

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK AÇIKLIKLI ENDÜSTRİ YAPILARINDA DEĞİŞKEN KESİT VE HADDE
PROFİLLERE GÖRE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zihni AYDENİZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK AÇIKLIKLI ENDÜSTRİ YAPILARINDA DEĞİŞKEN KESİT VE HADDE
PROFİLLERE GÖRE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Zihni AYDENİZ

(501061147)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Filiz PİROĞLU

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501061147 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Zihni AYDENİZ** ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“TEK AÇIKLIKLI ENDÜSTRİ YAPILARINDA DEĞİŞKEN KESİT VE HADDE PROFİLLERE GÖRE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM KARŞILAŞTIRILMASI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Filiz PİROĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Ercan YÜKSEL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Y. Doç. Dr. Nilgün AKTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **02 Mayıs 2012**

Savunma Tarihi : **06 Haziran 2012** iii

ÖNSÖZ

Bugünlere gelmemi sağlayan çalışma hayatım ve üniversite hayatım boyunca maddi manevi her türlü desteği esirgemeyen annem Feyha AYDENİZ’e, kendi enerjisi ve azmiyle beni destekleyen ablam Dr. Betül AYDENİZ ŞENGÖR’e sonsuz teşekkür ediyorum.

Tez çalışmam sırasında Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca yardım ve desteğini gördüğüm bilgisinden faydalandığım hocalarım Doç. Dr. Filiz PİROĞLU’na ve Yard. Doç. Dr. Özden ÇAĞLAYAN’a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve Yüksek Lisans döneminde sıkıntılı tez günlerimde bana çok büyük emeği ve yardımı geçen arkadaşım Çevre Yük. Müh. Ebru AYDINLI’ya da teşekkürü bir borç bilirim.

HAZİRAN 2012

Zihni AYDENİZ
(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. ÇELİK HAL KONSTRUKSİYONLARI	3
2.1 Taşıyıcı Sistemler.....	3
2.2 Hal Konstruksiyonu Tipleri.....	5
2.2.1 Birinci grup haller	5
2.2.2 İkinci grup haller.....	6
2.2.3 Üçüncü grup haller.....	7
2.2.4 Özel yapı halleri	7
3. 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİ.....	11
3.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar	11
3.1.1 Elastik deprem yüklerinin tanımlanması: Spektral ivme katsayısı	11
3.1.1.1 Etkin yer ivmesi katsayısı	11
3.1.1.2 Bina önem katsayısı	11
3.1.1.3 Spektrum katsayısı	12
3.1.2 Elastik deprem azaltılması: Deprem yükü azaltma katsayısı.....	13
3.1.3 Özel tasarım ivme spektrumları	13
3.1.3.1 Taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerine ilişkin genel koşullar	14
3.1.4 Hesap yönteminin seçilmesi	16
3.1.5 Mod birleştirme yöntemi	16
3.1.5.1 İvme spektrumu	16
3.1.5.2 Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı.....	16
3.1.5.3 Mod katkılarının birleştirilmesi	17
3.1.5.4 Hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınır değerleri	17
3.1.5.5 Eleman asal eksen doğrultusundaki iç kuvvetler	18
3.1.6 Göreli kat ötelemelerinin sınırlandırılması, ikinci mertebe etkileri ve deprem derzleri.....	18
3.1.6.1 Etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması	18
3.1.6.2 İkinci mertebe etkileri	19
3.2 Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları	20
3.2.1 Genel kurallar	20
3.2.1.1 Malzeme koşulları ve emniyet gerilmeleri	20
3.2.1.2 Arttırılmış deprem etkileri	21

3.2.1.3 İç kuvvet kapasiteleri ve gerilme sınır değerleri	22
3.2.2 Süneklik düzeyi yüksek çerçeveler	23
3.2.2.1 Enkesit koşulları.....	23
3.2.2.2 Kiriş – Kolon birleşim bölgeleri	25
3.2.3 Süneklik düzeyi normal çerçeveler	28
3.2.3.1 Enkesit koşulları.....	28
3.2.3.2 Kiriş – Kolon birleşim bölgeleri	28
3.2.4 Merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı perdeler.....	29
3.2.5 Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler	30
3.2.5.1 Enkesit koşulları.....	30
3.2.5.2 Çaprazların birleşimleri.....	31
4. İMO–02/2008 ÇELİK YAPILAR HESAP KURALLARI VE PROJE ESASLARI.....	33
4.1 Özel Boyutlandırma Kuralları	33
4.1.1 Gövde yüksekliği değişken elemanlar	33
4.1.1.1 Genel bilgiler.....	33
4.1.1.2 Eksenel basınç halinde basınç emniyet gerilmesi	33
4.1.1.3 Eğilme halinde basınç emniyet gerilmesi	34
4.1.1.4 Eksenel basınç kuvveti ile momentin aynı anda etkimesi hali.....	36
4.2 Özel Tasarım Problemleri	37
4.2.1 Yorulma	37
4.2.1.1 Yükleme durumları; Taşıyıcı elemanların ve detayların tipi ve yeri .	37
4.2.1.2 İzin verilen gerilme aralığı.....	37
5. MATEMATİK MODELİN TANIMI.....	41
5.1 Statik Sistem Tanımı	41
5.2 Sistem Özellikleri.....	41
5.3 Bilgisayar Modelinin Oluşturulması	42
5.4 Analiz Yöntemi	42
5.5 Tasarım Kriterleri	43
5.5.1 Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında dikkate alınan hususlar	44
5.5.1.1 Düşey yükler	44
5.5.1.2 Rüzgar yükleri.....	47
5.5.1.3 Deprem yükleri	52
5.5.1.4 Kren yükleri	54
6. ÇELİK TAŞIYICI KIRIKLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİN ANALİZİ.....	57
6.1 Çerçeve Kolonlarının Hesabı	57
6.1.1 Eksenel basınç halinde burkulma emniyet gerilmesi kontrolü	59
6.1.2 Sadece eğilme halinde yanal burkulmada dikkate alınarak basınç emniyet gerilmesinin hesabı	60
6.1.3 Bileşik gerilme halleri.....	61
6.1.4 Enkesit koşulları.....	62
6.1.5 Yorulma kontrolü.....	62
6.2 Çerçeve Kirişlerinin Hesabı	64
6.2.1 Eksenel basınç halinde burkulma emniyet gerilmesi kontrolü	65
6.2.2 Sadece eğilme halinde basınç emniyet gerilmesinin hesabı	66
6.2.3 Bileşik gerilme halleri.....	67
6.2.4 Enkesit koşulları.....	68
6.3 Çelik Çaprazlı Düşey Perdenin Hesabı	69
6.3.1 Çelik çaprazlı düşey perdenin dikmelerinin boyutlandırılması	69

6.3.2 Çelik çaprazlı düşey perdenin diyagonallerinin boyutlandırılması	70
6.4 Çatı Düzlemindeki Çelik Çaprazlı Perdenin Boyutlandırılması	71
6.4.1 Çatı düzlemindeki çelik çaprazlı perdenin kısa elemanlarının boyutlandırılması	71
6.4.2 Çatı düzlemindeki çelik çaprazlı perdenin diyagonallerinin hesabı	72
6.5 Kren Kirişi Hesabı.....	72
6.5.1 Kren yüklerinin belirlenmesi	73
6.5.2 Eksenel basınç halinde emniyet gerilmesi kontrolü	75
6.5.3 Sadece eğilme halinde emniyet gerilmesi kontrolü	75
6.5.4 Bileşik gerilme halleri.....	76
6.5.5 Kesme kapasitesi kontrolü	77
6.5.6 Yorulma kontrolü.....	77
6.6 Kren Kirişini Taşıyan Konsolun Hesabı	79
6.6.1 Eksenel basınç halinde emniyet gerilmesi kontrolü	80
6.6.2 Eğilme halinde emniyet gerilmesi kontrolü	81
6.6.3 Bileşik gerilme halleri.....	81
6.6.4 Enkesit koşulları	82
6.6.5 Yorulma kontrolü.....	83
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ.....	91

