=26.4cm², i_{min}=4.6cm

Birleşim noktasında 8 mm plaka düşünülerek kutu profil net enkesit alanı;

$$A_n = 26.4 - 0.8 \times 0.6 \times 2 = 25.44 \text{ cm}^2$$

Süneklik düzeyi yüksek merkezli çelik çaprazlı perdelerin elemanları için Bölüm.3.2.5.1-1’de verilen enkesit koşulları uyarınca, dikdörtgen kutu kesitli elemanların kenar uzunluğu/kalınlık oranının Çizelge 3.9’da verilen koşulu

sağlaması gerekmektedir. Elemanın enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşul;

$$\frac{h}{t_w} = 0.7 \sqrt{E_s / \sigma_a}$$

şeklindedir.

St37 yapı çeliği için;

$$\sqrt{E_s / \sigma_a} = 29.62$$

değerini alır ve bu değer yukarıdaki denklemde yerine konulursa;

$$\frac{120 - 2 \times 6}{6} = 18 < 0.7 \times 29.62 = 20.7$$

elde edilir ve en kesit koşulunun sağlandığı görülür.

Çubuk boyu L=500 cm olan basınç çubuklarında, narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{500}{4.6} = 109 < 4.0 \sqrt{E_s / \sigma_a} = 118 \quad (\text{Bölüm 3.2.5.1-2})$$

şeklinde bulunur.

TS498 St37 Çeliği için Çizelge-8'den $\lambda_{maks} = 109$ için w burkulma katsayısı

w = 2.18 alınmıştır [10]. Böylece oluşacak gerilme;

$$\sigma = \frac{wN}{F} = \frac{2.18 \times 10.0}{25.44} = 0.86 kN / cm^2 = 8.6 N / mm^2 \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

$$\sigma = 8.6 N / mm^2 < 1.33 \times \sigma_{em} = 187 N / mm^2 \text{ olduğu görülmektedir.}$$

6. ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Analiz sonuçlarının karşılaştırılmasında kullanılmak üzere; Bölüm 4.1’de belirtildiği üzere on sekiz adet kafes kirişli çerçeve sistem ve 54 adet profil kirişli çerçeve sistem olmak üzere yetmiş iki adet sistem analizi yapılmıştır.

6.1 Profil Kirişli Çerçeve Sistem İçin Profil Çözümlerinin Karşılaştırılması

Farklı değişkenler kullanılarak elde edilen on sekiz adet profil kirişli çerçeve sistem alternatifi için, tüm sistemin “Yapma Profil” , “IPE Profil” ve “HEA Profil” olduğu durumlar ayrı ayrı çözülmüştür.

Yapma profil ve HEA profil ile analizi yapılan sistemlerin çapraz, aşık, dikme, kolon vb. tüm elemanları göz önüne alınarak ağırlıklar oranlarla değerlendirilirse;

$$0.665 \leq \frac{W_{Y.P}}{W_{HEA.P}} \leq 0.883 \text{ olduğu görülür.}$$

Yapma profil ile IPE profil seçimiyle oluşturulan sistemlerin tüm elemanlarının toplam tonajları incelendiğinde;

$$0.841 \leq \frac{W_{Y.P}}{W_{IPE.P}} \leq 0.978 \text{ olduğu görülmüştür.}$$

Alternatif 1’in (A5L15H7) oranı yukarıda ki değerlendirmeye katılmamış olup, oranı

$$\frac{W_{Y.P}}{W_{IPE.P}} = 1.033 \text{ şeklindedir.}$$

IPE profil ile HEA profil seçimiyle oluşturulan sistemlerin tüm elemanlarının ağırlıklarına bakıldığında;

$$0.729 \leq \frac{W_{IPE.P}}{W_{HEA.P}} \leq 0.895 \text{ olduğu görülmektedir.}$$

6.2 Kafes Kirişli Çerçeve Sistem ile Profil Kirişli Çerçeve Sistemin Karşılaştırılması

Profil kirişli çerçeve sistem ile kafes kirişli çerçeve sistem Bölüm 4.1’de belirtildiği üzere çeşitli değişkenlere göre analiz edilmiştir. Kafes kirişli çerçeve sistemde kolon elemanı IPE profille teşkil edildiğinden bu iki tip endüstri yapısının karşılaştırılmasında gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek amacıyla profil kirişli çerçeve sistemin tamamının IPE profil olması durumundaki analiz sonuçları ile kafes kirişli çerçeve sistem analizleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.1’de görüldüğü üzere; açıklık alternatiflerinin kendi içerisinde karşılaştırılmasında;

$$L=15\text{m için } 0.937 \leq \frac{W_{KKÇS}}{W_{PKÇS}} \leq 1.21 ;$$

$$L=20\text{m için } 0.745 \leq \frac{W_{KKÇS}}{W_{PKÇS}} \leq 1.06 ;$$

$$L=25\text{m için } 0.708 \leq \frac{W_{KKÇS}}{W_{PKÇS}} \leq 0.957 \text{ oranları görülmüştür.}$$

Çizelge 6.1: İki tip sistemin ağırlık karşılaştırması.

SİSTEM ALTERNATİF NO	KAFES KİRİŞLİ ÇERÇEVE SİSTEM ARTTIRILMIŞ TONAJ/ALAN (kg/m ²)	PROFİL KİRİŞLİ ÇERÇEVE SİSTEM (İPE PROFİL) ARTTIRILMIŞ TONAJ/ALAN (kg/m ²)	KAFES KİRİŞLİ S. /PROFİL KİRİŞLİ S.
ALTERNATİF 1 (A5L15H7) 15x45 m2	48,9	52,2	0,937
ALTERNATİF 2 (A8L15H7) 15x72 m2	56,7	58,7	0,966
ALTERNATİF 3 (A5L15H10) 15x45 m2	65,7	67,2	0,977
ALTERNATİF 4 (A8L15H10) 15x72 m2	75,9	69,1	1,099
ALTERNATİF 5 (A5L15H14) 15x45 m2	113,0	93,7	1,206
ALTERNATİF 6 (A8L15H14) 15x72 m2	109,3	92,4	1,183
ALTERNATİF 7 (A5L20H7) 20x45 m2	44,5	59,7	0,745
ALTERNATİF 8 (A8L20H7) 20x72 m2	51,9	57,3	0,906
ALTERNATİF 9 (A5L20H10) 20x45 m2	55,8	70,1	0,797
ALTERNATİF 10 (A8L20H10) 20x72 m2	65,5	67,7	0,968
ALTERNATİF 11 (A5L20H14) 20x45 m2	91,9	86,9	1,058
ALTERNATİF 12 (A8L20H14) 20x72 m2	91,1	90,8	1,004
ALTERNATİF 13 (A5L25H7) 25x45 m2	43,4	60,7	0,715
ALTERNATİF 14 (A8L25H7) 25x72 m2	52,4	62,4	0,840
ALTERNATİF 15 (A5L25H10) 25x45 m2	55,4	78,2	0,708
ALTERNATİF 16 (A8L25H10) 25x72 m2	62,4	71,4	0,874
ALTERNATİF 17 (A5L25H14) 25x45 m2	84,3	95,8	0,880
ALTERNATİF 18 (A8L25H14) 25x72 m2	83,4	87,2	0,957

6.3 Kafes Kirişli Çerçeve Sistemde Çatı Çaprazları Analizleri Karşılaştırması

Kafes kirişli çerçeve sistemler kolonları üstten mafsallı olduğu için Çizelge 3.4'e göre yüksek sünek olarak tasarlanmıştır. Bölüm 3.1.2.1-2'ye göre süneklik düzeyi yüksek olan taşıyıcı sistemlerde her iki doğrultuda da süneklik düzeyi yüksek yapılması zorunludur. Bu nedenle kafes kirişli çerçeve sistem (y) doğrultusunda Bölüm 3.2.5'e göre tasarlanmıştır. Bu nedenle çatı ve düşey çapraz elemanları hem basınç hem de çekme kuvveti alacak şekilde teşkil edilmiştir. Bölüm 3.2.5.1-2

uyarınca çatı ve düşey çapraz sistemlerinin tüm basınç elemanlarında narinlik oranı $4.0\sqrt{E_s / \sigma_a}$ 'dan küçük olacak şekilde elemanlar seçilmiştir.

Kafes kirişli çerçeve sistemin yalnız çatı çaprazlarının hem basınç hem de çekme alacak şekilde ve ayrıca sadece çekme alacak şekilde yapılmış olan analizleri karşılaştırılacaktır. Çatı çaprazları sadece çekme alacak şekilde tasarlanırken Bölüm 3.2.6.1-4'e uyulmuştur.

Çizelge 6.2: Kafes kirişli çerçeve sistem çatı çapraz karşılaştırması.