KISALTMALAR

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
NBCC	: National Building Code of Canada
SAP2000	: Structural Analysis Program
TS	: Türk Standartları
IMO	: İnşaat Mühendisleri Odası
ULS	: Ultimate Limit Strength
SLS	: Serviceability Limit Strength
EMGT	: Emniyet Gerilmesine Göre Tasarım
SDGT	: Sınır Durumlara Göre Tasarım
Ölü	: Ölü Yükler
Eiy	: Esas İlave Yükler
Yor	: Yorulmadan Kaynaklanan Esas İlave Yükler
Dep	: Depremden Kaynaklanan Yükler

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	: Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0).....	11
Çizelge 3.2	: Bina önem katsayısı (I)	12
Çizelge 3.3	: Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B)	13
Çizelge 3.4	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R).....	15
Çizelge 3.5	: D_a arttırma katsayıları	21
Çizelge 3.6	: Büyütme katsayıları	22
Çizelge 3.7	: Enkesit koşulları.....	24
Çizelge 4.1	: Yükleme tekrar sayısı.....	38
Çizelge 4.2	: İzin verilen gerilme aralığı ve karşı gelen yorulma kategorisi.....	38
Çizelge 4.3	: Gerilme kategorisi sınıflandırılması (malzeme tipi ve yeri)	39
Çizelge 5.1	: Rüzgar yükü için önem katsayısı	49
Çizelge 5.2	: Çerçeve kolonları yük değerleri	50
Çizelge 5.3	: 5°'den küçük çerçeve kirişi yük değerleri	51
Çizelge 5.4	: Modal kütle katılım oranları.....	53
Çizelge 5.5	: Toplam taban kesme kuvvetleri	54
Çizelge 6.1	: Çerçeve kolonları alt-üst uçları ve konsol hizasındaki kesit zorları ..	57
Çizelge 6.2	: Yükleme durumlarına göre yeterli enkesit değerleri.....	58
Çizelge 6.3	: Çerçeve kolonu kesit bilgileri	59
Çizelge 6.4	: Çerçeve kirişleri kesit zorları	64
Çizelge 6.5	: Yükleme durumlarına göre oluşan yeterli enkesit değerleri	65
Çizelge 6.6	: Çerçeve kirişi kesit bilgileri	65
Çizelge 6.7	: Boru profil kesit özellikleri	69
Çizelge 6.8	: Kren kirişi kesit özellikleri.....	73
Çizelge 6.9	: A100 kren rayı kesit özellikleri.....	73
Çizelge 6.10	: Tekerlek basınçları	73
Çizelge 6.11	: Kren kirişinde oluşan iç kuvvetler	74
Çizelge 6.12	: ψ denk katsayısı	74
Çizelge 6.13	: ϕ vurma katsayısı	74
Çizelge 6.14	: Kren konsolları kesit zorları.....	79
Çizelge 6.15	: Kren konsolu kesit bilgileri.....	80
Çizelge 7.1	: Çerçeve kolonu kesit kıyaslamaları	87
Çizelge 7.2	: Çerçeve kirişi kesit kıyaslamaları	88

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Taşıyıcı sistem örnekleri	4
Şekil 2.2	: Diğer taşıyıcı sistem örnekleri	5
Şekil 2.3	: Birinci grup haller	5
Şekil 2.4	: Krenli ve krensiz çerçeve kolonu teşkilleri	6
Şekil 2.5	: İkinci grup haller	6
Şekil 2.6	: Üçüncü grup haller	7
Şekil 2.7	: Çok gözlü krensiz hal örneği	8
Şekil 2.8	: Çok gözlü krenli hal örneği	8
Şekil 2.9	: Şed yapıllı haller	8
Şekil 2.10	: Şed yapıllı hallerde perspektif görünüm	9
Şekil 3.1	: Özel tasarım ivme spektrumu	14
Şekil 3.2	: Eleman asal eksen doğrultusundaki iç kuvvetler	18
Şekil 3.3	: Kayma bölgesi	26
Şekil 3.4	: Tam penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı	27
Şekil 3.5	: Merkezi çelik çaprazlı perdeler	30
Şekil 3.6	: Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler	30
Şekil 5.1	: Matematik modelin perspektif görüşleri	42
Şekil 5.2	: Fabrika modelindeki kar birikmesini gösteren yükleme	47
Şekil 5.3	: Rüzgarın esiş yönüne göre çekme-basınç ilişkisi	48
Şekil 5.4	: Rüzgar yükü emme basma etkileri	48
Şekil 5.5	: Kolon etkileşim bölgeleri	50
Şekil 5.6	: Çerçeve rüzgara maruz kalan elemanların gösterimi	51
Şekil 5.7	: Kren köprüsünden kren girişine etkileyen kuvvetler	54
Şekil 6.1	: Değişken kesit profilde kullanılan parametreler	58

SEMBOL LİSTESİ

$A(T)$	: Spektral ivme katsayısı
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
Z	: Zemin sınıfı
S_{kx}	: x-x eksenine dik burkulma boyu
S_{ky}	: y-y eksenine dik burkulma boyu
i	: Eylemsizlik yarıçapı
I	: Bina önem katsayısı
β	: Deprem yükü düzeltme faktörü
l	: Mesnet yerleri arası eleman uzunluğu
I_{xx}, I_{yy}	: “x” ve “y” yönündeki atalet momentleri
W_{xx}, W_{yy}	: “x” ve “y” yönündeki mukavemet momentleri
t_w	: Elemanın gövde kalınlığı
t_f	: Elemanın başlık kalınlığı
w	: Elemanın başlık genişliği
h	: Elemanın yüksekliği
EY	: Esas yükler
$EİY$	: Esas ilave yükler
N	: Normal kuvvet
M	: Moment
V	: Kesme kuvveti
A	: Kesit alanı
g	: Yerçekimi ivmesi
T	: Binanın doğal titreşim periyodu
δ	: Göreli kat ötelemesi
Ω	: İç kuvvet büyütme katsayısı
σ_a	: Akma sınır gerilmesi
σ_{em}	: Emniyet gerilmesi
E	: Elastisite modülü
λ	: Narinlik oranı
γ	: Değişkenlik oranı
C_c	: Plastik narinlik oranı
h_1	: Elemanın ince ucunun yüksekliği
h_2	: Elemanın kalın ucunun yüksekliği
f_{a0}	: Elemanın ince ucunda oluşan basınç gerilmesi
$\sigma_{bem,y}$	: Emniyetle taşınacak basınç gerilmesi
w	: Basınç hesabında kullanılan katsayı
F	: Basınç alanı

TEK AÇIKLIKLI ENDÜSTRİ YAPILARINDA DEĞİŞKEN KESİT VE HADDE PROFİLLERE GÖRE ÇELİK TAŞIYICI SİSTEM KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Değişken kesitin hadde profiline göre ne gibi avantajları olabileceğinin bilinmesini sağlayacak bu tez çalışmasında bir fabrika yapısının boyutlandırılması esas alınmıştır. SAP 2000 analiz programı kullanılarak hazırlanan tez çalışmasında 2007 deprem yönetmeliği, NBCC 2005, İMO 02-2008, TS498 – TS648 ve DIN120 gibi standartlar dikkate alınarak analiz yapılmıştır.

Kullanılan yapısal çelik sınıfı tüm taşıyıcı elemanlar için ST52 kullanılmış ve normal sünek sistem davranış göstereceği düşünüldükçe analizi yapılmıştır. Kren girişinin çalışması sonucu oluşan yorulma etkileri kesitlerin tayinin de belirleyici rol oynamıştır. Değişken kesitler genel olarak hafif çözümler sunmuş ancak kompaktlık sınırları sebebiyle biraz daha ağır çözülmesi gerektiği ortaya çıkmıştır, buna rağmen hadde profillerden daha hafif olduğu gözlenmiştir. Ancak imalat hızı ve kalitesi önemli olduğu durumlarda hadde profillerin unutulmaması gerektiği anlaşılmıştır. Günümüz şartlarında maalesef imalat hızı çok önemli olduğundan yapı elemanları seçilirken kaliteyi de beraberinde getirebilecek ve ekonomik sonuçlar verebilecek özellikleri dikkate alınmalıdır.

Fabrika yapısı modellenirken çerçeve yönünde dipten ankastre boyuna doğrultuda ise merkezi çelik çaprazlı düşey perde ve yatay çatı çapraz elemanları ile modellenmiştir. Kren girişi yanal burkulma etkilerinden kurtulması amacıyla belirli aralıklarla yatayda kafes sistem oluşturularak başlıkları tutulmuştur. Kreni taşıyan giriş konsol tayin edilmiştir. Çerçeve kolonları iki aşamalı olarak hesap edilmiştir. Birinci aşamada kolonun temel ve çerçeve girişine bağlı olduğu noktalardaki kesit tesiri göz önünde bulundurularak boyutlandırma yapılmıştır. İkinci aşamada ise kren kotundaki kolon kesitinde meydana gelen tesirler dikkate alınarak boyutlandırma yapılmıştır. Kesitin iç kuvvetleri baş ve son noktada maksimum olmadığından bu kontrolü de yapmak gereği duyulmuştur.

Yapının analizi statik ve dinamik etkiler altında SAP2000 paket programı aracılığıyla yapılmıştır. Deprem analizi yapılırken birinci derece deprem bölgesi şartları, ikinci sınıf zemin şartları ve normal sünek sistem düşünüldükçe mod birleştirme yöntemi ile dinamik analiz yapılmış ve çıkarılan sonuçlar eş değer yöntemle kıyaslanmıştır. Kütle katılım oranlarının yüzde doksani geçmesini sağlayacak mod sayısı belirlenmiş ve taban kesme kuvvetleri eş değer yönteminde oluşan taban kesme kuvvetine yüzde doksan oranına yakınsaması için β katsayıları ile çarpılmıştır.

Belirtilen tüm çalışma ve yöntemler bu tez kapsamında gösterilmiş olup değerli meslektaşlarımıza yol göstermesi amaçlanmıştır.

THE COMPARISON OF THE VARIABLE CROSS SECTIONS AND HOT ROLLED PROFILES USED THE ONE BAY INDUSTRIAL STEEL BUILDING

SUMMARY

In this study the structural system of an one simple bay steel industrial building is analyzed as a moment frame constructed by using hot rolled steel profiles with constant cross sections, as well as plated beams and columns with variable cross sections. For this kind of industrial buildings, economic aspects can be clearly seen in this research study.

While preparing this study, SAP 2000 structural analysis program, AutoCAD drawing program, 2007 Turkish Earthquake Code, TS 498, TS 648, NBCC 2005, DIN 120 and IMO-02/2008 load and design standards have been used to get the solutions.

In Turkey, there are many construction investments, however, most of them will be built as reinforced concrete structures. Steel constructions will be mainly preferred in industrial plants. However, steel sector in construction projects is developing day by day. Construction investments in Turkey also contain industrial buildings.

Generally, industrial buildings automatically involve steel structures. So, steel structures always need to be taken into consideration in the means of the financial aspects.

Industrial buildings are generally used for covering large areas as well as volumes. This kind of structures have one or two storey buildings crossing large span lengths. The choice of the most appropriate static system of the structure in advance is very important to build it economically.

Nowadays, using structural steel materials for the design of these kind of structures is less than the reinforced concrete structures. But this ratio has a reverse situation in industrial construction sector. Because of, the less erection time needed for the construction, putting into operation rapidly, less production failure ratio, ability to cross larger spans without needing any additional columns, lightweight, thus lower vulnerabilities to the earthquakes, ability to restrengthening and variety of economical solutions compared with the reinforced concrete buildings in long term.

Steel materials are assumed as homogenous and isotropic materials, that is the reason why the safety factor considered in calculation is low. Easy check of their qualities and modifications which can be done dramatically in production phase are important features which differs from reinforced concrete.

In addition to this, steel material is %100 recycle material for sustainability, moreover, it does not have to waste harmful materials and consume national

resources with the concrete. Steel materials have %25 CO₂ emissions, %68 national resource consumptions less than concrete material.

Therefore, steel material will be very important as a construction material in these aspects, especially in the future comparing with the concrete material.

The factory building designed is a single span moment frame with 18 meter span, 35 meter length and 9 meter height. In the longitudinal direction of the plant, there are totally vertical bracing system at each side of the building coupled with the horizontal bracing system at the roof. These bracing systems provides the structure stabilization during the horizontal effects such as earthquake and wind loads. Vertical as well as horizontal bracings help to resist the earthquake and wind loads affecting to the structure. These bracing hot-rolled profiles have been defined by the 2007 DBYYHY with regarding the restriction of ductility.

In this study, huge capacity crane which has 800 kN lifting capacity is planned to give service in this industrial plant. The columns of the moment frame were extremely affected by these crane loads especially by causing axial forces as well as bending moments in fatigue design, additionally. Regarding to IMO-02/2008 specification, although it could be designed by using smaller sections under the load cases considered, bigger cross sections were chosen for the reason of fatigue design. The crane girder has been braced in every $\frac{1}{4}$ spacing of its span length in order to prevent lateral buckling and supported on the short cantilever beams along the plant continuously. The cantilever beam has no vertical truss system and been designed as a variable cross section.

The columns of the moment frame are designed in two stages. The first stage is considered from the base of the column to the crane level and the second stage is considered from the bottom of the column to the top of the column. In the first stage, the columns have the biggest bending moments which could be taken into consideration. These forces cause the variable characteristics of the column section which was designed at first. After the solution of the first stage, the column has been designed by regarding the axial forces acting along the total column height and maximum axial load was taken into consideration. According to IMO-02/2008 standard, the column section have been fully confirmed and checked with regarding the rules of fatigue design. If we compare the variable cross section and hot-rolled profiles for columns then the hot-rolled profiles will not give an economical solution unless production time is not important for the client.

The roof beams have been designed according to NBCC standards. In this specification there are more effective criteria's compared with the relevant Turkish standards. Snow and wind loads can be precisely integrated to a mathematical model. While defining the section of the moment frame girders, snow load had controlled the design of the beam section. If we compare the variable cross section and hot-rolled profiles for the roof girders the hot-rolled profiles will not give an economical solution unless production time is not important for the client.

All the hot-rolled profiles which have been used in this industrial plant are ST52 steel grade. For the earthquake resistant design of the plant was considered as a normal ductile system. The dissipation capacity of this system is different from the high ductile systems under the destructive earthquake waves.

The industrial plant was calculated under the static and dynamic loads with the help of SAP 2000 software program. For the earthquake resistant design calculations,

modal analysis method has been used in this building and compared with equivalent earthquake load method. While analyzing the computer model, first seismic zone and second class soil conditions have been considered. The total base shear force obtained from the affecting horizontal earthquake loads has been compared with the modal analysis results and equivalent earthquake loads method. In order to converge the equivalent earthquake loads method to the modal analysis method, β coefficient has been used for the real approximation.

After the design calculations completed and the results obtained from the analysis, there are some interesting results which will be explained in this study.