KAFES KİRİŞLİ ÇERÇEVE SİSTEM ALTERNATİF NO	ÇAPRAZ ELEMAN AĞIRLIĞI (ton) (Çaprazların Basınç ve Çekme Alma Durumuna Göre)	ÇAPRAZ ELEMAN AĞIRLIĞI (ton) (Çaprazların Sadece Çekme Alma Durumuna Göre)	sadececekme/ cekmebasınç
ALTERNATİF K-1 (A5L15H7) 15x45 m2	Kutu 70x70x4 Çatı Çapraz Profili 1,196	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,566	0,473
ALTERNATİF K-2 (A8L15H7) 15x72 m2	Kutu 100x100x5 Çatı Çapraz Profili 3,061	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,801	0,262
ALTERNATİF K-3 (A5L15H10) 15x45 m2	Kutu 70x70x4 Çatı Çapraz Profili 1,196	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,566	0,473
ALTERNATİF K-4 (A8L15H10) 15x72 m2	Kutu 100x100x5 Çatı Çapraz Profili 3,061	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,801	0,262
ALTERNATİF K-5 (A5L15H14) 15x45 m2	Kutu 70x70x4 Çatı Çapraz Profili 1,196	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,566	0,473
ALTERNATİF K-6 (A8L15H14) 15x72 m2	Kutu 100x100x5 Çatı Çapraz Profili 3,061	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,801	0,262
ALTERNATİF K-7 (A5L20H7) 20x45 m2	Kutu 80x80x4 Çatı Çapraz Profili 1,567	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,641	0,409
ALTERNATİF K-8 (A8L20H7) 20x72 m2	Kutu 120x120x6 Çatı Çapraz Profili 4,706	L60.60.6 Çatı Çapraz Profili 1,229	0,262
ALTERNATİF K-9 (A5L20H10) 20x45 m2	Kutu 80x80x4 Çatı Çapraz Profili 1,567	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,641	0,409
ALTERNATİF K-10 (A8L20H10) 20x72 m2	Kutu 120x120x6 Çatı Çapraz Profili 4,706	L60.60.6 Çatı Çapraz Profili 1,229	0,261
ALTERNATİF K-11 (A5L20H14) 20x45 m2	Kutu 80x80x4 Çatı Çapraz Profili 1,567	L50.50.5 Çatı Çapraz Profili 0,641	0,409
ALTERNATİF K-12 (A8L20H14) 20x72 m2	Kutu 120x120x6 Çatı Çapraz Profili 4,706	L60.60.6 Çatı Çapraz Profili 1,229	0,261
ALTERNATİF K-13 (A5L25H7) 25x45 m2	Kutu 90x90x4 Çatı Çapraz Profili 2,012	L60.60.6 Çatı Çapraz Profili 1,041	0,517
ALTERNATİF K-14 (A8L25H7) 25x72 m2	Kutu 120x120x6 Çatı Çapraz Profili 5,055	L65.65.7 Çatı Çapraz Profili 1,664	0,329
ALTERNATİF K-15 (A5L25H10) 25x45 m2	Kutu 90x90x4 Çatı Çapraz Profili 2,012	L60.60.6 Çatı Çapraz Profili 1,041	0,517
ALTERNATİF K-16 (A8L25H10) 25x72 m2	Kutu 120x120x6 Çatı Çapraz Profili 5,055	L65.65.7 Çatı Çapraz Profili 1,664	0,329
ALTERNATİF K-17 (A5L25H14) 25x45 m2	Kutu 90x90x4 Çatı Çapraz Profili 2,012	L60.60.6 Çatı Çapraz Profili 1,041	0,517
ALTERNATİF K-18 (A8L25H14) 25x72 m2	Kutu 120x120x6 Çatı Çapraz Profili 5,055	L65.65.7 Çatı Çapraz Profili 1,664	0,329

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında on sekiz adet kafes kirişli çerçeve sistem ve 54 adet profil kirişli çerçeve sistem olmak üzere yetmiş iki adet sistem analizi yapılmıştır.

Profil kirişli çerçeve sistem ile kafes kirişli çerçeve sistem Bölüm 4.1’de belirtildiği üzere çeşitli değişkenlere göre analiz edilmiştir.

Profil kirişli çerçeve sistem incelemesinde değişken alternatifleri için üç ayrı profil seçimi (Yapma Profil, IPE Profil ve HEA Profil) yapılarak analiz gerçekleştirilmiştir.

Profil kirişli çerçeve sistemin farklı profil seçeneklerinin analizinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Aynı değişkenler kullanılarak çözülen sistemlerin karşılaştırmalarında en az ağırlığın yapma profil kullanılarak sağlandığı, en fazla ağırlığı veren çözüm ise HEA profilin teşkiliyle elde edildiği görülmüştür. Yapma profil ve IPE profil çözümlerinden elde edilen ağırlıklar yakın değerler olmasına rağmen, HEA profil çözümüyle elde edilen ağırlıklar bu çözümlere göre oldukça fazla çıkmaktadır. HEA profil seçimiyle elde edilen ağırlığın fazla çıkmasının nedeni profilde oluşan gerilme değildir. Nedeni çerçeve yatay deplasmanı ve/veya kiriş düşey deplasmanıdır. IPE ve yapma profillerin kesit seçiminde ise kesit gerilmeleri, yatay ve düşey deplasmanlar aynı oranda etkili olmaktadır.

- Bölüm 6.1’de belirtildiği üzere yapma profil ve HEA profil çözümlerinin tüm elemanları değerlendirmeye alınarak ağırlık oranlaması yapıldığında,

$$0.665 \leq \frac{W_{Y.P}}{W_{HEA.P}} \leq 0.883$$

elde edilmiştir. Burada Ek B.1’de görüldüğü üzere maksimum ağırlık farkı A5L20H14 alternatifinde (Alternatif-11), minimum ağırlık farkı ise A8L25H7 alternatifinde (Alternatif-14) oluşmaktadır.

- Bölüm 6.1’de belirtildiği üzere yapma profil ile IPE profil çözümlerinin tüm elemanları değerlendirmeye alınarak ağırlık oranlaması yapıldığında,

$$0.841 \leq \frac{W_{Y.P}}{W_{IPE.P}} \leq 0.978$$

elde edilmiştir. Burada maksimum ağırlık farkı A5L25H10 (Alternatif-15) alternatifinde, minimum fark ise A8L15H7 (Alternatif-2) alternatifinde görülmüştür. Sadece A5L15H7 (Alternatif-1) alternatifinde ise yapma profil ağırlığı IPE profilinkine göre %3.3 fazla çıkmıştır.

- Bölüm 6.1’de belirtildiği üzere IPE profil ile HEA profil çözümlerinin tüm elemanları değerlendirmeye alınarak ağırlık oranlaması yapıldığında,

$$0.729 \leq \frac{W_{IPE.P}}{W_{HEA.P}} \leq 0.895$$

elde edilmiştir. Burada maksimum fark A5L20H14 (Alternatif-11) alternatifinde, minimum fark ise A8L25H7 (Alternatif-14) alternatifinde oluşmaktadır.

- Çerçeve yatay deplasmanı daha çok yükseklik, kiriş düşey deplasmanını ise daha çok açıklık ve çerçeve aralığı etkilediğinden yükseklik ve açıklık arttığında yapma veya IPE profillerle sistem çözümlmelidir.

Profil kirişli çerçeve sistemin tamamının IPE profil olması durumundaki analiz sonuçları ile kafes kirişli çerçeve sistem analizinin karşılaştırılmasında elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Bölüm 6.2’de belirtildiği üzere L=25m için

$$0.708 \leq \frac{W_{KKÇS}}{W_{PKÇS}} \leq 0.957$$

elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre endüstri yapısını oluşturan tüm elemanların çelik profil (kiriş, kolon, çapraz, kuşak vs) toplam ağırlıkları incelendiğinde L=25 m için tüm alternatiflerde (6 adet alternatif) kafes kirişli çerçeve sistem ağırlığı diğer sisteme göre daha ekonomik olduğu görülmüştür ki beklenen bir sonuçtur.

- Toplamda beş alternatif olmak üzere; H=14 m için L=15 ve 20 m olduğu durumlarda ve A8L15H10 (Alternatif-4) profil kirişli çerçeve sistem kafes kirişli çerçeve sisteme göre daha ekonomik çıkmıştır.

- Analiz sonuçlarına göre yüksekliği düşük, açıklığı fazla olan sistemde kafes kirişli çerçeve sistem profil kirişli çerçeve sisteme göre çok daha ekonomiktir

(Alternatif-13 için $\frac{W_{KKÇS}}{W_{PKÇS}} = 0.715$).

Ayrıca Bölüm 6.2 Çizelge 6.1’de görüldüğü üzere;

- H=14 m için kafes kirişli çerçeve sistemin ağır çıkmasının asıl sebebi bir tarafta kayıcı mesnet olmasından dolayı tek bir kolonla yataydaki yüklerin aktarılmasıdır. Bu nedenle kolon profili büyümektedir. Kolon profilinin seçiminde etken yatay deplasmandır; gerilme oranları değildir. Kafes kirişli çerçeve sistem analizleri sonucu kolonlarda oluşan maksimum gerilme oranının 0.70 olduğu görülmüştür (bkz Ek B.4).
- Kafes kiriş yüksekliği açıklığın 1/10’u seçildiğinden, kafes kiriş düşey sehim sınırlardan uzakta çıkmıştır (bkz Ek B.4).

Kafes kirişli çerçeve sistemde yalnız çatı çaprazlarının hem basınç hem de çekme alacak şekilde ve ayrıca sadece çekme alacak şekilde yapılmış olan analizlerinin karşılaştırmasında elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- Bölüm 6.3 Çizelge 6.2’de yer alan analiz sonuçları incelendiğinde sadece çekme alacak şekilde boyutlandırılan çapraz ağırlıklarının, hem çekme hem basınç alacak şekilde boyutlandırılanların ağırlıklarına oranı 0.26 ile 0.52 arasında olduğu görülmektedir. Burada 0.26 oran ile çapraz ağırlıklarında maksimum fark a=8m ve l= 15 m olduğu durumlardadır. 0.52 ile çapraz ağırlıklarında minimum fark a=5 ve l=25 m olduğu durumlarda olduğu görülmüştür. Bunun tek sebebi DBYBHY’deki narinlik şartıdır. Tüm alternatifler için kullanılan çatı çapraz profili, sistemin toplam çatı çapraz ağırlığı ve iki tip çözüm için elde edilen toplam çapraz ağırlıklarının oranı Çizelge 6.2’de görülmektedir.