The columns of the moment frame were chosen under the affect of the heavy crane loads which are extremely crucial for the fatigue design. During the design of the column footage, when there was no axial load acting from the crane, the section of the column was designed as a variable cross section. However, heavy axial loads coming from the crane runs controlled the design of the column section.

The design of girders of the moment frame were controlled by the snow loads which were strictly applied by regarding the National Building Code of Canada. Thus, a variable cross section designed for the girder was more economical than a hot rolled profile with constant cross section.

The calculation for the vertical bracing system low slenderness ratios defined for buckling of the compression members in the 2007 Earthquake Regulation of Turkey were significant. These rules were very effective to design the vertical braced frame sections. None of the other loading cases considered for the design caused to change the section of the hot-rolled profiles designed before. These restrictions for the buckling have been considered in normal ductile system as well as in high ductile systems. It does not a matter what kind of ductile system has been used.

For the calculation of the horizontal bracings on the roof, the restrictions for the compression members given in the 2007 Turkish Earthquake Code was also significant in the design. These rules were very effective in the horizontal bracing system.

For the design of the crane girder, the fatigue design of the IMO-02/2008 standard was determinant. For load cases with the exception of fatigue design, the section could be designed by using the hot rolled profile HEA500. However the fatigue design that must taken into consideration seriously affects the section of the crane girder profile. That kind of results were generally expected because of the load cycles induced by crane runs. The load cycles were valid for 1.168.000 times in the next 50 years. According to this situation, the design of the crane girder was changed to the hot rolled profile HEA600.

The bearing cantilever of the crane girder was also designed with respect of the fatigue design of the IMO-02/2008 standard. The variable cross section was adequate for the carrying the 800kN capacity of crane.

As a result of this study for this kind of industrial hall buildings, a variable cross sections designed for the moment frames are more economical than using the hot rolled profiles with constant cross sections. This study can give some useful hints to civil engineers, however, these results can not be extend to the other type of structural buildings. Every structural building should be designed by considering its special conditions and loads.

While preparing construction drawings in the construction sector, civil engineers should also pay attention to production time of the structural elements of the building, installation time, cost and budget of the project.

1. GİRİŞ

Ülkemizde inşaat yatırımlarının önemli bir bölümünü endüstriyel yapılar oluşturmaktadır. Endüstri yapıları büyük hacimlerin örtülmesinde kullanılan bir yapı türüdür. Bu tür yapılar genellikle tek katlı ve büyük açıklık geçen tek veya çok gözlü çerçeve sistemlerinin yanyana getirilmesiyle oluşturulur. Endüstriyel yapının statik sistemini uygun bir şekilde seçmek yapının ekonomik çözülmesine yardımcı olacaktır. (1)

Yapı mühendisliği alanında yapı tasarımı genelde çeşitli pratik ve teorik bilgilere bağlı bir kararlar dizisi olduğundan mühendisin tecrübe, bilgi ve benzer projelerden elde ettiği bilgilere dayanır. (2)

Günümüzde yapıların boyutlandırılmasında çelik malzeme kullanımı betonarmeye oranla çok düşük kalmaktadır. Bu oran endüstriyel yapılarda ise tam tersidir. Bunun en önemli sebebi montajın tamamlanma süresinin kısa olması ve hemen işletmeye açılabilmesi, hata oranının az olması, büyük oranda açıklıklar geçilebilmesi ve çelik malzemesinin hafif olması sebebiyle depremde daha az etkilenmesi güçlendirilmelerinin ve uzatılabilmelerinin de kolay olması diye sıralanabilir ayrıca uzun vade de daha ekonomik sonuçlar ortaya çıkardığını sıralamak yanlış olmayacaktır. (3)

Yapısal çelik homojen ve izotrop bir malzemedir. Bu sebeple hesaplarda kullanılan güvenlik katsayılarının düşük olması, elastisite modülünün ve mukavemetinin büyük olması, yapım ve üretim aşamasında müdahale edebilmenin ve kalite kontrolünün mümkün olması çeliği betonarmeden ayıran en önemli özelliklerdir. Ayrıca sürdürülebilirlik açısından %100 geri dönüşümlü bir malzemedir, atık malzeme bırakmaması ve doğal kaynakları tüketmemesi sayesinde çevreye verdiği zararlı etkisi betonarmeye göre oldukça azdır. (3)

Çelik malzemesinin beton malzemeye göre CO₂ salınımı %25, doğal kaynak tüketimi ise %68 daha azdır, ancak üretim aşamasında harcanan enerji birbirlerine çok yakındır, fark %1 'den azdır. (4)

Böylece çelik malzemesinin ve çelik yapının günümüzde ve gelecekte ne kadar önemli olduğu rahatlıkla anlaşılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında meslektaşlarımıza çelik endüstri yapılarında kullanılan değişken kesitli elemanların hadde profillere nazaran çerçeve tasarımında ne denli etkin olduğunun kıyaslanması amaçlanmaktadır. Ayrıca bu tür yapılarda yüksek kapasiteli kren yüklerine göre yorulma etkilerinin de dikkate alınarak, hangi yükleme durumunun boyutlandırmayı kontrol ettiğini görmek ve sonuçlarını göstermek hedeflenmiştir. 2007 deprem yönetmeliği ile getirilen yeni şartların boyutlandırmada ne derecede etkin rol oynadığı ve İMO-02/2008’de belirtilen bazı sınırlandırmalarla birlikte değişken kesitin ekonomik etkisinin ne oranda kaldığı, hadde profil ya da değişken kesitli çerçeve olarak tasarlanan sistemlerde getirdiği avantajları irdelenmektedir.

2. ÇELİK HAL KONSTRUKSİYONLARI

Büyük hacimlerin örtülmesinde kullanılan endüstriyel yapılara hal yapıları denir. Tek kattan oluşan bu tür yapılar genellikle uçak hangarları, fabrikalar, depolar, spor salonları gibi geniş iç hacimi olan, kolon sayısının genelde az olduğu yapılar olarak ifade edilebilir. (5)

Ayrıca yapılarda ek arakat bölümleri oluşturulması istendiğinde, bunları ana sisteme etki etmeden bağımsız olarak da yapılmasına imkan oluşturabilen yapılardır.(6)

Yapının kullanış amacı ve aranan hususlar göz önünde bulundurularak hal yapılarının plan ve kesit boyutları, detayları ve mesnet şartları saptanır. Bunların dışında gelecekte yapının genişletilmesi veya büyütülmesi gibi etkenler de gözardı edilmeden yapının tasarımı yapılmalıdır. (5)

Bütün bu tasarım esasları dikkate alınarak yapının stabil, hareketli ve depremli durumlara göre detaylı bir şekilde statik hesabının yapılması gerekmektedir. Özellikle sanayi yapılarında kren yolları ve bunları taşıyan elemanlar ile birleşimleri, makine platformlarını taşıyan çelik taşıyıcı sistemlerin elemanları ve birleşimleri, yüksek gerilim hatlarının direkleri, antenler ve bacalar yorulma gözönüne alınarak da boyutlandırılmalıdır. (7)

Bu tez çalışmasında da kren yükü olmasından dolayı yorulma da gözönüne alınarak boyutlandırma hesapları yürütülecektir.