Sonuç olarak, meslektaşlarım, kafes kirişli çerçeve sistem ve profil kirişli çerçeve sistemlerin hangi açıklıklarda, aralıklarda ve yüksekliklerde birbirine karşı daha ekonomik bir çözüm olduğunu, ön boyutlandırma aşamasında ise çözümde hangi profilin kullanılması gerektiğini ve bu sistemlerin ağırlıklarını EK B.1 ve EK B.2’de görebilirler. Ayrıca; bu profillerle oluşturulacak sistemlerin kesitlerinde hangi yüklemeler altında hangi deplasmanların ve gerilmelerin oluşacağı konularında öngörüyü EK B.3 ve EK B.4’te görebileceklerdir.

KAYNAKLAR

- [1] **Odabaşı, Y.**, 1989: Ülkemizde Çelik Yapı Uygulamalarının Genel Görünümü Üzerine Bir İnceleme, 4. Çelik Yapılar Semineri, İTÜ İnşaat Fakültesi.
- [2] **Orbay, A.**, 1982. Betonarme ve Çelik Çerçevelerin Doğrusal Elastik Yöntemlerle Optimum Tasarımı, *Doktora Tezi*, E.Ü. İnşaat Fakültesi, İzmir.
- [3] **Odabaşı, Y.**, 1982: Çelik Çatı Elemanlarının Ekonomik Çözümleri, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- [4] **Yardımcı, N.**, 2003: Çelik Yapıların Tasarımı Ders Notları.
- [5] **Odabaşı, Y.**, 1983: Endüstri Yapıları ve Hal Konstrüksiyonları, I. Çelik Yapılar Semineri, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi.
- [6] **Odabaşı, Y.**, 1985: Çelik Endüstri Yapıları, II. Çelik Yapılar Semineri, Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi.
- [7] **Arda, T. S.**, 1978: Çelik Çatı ve Binalarda Rüzgar Karşıt Düzenleri ve Stabilité Bağları, *Sakarya Devlet Mühendislik-Mimarlık Akademisi Yayınları*, No:3, İstanbul.
- [8] **Deren, H., Uzgider E., Piroğlu F. ve Çağlayan Ö.**, 2008: Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [9] **DBYBHY**, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik.
- [10] **TS-648**, 1980. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [11] **TS-498**, 1987. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

EKLER

EK A : Çatı ve Cephe Paneli Özellikleri

EK A.1




Sandwich panel sistemleri

STEELTHERM SANDWICH ÇATI PANELİ

Poliüretan Dolgulu 5 Hadveli Çatı Paneli



AL-DT 1000/40/85

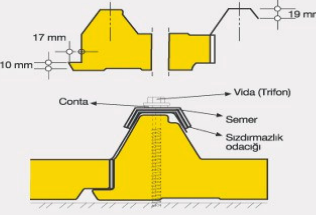


AL-DT 1000/56/100



AL-DT 1000/80/125





Poliüretan dolgulu çatı panellerimiz form itibariyle 5 hadveli (Yararlı kullanım alanı 1000 mm)'dir. Üst kat kaplamada m² başına düşen metal ve poliüretan miktarı emsallerine göre daha fazladır. Bu aynı zamanda panelin yük taşıma kapasitesini de artırmaktadır.

- Poliüretan yoğunluğu yaklaşık 40 kg/m³'tür. Isı iletkenlik katsayısı $\lambda = 0.02$ W/MK'dır.
- Panellerin birbiri ile olan birleşimlerinde B2 sınıfı yanmazlığa sahip özel ithal norton izolasyon bandı bulunmaktadır. Bu bant panelin bir yüzeyine poliüretan ile beraber girdiği reaksiyon sonucu kendiliğinden yapışmaktadır.
- Panellerin bini hadvelerinde bulunan yiv, rüzgar kuvveti ile metal yüzeyinde tırmanan su damlacıklarının, suyun viskozitesi sebebiyle iki metal arasında yükselerek bina içine damlamasına izin vermemektedir.
- Panellerin birbiri ile mükemmel şekilde kenetlenmesi ve aradaki izolasyon bandı sebebiyle dış ortama hava sızdırmaması, soğuk havalarda oluşabilecek kondansasyonu engellemektedir.




Kartalkaya Kayak Merkezi İstikbal Mobilya - Adapazarı

SANDWICH PANEL TEKNİK SPESİFİKASYONLARI

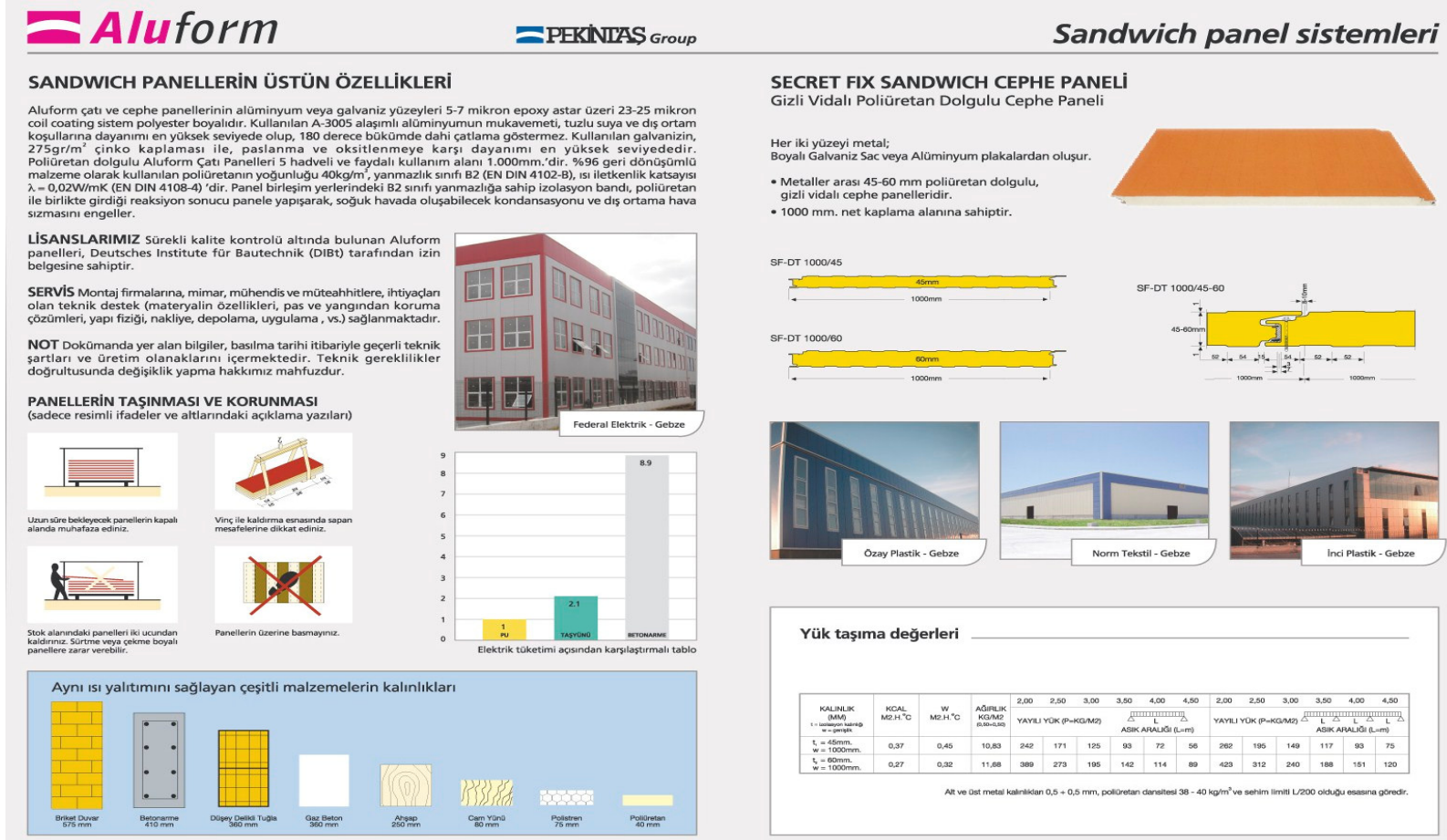
- RAL kataloğundan herhangi bir renk tercih edilebilir.
- Poliüretan üretimimizde çevre dostu SOLVAY marka ithal R141 B gazı kullanılmaktadır.
- Panel üretiminde kullanılan galvaniz sac sıcak daldırma yöntemi ile galvanizlenmektedir. (galvaniz miktarı Z 275 gr/m²'dir)
- Yüksek ısı yalıtımı sağlayan paneller önemli oranda enerji tasarrufu sağlamaktadır.
- İç ve dış yüzeylerde kullanılan metaller CE sertifikasına haiz Batı Avrupa Ülkelerinden temin edilmektedir.
- Poliüretan EN DIN 4102-B normuna uygun olarak B2 yanmaz özelliğe sahiptir.
- Endüstriyel tesislerde ve sanayi yapılarında kullanılabilen paneller, modüler özellikleri sebebiyle montaj kolaylığı ve zaman tasarrufu sağlamaktadır.
- Flashing olarak adlandırılan özel büküm birleşim aksesuarları ile mükemmel bir görünüm sağlanarak ısı kayıplarının en aza inmesi sağlanır.
- İç ve dış yüzeyde kullanılan boyalı metaller 5-7 mikron kalınlığında gri epoxy astar + 23-25 mikron kalınlığında 2 kat polyester boyalı, PUR-uyumlu kaplama özelliğine sahip malzemelerdir.