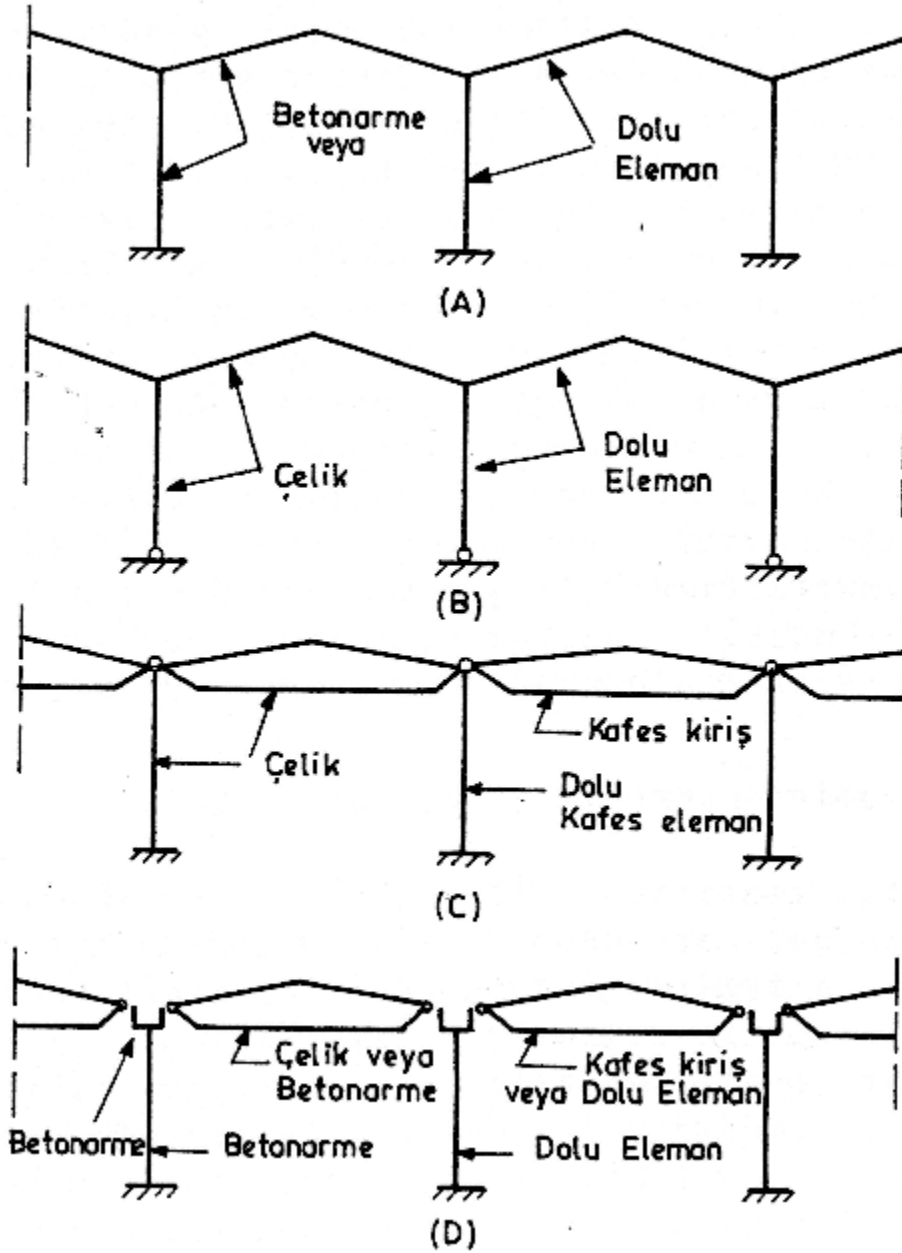
2.1 Taşıyıcı Sistemler

Çelik hal konstruksiyonları üzerlerine etki eden yükleri toplayarak temele aktarılmasına kadar geçen sürede sistemin taşıyıcı rolünü oynarlar. Farklı yüklerden meydana gelen iç kuvvetler statik hesapta ayrı ayrı değerlendirilerek süperpoze edilmeleri sonucu en elverişsiz iç kuvvetlerin tasarımda dikkate alınmasıyla nihai boyutlandırma yapılmış olur. (5)

Hal yapılarının taşıyıcı sisteminin seçimi ülkemiz koşulları açısından konuya yaklaşıldığında bu tür yapılarda ana malzeme olarak;

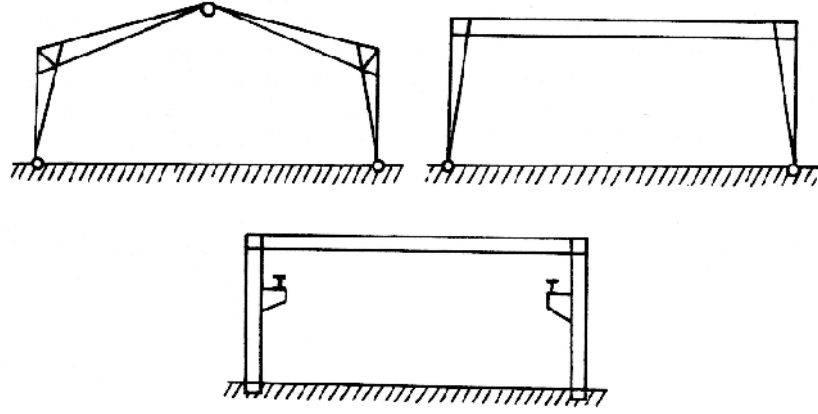
- Betonarme
- Çelik
- Betonarme – Çelik

kullanılabilmektedir. (8) (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 : Taşıyıcı sistem örnekleri.

Şekil 2.1'deki tip yapılardan başka Şekil 2.2'deki gibi değişken kesitli çerçeveler, değişken ve değişken kesitli olmayan elemanlardan oluşan çerçeveler ve sadece sabit enkesitli elemanlardan oluşan çerçeve tipleri de vardır.



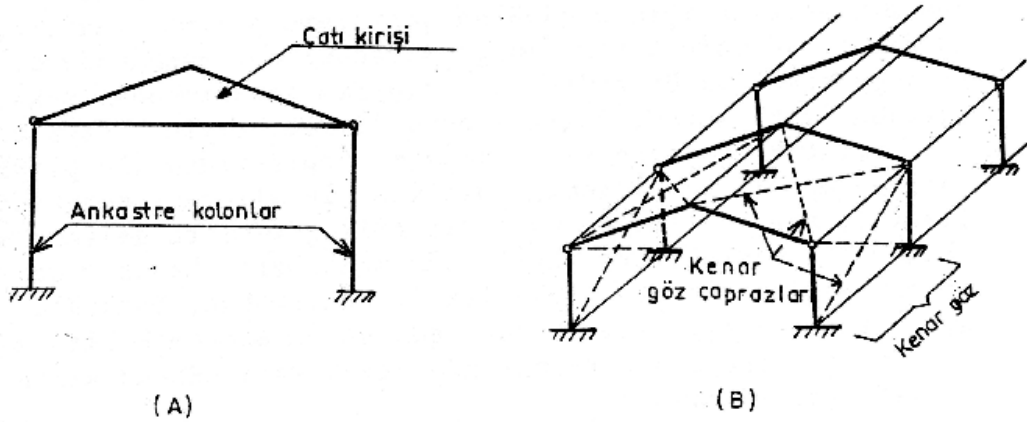
Şekil 2.2 : Diğer taşıyıcı sistem örnekleri.

2.2 Hal Konstruksiyonu Tipleri

Hal konstruksiyonları genel olarak 4 ayrı tipte incelenebilir ve bunlar kendi içlerinde kren yolu olanlar ve olmayanlar olmak üzere de 2 ayrı gruba da ayrılabilir.

2.2.1 Birinci grup haller

Bu tip sistemler, iki ankastre kolon üzerine mafsallı olarak oturan çatı kirişlerinden oluşmaktadır. Şekil 2.3'te bu tiplere örnek gösterilmiştir.

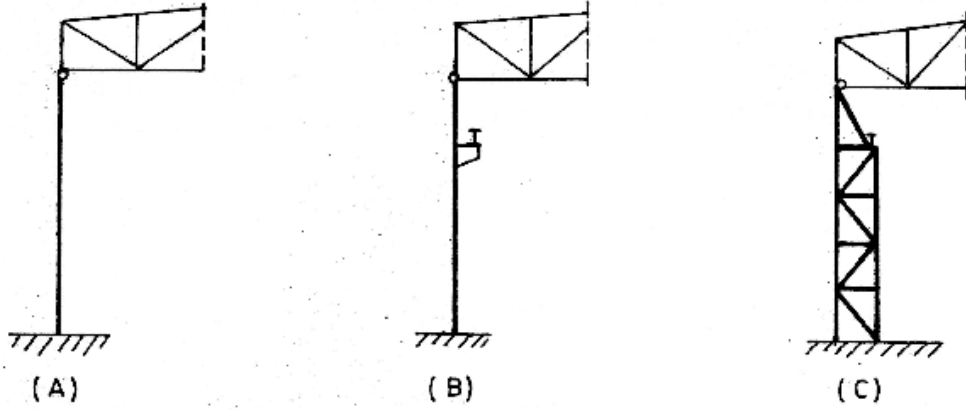


Şekil 2.3 : Birinci grup haller.

Sistemin yatay yükler altındaki stabilitesi çerçeve düzlemindeki ankastre kolonlar tarafından karşılanır, çerçeve düzlemine dik gelen yüklerde ise çatı çaprazları ve yan duvardaki düşey çaprazlar tarafından karşılanır. (6) Yapının boyuna doğrultusunda genelde zayıf atalet momentine sahip elemanlar bulunduğu için, bu doğrultuda olan elemanların önemi büyüktür. Deplasmanın önlenemediği durumlarda ise temel

mesnet şartları gözden geçirilmelidir. Yeterli olmadığı durumda ise kesiti büyütmek yararlı olacaktır.

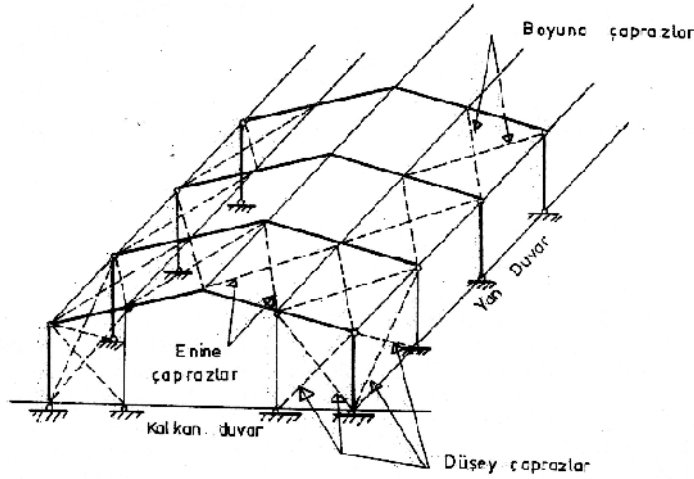
Kren yüksüz veya hafif kren yüklü kolonlar dolu gövdeli olarak teşkil edilebilir. (Şekil 2.4-A ve Şekil 2.4-B). Kren yükünün daha ağır olduğu durumlarda ise kafes sistem olarak da kolon tasarlanabilir. (6) (Şekil 2.4-C).



Şekil 2.4 : Krenli ve krensiz çerçeve kolonu teşkilleri.

2.2.2 İkinci grup haller

Bu tip haller mafsallı kolonlar ile bunların üzerine oturan yine mafsallı olarak teşkil edilen çatı kirişlerinden oluşur. (Şekil 2.5).



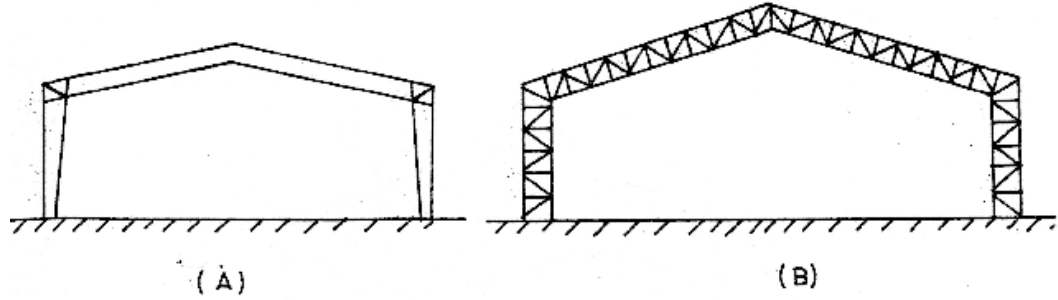
Şekil 2.5 : İkinci grup haller.

Bu tip sistemlerde her iki doğrultuda oluşan yatay yükler çapraz sistemlerle karşılanarak yapının stabilitesi sağlanır. Böyle düzenlenmiş yapılarda genel olarak

kren teşkil edilmez, kolonlar dolu gövdeli ve çatı kirişleri ise kafes olarak tertiplenir. (6) (Şekil 2.4-A).

2.2.3 Üçüncü grup haller

Bu grupta bulunan hal tipi taşıyıcı sistemlerinde ana taşıyıcı sistem moment aktaran çerçevelerden oluşur. (6) (Şekil 2.6).

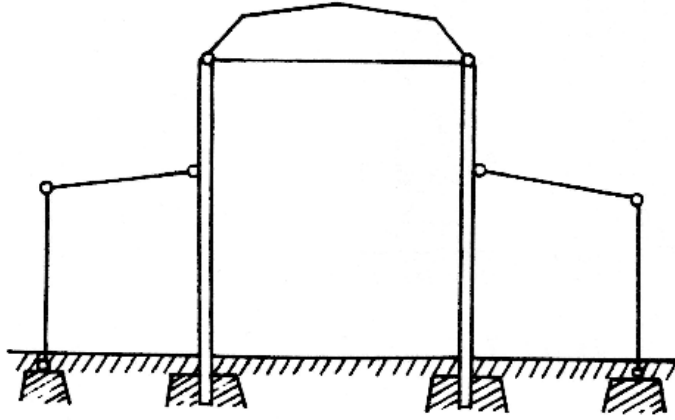


Şekil 2.6 : Üçüncü grup haller.

Bu çerçeveler iki mafsallı, üç mafsallı veya dipten ankastre olarak yapılabilir. Her taşıyıcı sistemin kendine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Kren yolu bulunan yatık çatılı endüstri hallerinde ankastre çerçeve daha uygun olacaktır. Bu tip sistemlerde ankastrelik momentinden kaynaklanan temeller büyük çıksa da çelik sarfiyatının daha az olacağı beklenir. (5) Bu çalışmada kullanılan taşıyıcı sistem üçüncü grup hallere girmektedir ve bu bilgiler doğrultusunda ön şartlar kullanılacaktır.

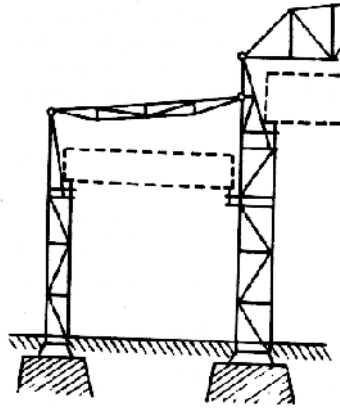
2.2.4 Özel yapı halleri

Bu üç grup dışında, bazı özel yapılar için uygulanan değişik tipte yapılarda vardır, bunlar çok gözlü haller ve şed halleri diye sıralanabilir. Çok gözlü hallerde yan gözler küçük ise bu gözlerin tasarımı Şekil 2.7'deki gibi düzenlenir.