Yük taşıma değerleri

KALINLIK (mm) 1 = taşıyıcı sac 2 = panel	KCAL MJ.H.°C	W MJ.H.°C	AĞIRLIK KG/M ² (SAC+PANEL)	2,00 2,50 3,00 3,50 4,00 4,50					2,00 2,50 3,00 3,50 4,00 4,50					
				YAYILI YÜK (P=KG/M ²)					YAYILI YÜK (P=KG/M ²)					
				L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	L ₅	
t ₁ = 40mm, w = 1000mm	0,40	0,45	10,67	327	246	163	137	102	79	369	275	211	168	137
t ₁ = 56mm, w = 1000mm	0,29	0,34	11,54	406	296	213	164	123	97	449	334	258	204	163

Alt ve üst metal kalınlıktan 0,5 + 0,5 mm, poliüretan densitesi 38 - 40 kg/m³ ve sehim limiti L/200 olduğu esasa göre.

Şekil A.1: Sandwich çatı paneli teknik özellikleri.



Şekil A.2: Sandwich cephe paneli teknik özellikleri.

EK B : Analiz Sonuçları

EK B.1

Çizelge B.1: Profil kirişli çerçeve sistem elemanları ve toplam ağırlıkları.

SİSTEM	SİSTEM ALTERNATİF NO	ÇERÇEVE KESİT BİLGİLERİ/ÇERÇEVE TONAJI		KALKAN DUVAR DİKME KESİT BİLGİLERİ/DİKME TONAJI		AŞIK KESİT BİLGİLERİ/AŞIK TONAJI		KUŞAK KESİT BİLGİLERİ/ KUŞAK TONAJI		BASINÇ ELEMAN AĞIRLIĞI (ton)		ÇAPRAZ ELEMAN AĞIRLIĞI (ton)		TOPLAM TONAJ	1.1 ile ARTTIRILMIŞ TONAJ	ARTTIRILMIŞ TONAJ/ALAN (kg/m ²)
P R O F İ L K İ R İ Ş L İ Ç E R Ç E V E S İ S T E M	ALTERNATİF 1 (A5L15H7) 15x45 m2	YI 350X8/200X12 PROFİL	17.358	YI 150X8/125X8 PROFİL	1.130	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	4.134	Kutu 120x120x4 Profil (2sıra)	2.556	L80.80.8 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	2.866	33.039	36.343	53.84
		IPE360 PROFİL	16.602	IPE180 PROFİL	0.846									31.998	35.198	52.15
		HEA300 PROFİL	25.586	HEA160 PROFİL	1.368									41.505	45.655	67.64
	ALTERNATİF 2 (A8L15H7) 15x72 m2	YI 550X8/200X12 PROFİL	20.992	YI 150X8/125X8 PROFİL	1.130	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	12.888	UPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	7.397	Kutu 175x175x5 Profil (2sıra)	7.546	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	6.371	56.324	61.956	57.37
		IPE450 PROFİL	22.562	IPE180 PROFİL	0.846									57.610	63.371	58.68
		HEA340 PROFİL	30.529	HEA160 PROFİL	1.368									66.098	72.708	67.32
	ALTERNATİF 3 (A5L15H10) 15x45 m2	YI 375X8/200X12 PROFİL	21.466	YI 225X8/150X8 PROFİL	2.077	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	5.406	Kutu 120x120x4 Profil (2sıra)	2.556	L80.80.8 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	3.090	39.590	43.549	64.52
		IPE400 PROFİL	23.255	IPE240 PROFİL	1.934									41.236	45.360	67.20
		HEA320 PROFİL	34.233	HEA200 PROFİL	2.665									52.946	58.240	86.28
	ALTERNATİF 4 (A8L15H10) 15x72 m2	YI 550X8/200X12 PROFİL	25.324	YI 225X8/150X8 PROFİL	2.077	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	12.888	UPN140 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	11.616	Kutu 175x175x5 Profil (2sıra)	7.546	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	6.632	66.083	72.691	67.31
		IPE450 PROFİL	27.218	IPE240 PROFİL	1.934									67.834	74.617	69.09
		HEA360 PROFİL	39.284	HEA200 PROFİL	2.665									80.630	88.693	82.12
	ALTERNATİF 5 (A5L15H14) 15x45 m2	YI 450X8/200X12 KOLON, YI 450X8/200X12 KİRİS	28.404	YI 300X8/200X10 PROFİL	4.371	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=265cm)	6.678	Kutu 120x120x4 Profil (3sıra)	3.834	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	5.987	54.268	59.695	88.44
		IPE450 KOLON, IPE400 KİRİS	31.723	IPE330 PROFİL	4.272									57.488	63.237	93.68
		HEA340 KOLON, HEA340 KİRİS	45.229	HEA280 PROFİL	6.647									73.369	80.706	119.56
	ALTERNATİF 6 (A8L15H14) 15x72 m2	YI 700X8/200X12 KOLON, YI 600X8/200X12 KİRİS	34.220	YI 300X8/200X10 PROFİL	4.371	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	12.888	UPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=265cm)	16.920	Kutu 175x175x5 Profil (3sıra)	11.318	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	8.217	87.934	96.728	89.56
		IPE500 KOLON, IPE450 KİRİS	37.094	IPE330 PROFİL	4.272									90.710	99.781	92.39
		HEA400 KOLON, HEA400 KİRİS	53.844	HEA280 PROFİL	6.647									109.834	120.818	111.87
	ALTERNATİF 7 (A5L20H7) 20x45 m2	YI 500X8/250X12 PROFİL	26.632	YI 175X8/125X8 PROFİL	1.228	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	4.558	Kutu 120x120x4 Profil (2sıra)	2.556	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	4.784	44.753	49.228	54.70
		IPE500 PROFİL	30.929	IPE200 PROFİL	1.030									48.852	53.737	59.71
		HEA400 PROFİL	42.625	HEA180 PROFİL	1.633									61.151	67.266	74.74
	ALTERNATİF 8 (A8L20H7) 20x72 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	32.122	YI 175X8/125X8 PROFİL	1.228	IPN180 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	15.768	UPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	7.933	Kutu 175x175x5 Profil (2sıra)	7.546	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	6.588	71.185	78.303	54.38
		IPE550 PROFİL	36.146	IPE200 PROFİL	1.030									75.011	82.512	57.30
		HEA450 PROFİL	47.740	HEA180 PROFİL	1.633									87.208	95.929	66.62
	ALTERNATİF 9 (A5L20H10) 20x45 m2	YI 500X8/250X12 PROFİL	31.318	YI 250X8/150X10 PROFİL	2.512	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	5.936	Kutu 120x120x4 Profil (2sıra)	2.556	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	5.124	52.441	57.686	64.10
		IPE500 PROFİL	36.371	IPE270 PROFİL	2.310									57.292	63.022	70.02
		HEA400 PROFİL	50.125	HEA220 PROFİL	3.232									71.968	79.165	87.96
	ALTERNATİF 10 (A8L20H10) 20x72 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	37.774	YI 250X8/150X10 PROFİL	2.512	IPN180 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	15.768	UPN140 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	12.416	Kutu 175x175x5 Profil (2sıra)	7.546	L100.100.12 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	8.074	84.090	92.499	64.24
		IPE550 PROFİL	42.506	IPE270 PROFİL	2.310									88.620	97.482	67.70
		HEA450 PROFİL	56.140	HEA220 PROFİL	3.232									103.176	113.493	78.81
	ALTERNATİF 11 (A5L20H14) 20x45 m2	YI 500X8/250X12 KOLON, YI 500X8/250X12 KİRİS	37.566	YI 375X8/200X10 PROFİL	4.836	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=265cm)	7.314	Kutu 120x120x4 Profil (3sıra)	3.834	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	6.280	64.825	71.308	79.23
		IPE500 KOLON, IPE500 KİRİS	43.627	IPE360 PROFİL	5.025									71.075	78.182	86.87
		HEA450 KOLON, HEA450 KİRİS	67.340	HEA300 PROFİL	7.744									97.507	107.258	119.18
	ALTERNATİF 12 (A8L20H14) 20x72 m2	YI 750X8/250X12 KOLON, YI 750X8/250X12 KİRİS	45.310	YI 375X8/200X10 PROFİL	4.836	IPN180 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	15.768	UPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=265cm)	18.048	Kutu 175x175x5 Profil (3sıra)	11.318	L100.100.12 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	9.956	105.236	115.760	80.39
		IPE600 KOLON, IPE600 KİRİS	58.682	IPE360 PROFİL	5.025									118.797	130.677	90.75
		HEA500 KOLON, HEA500 KİRİS	74.555	HEA300 PROFİL	7.744									137.389	151.128	104.95
	ALTERNATİF 13 (A5L25H7) 25x45 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	36.832	YI 200X8/125X8 PROFİL	1.328	IPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	6.755	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	4.982	Kutu 120x120x4 Profil (2sıra)	2.556	L100.100.10 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	5.110	57.564	63.320	56.28
		IPE550 PROFİL	41.446	IPE220 PROFİL	1.231									62.081	68.289	60.70
		HEA450 PROFİL	54.740	HEA200 PROFİL	1.988									76.131	83.744	74.44
	ALTERNATİF 14 (A8L25H7) 25x72 m2	YI 800X10/300X15 PROFİL	52.179	YI 200X8/125X8 PROFİL	1.328	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	23.198	UPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	8.469	Kutu 175x175x5 Profil (2sıra)	7.546	L100.100.12 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	8.066	100.786	110.864	61.59
		IPE750x137 PROFİL	53.567	IPE220 PROFİL	1.231									102.077	112.284	62.38
		HEA550 PROFİL	64.906	HEA200 PROFİL	1.988									114.172	125.590	69.77
	ALTERNATİF 15 (A5L25H10) 25x45 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	42.484	YI 275X8/150X10 PROFİL	2.551	IPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	6.755	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	6.466	Kutu 120x120x4 Profil (2sıra)	2.556	L100.100.12 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	6.438	67.251	73.976	65.76
		IPE600 PROFİL	55.022	IPE300 PROFİL	2.743									79.980	87.978	78.20
		HEA500 PROFİL	69.905	HEA240 PROFİL	3.920									96.040	105.644	93.91
	ALTERNATİF 16 (A8L25H10) 25x72 m2	YI 800X10/300X15 PROFİL	60.186	YI 275X8/150X10 PROFİL	2.551	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	23.198	UPN140 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	13.216	Kutu 175x175x5 Profil (2sıra)	7.546	L100.100.12 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	8.365	115.062	126.568	70.32
		IPE750x137 PROFİL	61.787	IPE300 PROFİL	2.743									116.855	128.540	71.41
		HEA600 PROFİL	80.278	HEA240 PROFİL	3.920									136.522	150.174	83.43
	ALTERNATİF 17 (A5L25H14) 25x45 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	50.020	YI 400X8/200X10 PROFİL	5.030	IPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	6.755	UPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=265cm)	10.050	Kutu 120x120x4 Profil (3sıra)	3.834	L100.100.12 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	6.617	82.307	90.538	80.48
IPE600 PROFİL		64.782	IPE400 PROFİL	5.901	97.940									107.733	95.76	
HEA500 PROFİL		82.305	HEA320 PROFİL	6.886	118.248									130.073	115.62	
ALTERNATİF 18 (A8L25H14) 25x72 m2	YI 800X10/300X15 PROFİL	70.862	YI 400X8/200X10 PROFİL	5.030	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	23.198	UPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=265cm)	19.176	Kutu 175x175x5 Profil (3sıra)	11.318	L100.100.12 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	10.263	139.849	153.833	85.46	
	IPE750x137 PROFİL	72.747	IPE400 PROFİL	5.901									142.604	156.864	87.15	
	HEA600 PROFİL	94.518	HEA320 PROFİL	6.886									167.161	183.877	102.15	

EK B.2

Çizelge B.2: Kafes kirişli çerçeve sistem elemanları ve toplam ağırlıkları.

SİSTEM	SİSTEM ALTERNATİF NO	KOLON KEŞİT BİLGİLERİ/ KOLON TONAJI		KAFES KEŞİT BİLGİLERİ/ KAFES TONAJI		KALKAN DUVAR DİKME KEŞİT BİLGİLERİ/DİKME TONAJI		AŞIK KEŞİT BİLGİLERİ/AŞIK TONAJI		KUŞAK KEŞİT BİLGİLERİ/ KUŞAK TONAJI		BASINÇ ELEMAN AĞIRLIĞI (ton)		ÇAPRAZ ELEMAN AĞIRLIĞI (ton)		TOPLAM TONAJ	1.1 ile ARTTIRILMIŞ TONAJ	ARTTIRILMIŞ TONAJ/ALAN (kg/m ²)
K A F E S K i r i ş l i Ç E R Ç E V E S i s t e m	ALTERNATİF K-1 (A5L15H7) 15x45 m2	IPE360 PROFİL	7.994	ÜST B. 2L75X7 ALT B. 2L60X6 ÖRGÜ 2L50X5	2.394 1.626 1.917	IPE180 PROFİL	0.846	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	4.134	Kutu 120x120x6 Profil (2sıra)	3.735	Kutu 70x70x4 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	2.362	30.004	33.004	48.89
	ALTERNATİF K-2 (A8L15H7) 15x72 m2	IPE400 PROFİL	9.282	ÜST B. 2L90X8 ALT B. 2L70X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	3.286 2.214 2.051													
	ALTERNATİF K-3 (A5L15H10) 15x45 m2	IPE450 PROFİL	15.520	ÜST B. 2L75X7 ALT B. 2L60X6 ÖRGÜ 2L50X5	2.394 1.626 1.917													
	ALTERNATİF K-4 (A8L15H10) 15x72 m2	IPE550 PROFİL	21.200	ÜST B. 2L90X8 ALT B. 2L70X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	3.286 2.214 2.051	IPE240 PROFİL	1.934	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=185cm)	12.888	UPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	7.397	Kutu 175x175x8 Profil (2sıra)	11.586	Kutu 100x100x5 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	6.080	55.630	61.193	56.66
	ALTERNATİF K-5 (A5L15H14) 15x45 m2	IPE750x137 PROFİL	38.360	ÜST B. 2L75X7 ALT B. 2L60X6 ÖRGÜ 2L50X5	2.394 1.626 1.917													
	ALTERNATİF K-6 (A8L15H14) 15x72 m2	IPE750x137 PROFİL	38.360	ÜST B. 2L90X8 ALT B. 2L70X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	3.286 2.214 2.051													
	ALTERNATİF K-7 (A5L20H7) 20x45 m2	IPE400 PROFİL	9.282	ÜST B. 2L90X8 ALT B. 2L65X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	4.382 2.732 2.936	IPE200 PROFİL	1.030	IPN120 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	4.995	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=265cm)	16.920	Kutu 175x175x8 Profil (3sıra)	17.379	Kutu 100x100x5 Çatı ve Kutu 120x120x6 Düşey Çapraz Profili	9.953	107.323	118.056	109.31
	ALTERNATİF K-8 (A8L20H7) 20x72 m2	IPE450 PROFİL	10.864	ÜST B. 2L100X10 ALT B. 2L80X8 ÖRGÜ 2L50X5, 2L55x5, 2L60x6 ve 2L65x7	6.070 3.864 3.108													
	ALTERNATİF K-9 (A5L20H10) 20x45 m2	IPE450 PROFİL	15.520	ÜST B. 2L90X8 ALT B. 2L65X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	4.382 2.732 2.936													
	ALTERNATİF K-10 (A8L20H10) 20x72 m2	IPE550 PROFİL	21.200	ÜST B. 2L100X10 ALT B. 2L80X8 ÖRGÜ 2L50X5, 2L55x5, 2L60x6 ve 2L65x7	6.070 3.864 3.108	IPE270 PROFİL	2.310	IPN180 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=250cm)	15.768	UPN140 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	12.416	Kutu 175x175x8 Profil (2sıra)	11.586	Kutu 120x120x6 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	9.412	85.736	94.309	65.49
	ALTERNATİF K-11 (A5L20H14) 20x45 m2	IPE750x137 PROFİL	38.360	ÜST B. 2L90X8 ALT B. 2L65X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	4.382 2.732 2.936													
	ALTERNATİF K-12 (A8L20H14) 20x72 m2	IPE750x137 PROFİL	38.360	ÜST B. 2L100X10 ALT B. 2L80X8 ÖRGÜ 2L50X5, 2L55x5, 2L60x6 ve 2L65x7	6.070 3.864 3.108													
	ALTERNATİF K-13 (A5L25H7) 25x45 m2	IPE400 PROFİL	9.282	ÜST B. 2L90X9 ALT B. 2L75X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L55x5	6.132 3.970 5.125	IPE220 PROFİL	1.231	IPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	6.755	UPN100 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=175cm)	4.982	Kutu 120x120x6 Profil (2sıra)	3.735	Kutu 90x90x4 Çatı ve Kutu 70x70x4 Düşey Çapraz Profili	3.179	44.391	48.830	43.40
	ALTERNATİF K-14 (A8L25H7) 25x72 m2	IPE500 PROFİL	12.698	ÜST B. 2L110X10 ALT B. 2L90X9 ÖRGÜ 2L50X5, 2L60x6 ve 2L65x7	8.343 6.100 6.011													
	ALTERNATİF K-15 (A5L25H10) 25x45 m2	IPE500 PROFİL	18.140	ÜST B. 2L90X9 ALT B. 2L75X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L55x5	6.132 3.970 5.125													
	ALTERNATİF K-16 (A8L25H10) 25x72 m2	IPE550 PROFİL	21.200	ÜST B. 2L110X10 ALT B. 2L90X9 ÖRGÜ 2L50X5, 2L60x6 ve 2L65x7	8.343 6.100 6.011	IPE300 PROFİL	2.743	IPN160 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=155cm)	23.198	UPN140 PROFİL (2 açıklıkta sürekli ort. gergili, s=220cm)	13.216	Kutu 175x175x8 Profil (2sıra)	11.586	Kutu 120x120x6 Çatı ve Düşey Çapraz Profili	9.751	102.148	112.363	62.42
	ALTERNATİF K-17 (A5L25H14) 25x45 m2	IPE750x137 PROFİL	38.360	ÜST B. 2L90X9 ALT B. 2L75X7 ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L55x5	6.132 3.970 5.125													
	ALTERNATİF K-18 (A8L25H14) 25x72 m2	IPE750x137 PROFİL	38.360	ÜST B. 2L110X10 ALT B. 2L90X9 ÖRGÜ 2L50X5, 2L60x6 ve 2L65x7	8.343 6.100 6.011													

Çizelge B.3: Profil kirişli çerçeve sistem elemanlarının gerilme ve deplasman değerleri.