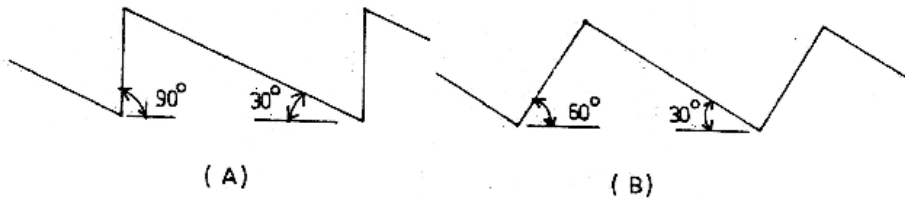
Şekil 2.7 : Çok gözlü krensiz hal örneği.

Yan gözlerin büyük olması ve bu gözlerde krenlerin de olması durumunda Şekil 2.8'deki gibi dipten ankastre çerçeveler tercih edilebilir. (5)

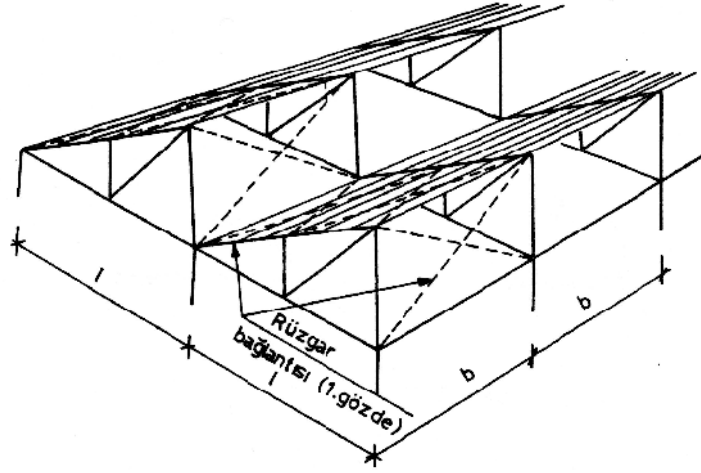


Şekil 2.8 : Çok gözlü krenli hal örneği.

Çatısı Şed tipi olan haller ise üzerleri değişik eğimli çatı yüzeyleri ile kaplı tek katlı yapılardır. (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 : Şed yapılı haller.



Şekil 2.10 : Şed yapılı hallerde perspektif görünüm.

Bu tip yapılar genellikle içeri daha fazla ışık sağlanması için tercih edilirler. Ancak Şekil 2.10'dan da anlaşılabilceği gibi, şekli itibari ile kar birikmesine karşı dikkatli olunmalıdır. (6)

3. 2007 DEPREM YÖNETMELİĞİ

3.1 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar

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.

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

3.1.1.1 Etkin yer ivmesi katsayısı

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

Çizelge 3.1 : Etkin yer ivmesi katsayısı (A_o).

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>A_o</i>
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).

Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar	
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	
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar	
a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.	1.4
b) Müzeler	
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar	
Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4. Diğer binalar	
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.

$$\begin{aligned} S(T) &= 1 + 1.5(T/T_A) & (0 \leq T \leq T_A) \\ S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\ S(T) &= 2.5(T_B/T)^{0.8} & (T_B < T) \end{aligned} \quad (3.2)$$

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).

<i>Yerel Zemin Sınıfı</i>	T_A (saniye)	T_B (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

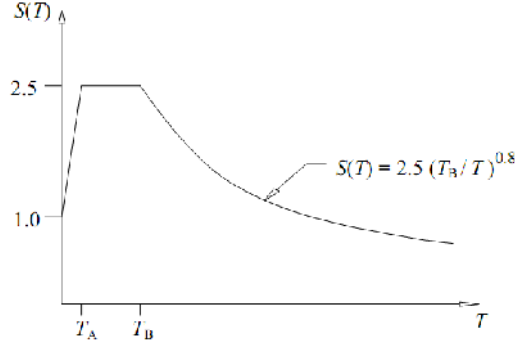
Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, bölüm 3.1.1 'de verilen spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan *Deprem Yükü Azaltma Katsayısı*'na bölünecektir. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı 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.

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

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

3.1.3 Özel tasarım ivme spektrumları

Gerekli durumlarda elastik tasarım ivme spektrumu, yerel deprem ve zemin koşulları gözönüne alınarak yapılacak özel araştırmalarla da belirlenebilir. Ancak, bu şekilde belirlenecek ivme spektrumu ordinatlarına karşı gelen spektral ivme katsayıları, tüm periyotlar için, Çizelge 3.3'teki ilgili karakteristik periyotlar gözönüne alınarak **Denk. (3.1)**'den bulunacak değerlerden hiçbir zaman daha küçük olmayacaktır.



Şekil 3.1 : Özel tasarım ivme spektrumu.

3.1.3.1 Taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerine ilişkin genel koşullar

- 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 ise 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, $HN \leq 16$ m olmak koşulu ile, sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler kullanılabilir.

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

3.1.4 Hesap yönteminin seçilmesi

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler; *Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri*'dir. Bu çalışmada Mod birleştirme yöntemi kullanılmıştır.

3.1.5 Mod birleştirme yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yerdeğiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir.

3.1.5.1 İvme spektrumu

Herhangi bir n'inci titreşim modunda gözönüne alınacak *azaltılmış ivme spektrumu* ordinatı **Denk.(3.4)** ile belirlenecektir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (3.4)$$

Elastik tasarım ivme spektrumunun bölüm 3.1.3 'e göre özel olarak belirlenmesi durumunda, **Denk.(3.4)**'te $S_{ae}(T_n)$ yerine, ilgili özel spektrum ordinatı gözönüne alınacaktır.

3.1.5.2 Hesaba katılacak yeterli titreşim modu sayısı

Hesaba katılması gereken *yeterli titreşim modu sayısı*, Y, gözönüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan *etkin kütle*'lerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütesinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir:

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (3.5)$$

$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i$$

Denk.(3.5)'te yer alan L_{xn} ve L_{yn} ile modal kütle M_n 'nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{xin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{yin}$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{xin}^2 + m_i \Phi_{yin}^2 + m_{\phi_i} \Phi_{\phi in}^2)$$
(3.6)

3.1.5.3 Mod katkılarının birleştirilmesi

Binaya etkiyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin *her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere*, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkılarının istatistiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir:

1- $T_m < T_n$ olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m / T_n < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı uygulanabilir.

2-Yukarıda belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için *Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı* uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak *çapraz korelasyon katsayıları*'nın hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

3.1.5.4 Hesaplanan büyüklüklere ilişkin alt sınır değerleri

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda, bölüm 3.1.5.3'e göre birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{tB} 'nin, *Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi*'nde hesaplanan bina toplam deprem yükü **Denk.(3.7)**'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{tB} < \beta V_t$), *Mod Birleştirme Yöntemi*'ne göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, **Denk.(3.8)**'ye göre büyütülecektir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0.10 A_0 I W$$
(3.7)

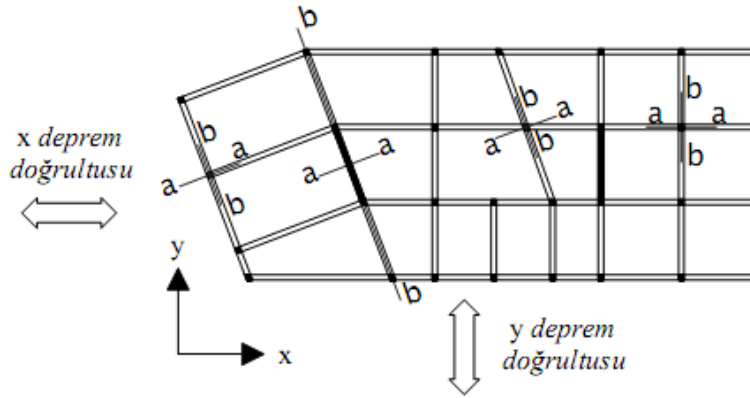
$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \quad (3.8)$$

3.1.5.5 Eleman asal eksen doğrultusundaki iç kuvvetler

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularında bölüm 3.1.5.3'e göre birleştirilerek elde edilen iç kuvvetler için, bölüm 3.1.5.5'te verilen birleştirme kuralı ayrıca uygulanacaktır.(Şekil 3.2).