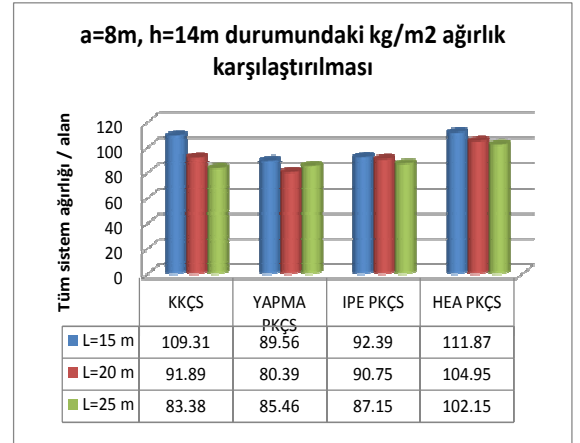
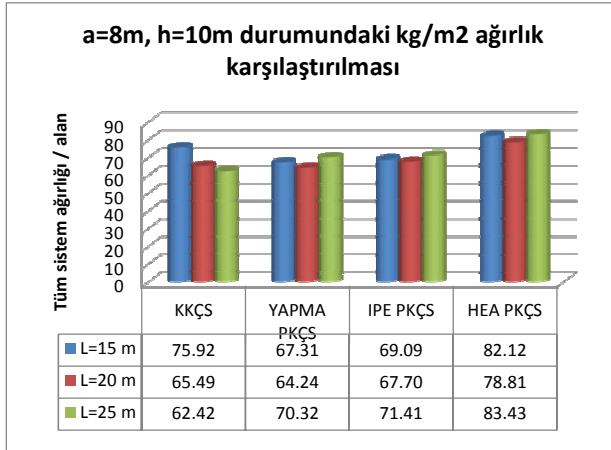
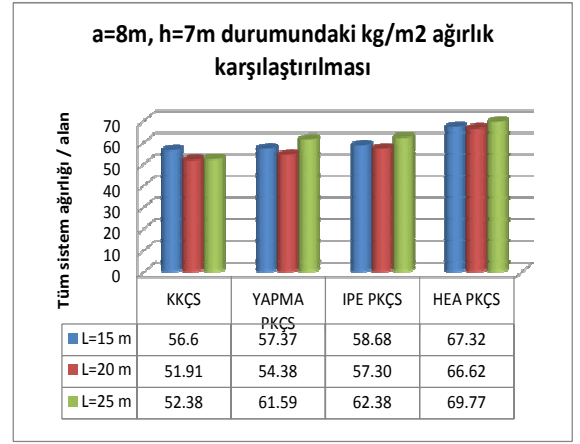
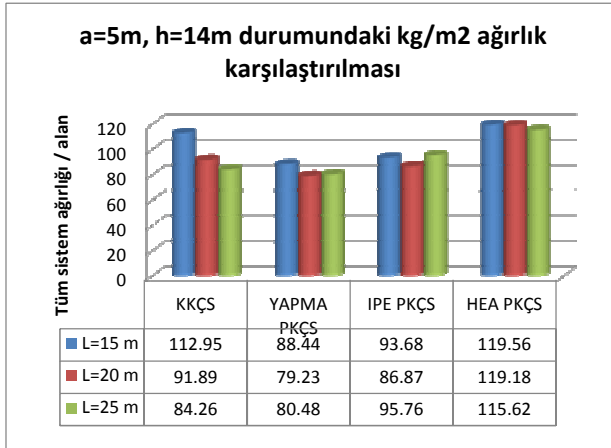
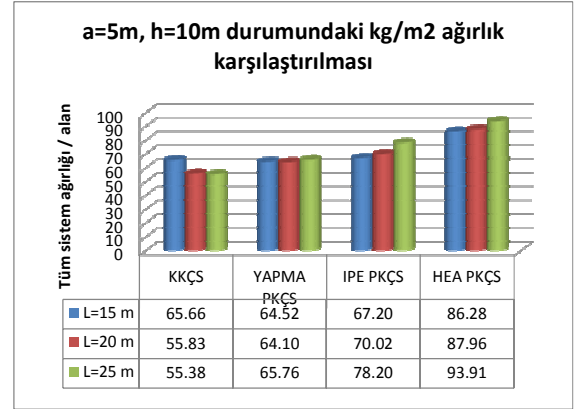
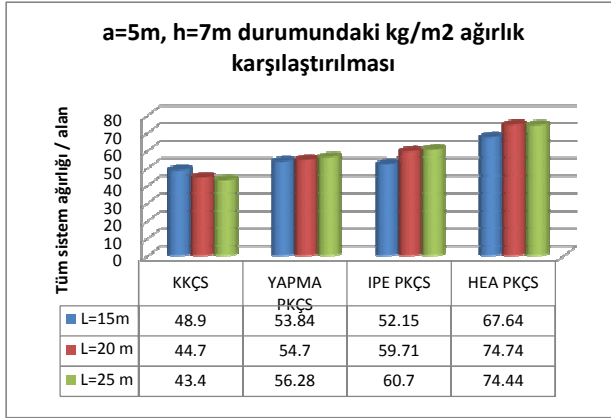
SİSTEM	SİSTEM ALTERNATİF NO	Çerçeve Kesit Bilgileri	Kiriş Gerilme Oranı ve Etkili Yükleme Durumu		Kolon Gerilme Oranı ve Etkili Yükleme Durumu		Çerçeve Yatay Deplasman ve Etkili Yükleme Durumu		Kiriş Düşey Deplasman ve Etkili Yükleme Durumu	
P R O F İ L K i r i ş l i Ç E R Ç E V E S i s t e m	ALTERNATİF 1 (A5L15H7) 15x45 m2	YI 350X8/200X12 PROFİL	G+Q	0.90	G+Q	0.94	G+Q+E	1.459 cm, Rdi/hi=0.0104 < 0.02	G+Q	4.44 cm = L/337
		IPE360 PROFİL	G+Q	0.90	G+Q	0.94	G+Q+E	1.664 cm, Rdi/hi=0.0119 < 0.02	G+Q	5.00 cm = L/300
		HEA300 PROFİL	G+Q	0.66	G+Q	0.67	G+Q+E	1.497 cm, Rdi/hi=0.0107 < 0.02	G+Q	4.54 cm = L/330
	ALTERNATİF 2 (A8L15H7) 15x72 m2	YI 550X8/200X12 PROFİL	G+Q	0.84	G+Q	0.92	G+Q+E	0.994 cm, Rdi/hi=0.0057 < 0.02	G+Q	2.79 cm = L/537
		IPE450 PROFİL	G+Q	0.87	G+Q	0.92	G+Q+E	1.435 cm, Rdi/hi=0.0103 < 0.02	G+Q	3.96 cm = L/378
		HEA340 PROFİL	G+Q	0.78	G+Q	0.79	G+Q+E	1.763 cm, Rdi/hi=0.0126 < 0.02	G+Q	4.83 cm = L/310
	ALTERNATİF 3 (A5L15H10) 15x45 m2	YI 375X8/200X12 PROFİL	G+Q	0.78	G+Q	0.86	G+Q+W	2.919 cm, Rdi/hi=0.0146 < 0.02	G+Q	4.59 cm = L/326
		IPE400 PROFİL	G+Q	0.66	G+Q	0.82	G+Q+W	2.712 cm, Rdi/hi=0.0137 < 0.02	G+Q	4.26 cm = L/352
		HEA320 PROFİL	G+Q	0.52	G+Q	0.55	G+Q+W	2.749 cm, Rdi/hi=0.0138 < 0.02	G+Q	4.31 cm = L/348
	ALTERNATİF 4 (A8L15H10) 15x72 m2	YI 550X8/200X12 PROFİL	G+Q	0.79	G+Q	0.99	G+Q+W	2.064 cm, Rdi/hi=0.0103 < 0.02	G+Q	3.30 cm = L/454
		IPE450 PROFİL	G+Q	0.94	G+Q	0.92	G+Q+W	2.981 cm, Rdi/hi=0.0149 < 0.02	G+Q	4.71 cm = L/318
		HEA360 PROFİL	G+Q	0.64	G+Q	0.69	G+Q+W	3.055cm, Rdi/hi=0.0153 < 0.02	G+Q	4.81 cm = L/311
	ALTERNATİF 5 (A5L15H14) 15x45 m2	YI 450X8/200X12 KOLON, YI 450X8/200X12 KİRİS	G+Q+W	0.72	G+Q+W	0.97	G+Q+W	7.33 cm, Rdi/hi=0.0262 < 0.03*	G+Q	3.68 cm = L/407
		IPE450 KOLON, IPE400 KİRİS	G+Q+W	0.77	G+Q+W	0.80	G+Q+W	7.53 cm, Rdi/hi=0.0269 < 0.03*	G+Q	4.31 cm = L/348
		HEA340 KOLON, HEA340 KİRİS	G+Q+W	0.51	G+Q+W	0.74	G+Q+W	8.389 cm, Rdi/hi=0.0299 < 0.03*	G+Q	4.18 cm = L/358
	ALTERNATİF 6 (A8L15H14) 15x72 m2	YI 700X8/200X12 KOLON, YI 600X8/200X12 KİRİS	G+Q+W	0.83	G+Q+W	0.99	G+Q+W	4.852 cm, Rdi/hi=0.0174< 0.02	G+Q	2.82 cm = L/531
		IPE500 KOLON, IPE450 KİRİS	G+Q+W	0.91	G+Q+W	0.98	G+Q+W	8.399 cm, Rdi/hi=0.0299 < 0.03*	G+Q	4.80 cm = L/312
		HEA400 KOLON, HEA400 KİRİS	G+Q+W	0.59	G+Q+W	0.81	G+Q+W	8.266 cm, Rdi/hi=0.0295 < 0.03*	G+Q	4.15 cm = L/361
	ALTERNATİF 7 (A5L20H7) 20x45 m2	YI 500X8/250X12 PROFİL	G+Q	0.94	G+Q	0.95	G+Q+E	1.16 cm, Rdi/hi=0.0083 < 0.02	G+Q	4.90 cm = L/408
		IPE500 PROFİL	G+Q	0.80	G+Q	0.81	G+Q+E	1.14 cm, Rdi/hi=0.0081 < 0.02	G+Q	4.80 cm = L/416
		HEA400 PROFİL	G+Q	0.68	G+Q	0.66	G+Q+E	1.23 cm, Rdi/hi=0.0088 < 0.02	G+Q	5.14 cm = L/389
	ALTERNATİF 8 (A8L20H7) 20x72 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	G+Q	0.92	G+Q	0.96	G+Q+E	0.77 cm, Rdi/hi=0.0055 < 0.02	G+Q	3.36 cm = L/595
		IPE550 PROFİL	G+Q	0.98	G+Q	0.98	G+Q+E	1.30 cm, Rdi/hi=0.0093 < 0.02	G+Q	5.56 cm = L/359
		HEA450 PROFİL	G+Q	0.85	G+Q	0.84	G+Q+E	1.38 cm, Rdi/hi=0.0099 < 0.02	G+Q	5.87 cm = L/340
	ALTERNATİF 9 (A5L20H10) 20x45 m2	YI 500X8/250X12 PROFİL	G+Q	0.90	G+Q	0.96	G+Q+E	1.88 cm, Rdi/hi=0.0094 < 0.02	G+Q	5.85 cm = L/341
		IPE500 PROFİL	G+Q	0.76	G+Q	0.83	G+Q+E	1.85 cm, Rdi/hi=0.0093 < 0.02	G+Q	5.75 cm = L/347
		HEA400 PROFİL	G+Q	0.64	G+Q	0.66	G+Q+E	1.97 cm, Rdi/hi=0.0099 < 0.02	G+Q	6.15 cm = L/325
	ALTERNATİF 10 (A8L20H10) 20x72 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	G+Q	0.88	G+Q	0.92	G+Q+E	1.39 cm, Rdi/hi=0.0069 < 0.02	G+Q	3.98 cm = L/502
		IPE550 PROFİL	G+Q	0.95	G+Q	0.93	G+Q+E	2.04 cm, Rdi/hi=0.0102 < 0.02	G+Q	6.64 cm = L/301
		HEA450 PROFİL	G+Q	0.81	G+Q	0.84	G+Q+E	2.13 cm, Rdi/hi=0.0107 < 0.02	G+Q	7.00 cm = L/286*
	ALTERNATİF 11 (A5L20H14) 20x45 m2	YI 500X8/250X12 KOLON, YI 500X8/250X12 KİRİS	G+Q	0.83	G+Q+W	0.90	G+Q+W	5.59 cm, Rdi/hi=0.0199 < 0.02	G+Q	6.80 cm = L/295*
		IPE500 KOLON, IPE500 KİRİS	G+Q	0.70	G+Q+W	0.76	G+Q+W	5.53 cm, Rdi/hi=0.0198 < 0.02	G+Q	6.75 cm = L/296*
		HEA450 KOLON, HEA450 KİRİS	G+Q	0.47	G+Q+W	0.51	G+Q+W	4.19 cm, Rdi/hi=0.0150 < 0.02	G+Q	5.15 cm = L/388
	ALTERNATİF 12 (A8L20H14) 20x72 m2	YI 750X8/250X12 KOLON, YI 750X8/250X12 KİRİS	G+Q	0.82	G+Q	0.94	G+Q+W	3.73 cm, Rdi/hi=0.0134 < 0.02	G+Q	4.67 cm = L/428
		IPE600 KOLON, IPE600 KİRİS	G+Q	0.71	G+Q	0.79	G+Q+W	4.64 cm, Rdi/hi=0.0166 < 0.02	G+Q	5.73cm = L/349
		HEA500 KOLON, HEA500 KİRİS	G+Q	0.61	G+Q	0.66	G+Q+W	4.93 cm, Rdi/hi=0.0176 < 0.02	G+Q	6.07 cm = L/329
	ALTERNATİF 13 (A5L25H7) 25x45 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	G+Q	0.95	G+Q	0.95	G+Q+E	0.81 cm, Rdi/hi=0.0058 < 0.02	G+Q	4.57 cm = L/547
		IPE550 PROFİL	G+Q	0.98	G+Q	0.97	G+Q+E	1.39 cm, Rdi/hi=0.0099 < 0.02	G+Q	7.59 cm = L/329
		HEA450 PROFİL	G+Q	0.89	G+Q	0.83	G+Q+E	1.48 cm, Rdi/hi=0.0106 < 0.02	G+Q	8.00 cm = L/312
	ALTERNATİF 14 (A8L25H7) 25x72 m2	YI 800X10/300X15 PROFİL	G+Q	0.97	G+Q	0.97	G+Q+E	0.78 cm, Rdi/hi=0.0056 < 0.02	G+Q	4.45 cm = L/561
		IPE750x137 PROFİL	G+Q	0.93	G+Q	0.93	G+Q+E	0.94 cm, Rdi/hi=0.0067 < 0.02	G+Q	5.26 cm = L/475
		HEA550 PROFİL	G+Q	0.97	G+Q	0.93	G+Q+E	1.36 cm, Rdi/hi=0.0097 < 0.02	G+Q	7.41 cm = L/337
	ALTERNATİF 15 (A5L25H10) 25x45 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	G+Q	0.91	G+Q	0.99	G+Q+E	1.41 cm, Rdi/hi=0.0071 < 0.02	G+Q	5.47 cm = L/457
		IPE600 PROFİL	G+Q	0.79	G+Q	0.83	G+Q+E	1.67 cm, Rdi/hi=0.0084 < 0.02	G+Q	6.73 cm = L/371
		HEA500 PROFİL	G+Q	0.69	G+Q	0.68	G+Q+E	1.76 cm, Rdi/hi=0.0088 < 0.02	G+Q	7.14 cm = L/350
	ALTERNATİF 16 (A8L25H10) 25x72 m2	YI 800X10/300X15 PROFİL	G+Q	0.94	G+Q	0.98	G+Q+E	1.42 cm, Rdi/hi=0.0071 < 0.02	G+Q	5.30 cm = L/471
		IPE750x137 PROFİL	G+Q	0.89	G+Q	0.95	G+Q+E	1.61 cm, Rdi/hi=0.0081 < 0.02	G+Q	6.30 cm = L/396
		HEA600 PROFİL	G+Q	0.81	G+Q	0.81	G+Q+E	1.79 cm, Rdi/hi=0.009 < 0.02	G+Q	7.10 cm = L/352
	ALTERNATİF 17 (A5L25H14) 25x45 m2	YI 750X8/250X12 PROFİL	G+Q	0.86	G+Q	0.95	G+Q+W	2.76 cm, Rdi/hi=0.0099 < 0.02	G+Q	6.45 cm = L/387
		IPE600 PROFİL	G+Q	0.74	G+Q	0.79	G+Q+W	3.44 cm, Rdi/hi=0.0123 < 0.02	G+Q	7.97 cm = L/313
		HEA500 PROFİL	G+Q	0.64	G+Q	0.67	G+Q+W	3.65 cm, Rdi/hi=0.0131 < 0.02	G+Q	8.41 cm = L/297*
	ALTERNATİF 18 (A8L25H14) 25x72 m2	YI 800X10/300X15 PROFİL	G+Q	0.89	G+Q	0.95	G+Q+W	2.66 cm, Rdi/hi=0.0095 < 0.02	G+Q	6.25 cm = L/400
		IPE750x137 PROFİL	G+Q	0.84	G+Q	0.89	G+Q+W	3.18 cm, Rdi/hi=0.0114 < 0.02	G+Q	7.43 cm = L/336
		HEA600 PROFİL	G+Q	0.75	G+Q	0.79	G+Q+W	3.61 cm, Rdi/hi=0.0129 < 0.02	G+Q	8.38 cm = L/298*

EK B.4

Çizelge B.4: Kafes kirişli çerçeve sistem elemanlarının gerilme ve deplasman değerleri.

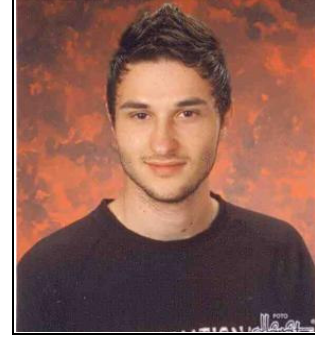
SİSTEM	SİSTEM ALTERNATİF NO	Sistem Kesit Bilgileri	Kesit Gerilme Oranı ve Etkili Yükleme Durumu		Sistem Yatay Deplasman ve Etkili Yükleme Durumu		Kafes Kiriş Düşey Deplasman ve Etkili Yükleme Durumu	
K A F E S K i r i ş l i Ç E R Ç E V E S i S T E M	ALTERNATİF K-1 (A5L15H7) 15x45 m2	IPE360 KOLON PROFİLİ	G+Q+E	0.51	G+Q+E	3.36 cm, Rdi/hi=0.0192 < 0.02	G+Q	2.30 cm = L/652
		ÜST B. 2L75X7	G+Q	0.93				
		ALT B. 2L60X6	G+Q	0.83				
		ÖRGÜ 2L50X5	G+Q	0.84				
	ALTERNATİF K-2 (A8L15H7) 15x72 m2	IPE400 KOLON PROFİLİ	G+Q+E	0.62	G+Q+E	3.5 cm, Rdi/hi=0.02 < 0.02	G+Q	2.74 cm = L/547
		ÜST B. 2L90X8	G+Q	0.92				
		ALT B. 2L70X7	G+Q	0.97				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	G+Q	sırasıyla 0.66 ve 0.93				
	ALTERNATİF K-3 (A5L15H10) 15x45 m2	IPE450 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.64	G+Q+W	4.81 cm, Rdi/hi=0.0193 < 0.02	G+Q	2.30 cm = L/652
		ÜST B. 2L75X7	G+Q	0.93				
		ALT B. 2L60X6	G+Q	0.83				
		ÖRGÜ 2L50X5	G+Q	0.84				
	ALTERNATİF K-4 (A8L15H10) 15x72 m2	IPE550 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.58	G+Q+W	3.88 cm, Rdi/hi=0.0155 < 0.02	G+Q	2.74 cm = L/547
		ÜST B. 2L90X8	G+Q	0.92				
		ALT B. 2L70X7	G+Q	0.97				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	G+Q	sırasıyla 0.66 ve 0.93				
	ALTERNATİF K-5 (A5L15H14) 15x45 m2	IPE750X137 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.45	G+Q+W	4.45 cm, Rdi/hi=0.0127 < 0.02	G+Q	2.30 cm = L/652
		ÜST B. 2L75X7	G+Q	0.93				
		ALT B. 2L60X6	G+Q	0.83				
		ÖRGÜ 2L50X5	G+Q	0.84				
	ALTERNATİF K-6 (A8L15H14) 15x72 m2	IPE750X137 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.71	G+Q+W	7.10 cm, Rdi/hi=0.0203 ≈ 0.02	G+Q	2.74 cm = L/547
		ÜST B. 2L90X8	G+Q	0.92				
		ALT B. 2L70X7	G+Q	0.97				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	G+Q	sırasıyla 0.66 ve 0.93				
	ALTERNATİF K-7 (A5L20H7) 20x45 m2	IPE400 KOLON PROFİLİ	G+Q+E	0.52	G+Q+E	3.21 cm, Rdi/hi=0.0183 < 0.02	G+Q	3.14 cm = L/636
		ÜST B. 2L90X8	G+Q	0.96				
		ALT B. 2L65X7	G+Q	0.87				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	G+Q	sırasıyla 0.66 ve 0.77				
	ALTERNATİF K-8 (A8L20H7) 20x72 m2	IPE450 KOLON PROFİLİ	G+Q+E	0.62	G+Q+E	3.34 cm, Rdi/hi=0.0191 < 0.02	G+Q	3.74 cm = L/534
		ÜST B. 2L100X10	G+Q	1.00				
		ALT B. 2L80X8	G+Q	0.99				
		ÖRGÜ 2L50X5, 2L55x5, 2L60x6 ve 2L65x7	G+Q (2L60x6 için G+Q/2+W)	sırasıyla 0.79, 0.88, 0.93 ve 0.98				
	ALTERNATİF K-9 (A5L20H10) 20x45 m2	IPE450 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.68	G+Q+E	4.97 cm, Rdi/hi=0.0199 < 0.02	G+Q	3.14 cm = L/636
		ÜST B. 2L90X8	G+Q	0.96				
		ALT B. 2L65X7	G+Q	0.87				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	G+Q	sırasıyla 0.66 ve 0.77				
	ALTERNATİF K-10 (A8L20H10) 20x72 m2	IPE550 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.63	G+Q+E	4.21 cm, Rdi/hi=0.0168 < 0.02	G+Q	3.74 cm = L/534
		ÜST B. 2L100X10	G+Q	1.00				
		ALT B. 2L80X8	G+Q	0.99				
		ÖRGÜ 2L50X5, 2L55x5, 2L60x6 ve 2L65x7	G+Q (2L60x6 için G+Q/2+W)	sırasıyla 0.79, 0.88, 0.93 ve 0.98				
	ALTERNATİF K-11 (A5L20H14) 20x45 m2	IPE750X137 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.45	G+Q+W	4.49 cm, Rdi/hi=0.0128 < 0.02	G+Q	3.14 cm = L/636
		ÜST B. 2L90X8	G+Q	0.96				
		ALT B. 2L65X7	G+Q	0.87				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L60x6	G+Q	sırasıyla 0.66 ve 0.77				
	ALTERNATİF K-12 (A8L20H14) 20x72 m2	IPE750X137 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.70	G+Q+W	7.10 cm, Rdi/hi=0.0203 ≈ 0.02	G+Q	3.74 cm = L/534
		ÜST B. 2L100X10	G+Q	1.00				
		ALT B. 2L80X8	G+Q	0.99				
		ÖRGÜ 2L50X5, 2L55x5, 2L60x6 ve 2L65x7	G+Q (2L60x6 için G+Q/2+W)	sırasıyla 0.79, 0.88, 0.93 ve 0.98				
	ALTERNATİF K-13 (A5L25H7) 25x45 m2	IPE400 KOLON PROFİLİ	G+Q+E	0.61	G+Q+E	3.54 cm, Rdi/hi=0.0202 ≈ 0.02	G+Q	4.26 cm = L/586
		ÜST B. 2L90X9	G+Q	0.98				
		ALT B. 2L75X7	G+Q	0.94				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L55x5	G+Q	sırasıyla 0.98 ve 0.90				
	ALTERNATİF K-14 (A8L25H7) 25x72 m2	IPES00 KOLON PROFİLİ	G+Q+E	0.60	G+Q+E	3.00 cm, Rdi/hi=0.0172 < 0.02	G+Q	4.75 cm = L/526
		ÜST B. 2L110X10	G+Q	1.00				
		ALT B. 2L90X9	G+Q	0.98				
		ÖRGÜ 2L50X5, 2L60x6 ve 2L65x7	G+Q	sırasıyla 0.96, 0.86 ve 0.87				
	ALTERNATİF K-15 (A5L25H10) 25x45 m2	IPES00 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.52	G+Q+E	4.42 cm, Rdi/hi=0.0177 < 0.02	G+Q	4.26 cm = L/586
		ÜST B. 2L90X9	G+Q	0.98				
		ALT B. 2L75X7	G+Q	0.94				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L55x5	G+Q	sırasıyla 0.98 ve 0.90				
	ALTERNATİF K-16 (A8L25H10) 25x72 m2	IPES50 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.68	G+Q+E	4.76 cm, Rdi/hi=0.0191 < 0.02	G+Q	4.75 cm = L/526
		ÜST B. 2L110X10	G+Q	1.00				
		ALT B. 2L90X9	G+Q	0.98				
		ÖRGÜ 2L50X5, 2L60x6 ve 2L65x7	G+Q	sırasıyla 0.96, 0.86 ve 0.87				
	ALTERNATİF K-17 (A5L25H14) 25x45 m2	IPE750X137 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.45	G+Q+W	4.51 cm, Rdi/hi=0.0129 < 0.02	G+Q	4.26 cm = L/586
		ÜST B. 2L90X9	G+Q	0.98				
		ALT B. 2L75X7	G+Q	0.94				
		ÖRGÜ 2L50X5 ve 2L55x5	G+Q	sırasıyla 0.98 ve 0.90				
	ALTERNATİF K-18 (A8L25H14) 25x72 m2	IPE750X137 KOLON PROFİLİ	G+Q+W	0.70	G+Q+W	7.22 cm, Rdi/hi=0.0206 ≈ 0.02	G+Q	4.75 cm = L/526
		ÜST B. 2L110X10	G+Q	1.00				
		ALT B. 2L90X9	G+Q	0.98				
		ÖRGÜ 2L50X5, 2L60x6 ve 2L65x7	G+Q	sırasıyla 0.96, 0.86 ve 0.87				

EK B.5



Şekil B.1: Grafiklerle sistemlerin m² ağırlıklarının karşılaştırılması

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ömer Mungan

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 01.01.1984

Adres: Çamlık cad. Filbahri sok. No:2/15 Bahçelievler/İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi – İnşaat Mühendisliği - 2006