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

$$B_b = \pm B_{bx} \pm 0.30 B_{by} \text{ veya } B_b = \pm 0.30 B_{bx} \pm B_{by} \quad (3.9)$$



Şekil 3.2 : Eleman asal eksen doğrultusundaki iç kuvvetler.

3.1.6 Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılması, ikinci mertebe etkileri ve deprem derzleri

3.1.6.1 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.(3.10)** ile elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (3.10)$$

Denk.(3.10)'da 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 **Denk.(3.7)**'de 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.(3.11)** ile elde edilecektir.

$$\delta_i = R\Delta_i \quad (3.11)$$

3-Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde, **Denk.(3.11)** ile hesaplanan δ_i etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{\max}$, **Denk.(3.12)**'de verilen koşulu sağlayacaktır:

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (3.12)$$

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

4-**Denk.(3.12)**'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.

3.1.6.2 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.(3.13)** ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci mertebe etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N W_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (3.13)$$

Burada $(\Delta_i)_{ort}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak bölüm 3.1.6.1-1'e göre bulunacaktır.

2-Denk.(3.13)'deki koşulun herhangi bir katta sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistem rijitliği yeterli ölçüde artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

3.2 Çelik Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları

Deprem bölgelerinde yapılacak tüm çelik binaların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve birleşimlerinin düzenlenmesi, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte, öncelikle bu bölümde belirtilen özel kurallara uyularak yapılacaktır.

Bu bölümün kapsamı içindeki çelik binaların yatay yük taşıyıcı sistemleri; sadece çelik çerçevelerden, sadece merkezi veya dışmerkez çelik çaprazlı perdelerden veya çerçevelerin, çelik çaprazlı perdeler ya da betonarme perdelerle birleşiminden oluşabilir. Betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemler de bu bölümün kapsamı içindedir.

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 218C'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*) -298C’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 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5 : 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 gözönüne alınacaktır.

Arttırılmış deprem etkilerini veren yüklemeler;

$$1.0G + 1.0Q \pm \Omega_0 E \quad (3.14a)$$

veya daha elverişsiz sonuç vermesi halinde

$$0.9 \pm \Omega_0 E \quad (3.14b)$$

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 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6 : Büyütme katsayıları.

Taşıyıcı Sistem	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:

$$\text{Eğilme momenti kapasitesi} : M_p = W_p \sigma_a \quad (3.15a)$$

$$\text{Kesme kuvveti kapasitesi} : V_p = 0.60 \sigma_a A_k \quad (3.15b)$$

$$\text{Eksenel basınç kapasitesi} : N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A \quad (3.15c)$$

$$\text{Eksenel çekme kapasitesi} : N_{cp} = \sigma_a A_n \quad (3.15d)$$

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 3.7’de 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.(3.14a)** ve **Denk.(3.14b)**’ye göre arttırılmış yükleme durumlarından oluşan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın) yeterli dayanım kapasitesine sahip olacaktır. Kolon enkesitlerinin eksenel basınç ve çekme kapasiteleri **Denk.(3.15c)** ve **Denk.(3.15d)** ile hesaplanacaktır.

Çizelge 3.7 : Enkesit koşulları.

Eleman Tanımı	Narinlik Oranlar	Sınır	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
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 Kesitleri	h/t_w	$3.2\sqrt{E_s / \sigma_a}$	$5.0\sqrt{E_s / \sigma_a}$
U Kesitleri			
Basınç etkisindeki			
T Kesitleri		$0.3\sqrt{E_s / \sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s / \sigma_a}$
L Kesitleri	h/t_w		
		$ N_d / \sigma_a A \leq 0.10$	$ N_d / \sigma_a A \leq 0.10$
		için	için
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki			
I Kesitleri	h/t_w	$3.2\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$5.0\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
U Kesitleri		$ N_d / \sigma_a A > 0.10$	$ N_d / \sigma_a A > 0.10$
		için	için
		$1.33\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$	$2.08\sqrt{E_s / \sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A} \right \right)$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	D/t	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_a}$	$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a}$
Eğilme veya 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 kesitlerde 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 birarada 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. Geçerliliği kanıtlanmış olan çeşitli bulonlu ve kaynaklı birleşim detayı örnekleri ve bunların uygulama sınırları 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.(3.16)** ile hesaplanacaktır.

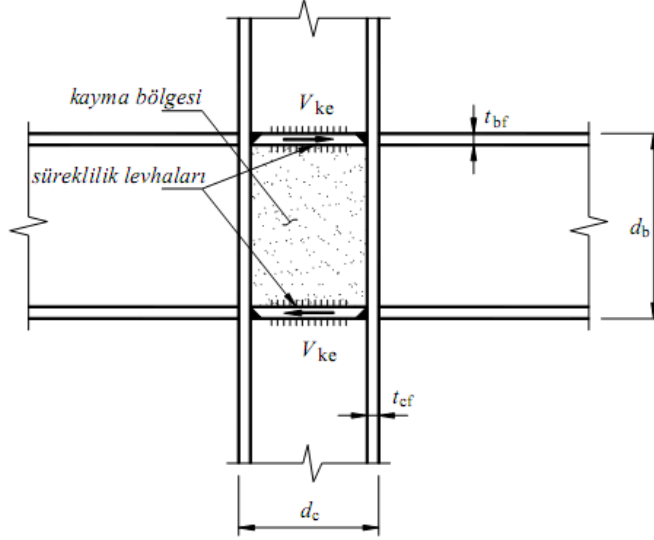
$$V_e = V_{dy} \pm 1.1D_a \frac{(M_{pi} + M_{pj})}{l_n} \quad (3.16)$$

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

3- Kiriş – kolon birleşim detayında, kolon ve kiriş başlıklarının sınırladığı kayma bölgesi (Şekil 3.3) 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.

$$V_{ke} = 0.8 \sum M_p \left(\frac{1}{d_b} - \frac{1}{H_{ort}} \right) \quad (3.17)$$



Şekil 3.3 : Kayma bölgesi.

(b) Kayma bölgesinin V_p kesme kuvveti kapasitesi

$$V_p = 0.6 \sigma_a d_c t_p \left[1 + \frac{3b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right] \quad (3.18)$$

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

$$V_p \geq V_{ke} \quad (3.19)$$

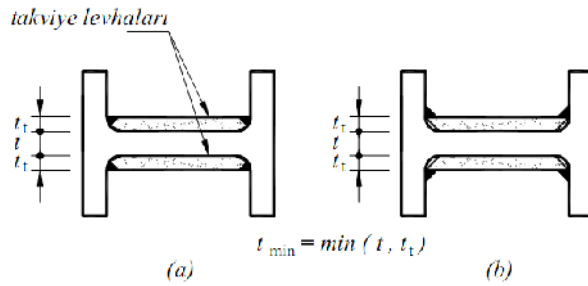
koşulunun sağlanması gerekmektedir. Bu koşulun sağlanmaması halinde, gerekli miktarda takviye levhası kullanılacak veya kayma bölgesine köşegen doğrultusunda berkitme levhaları eklenecektir.

(c) Kolon gövde levhasının ve eğer kullanılmış ise takviye levhalarının her birinin en küçük kalınlığı, t_{min} , (Şekil 3.4) aşağıdaki koşulu sağlayacaktır.

$$t_{min} \geq u / 180 \quad (3.20)$$

Bu koşulun sağlanmadığı durumlarda takviye levhaları ve kolon gövde levhası birbirlerine kaynakla bağlanarak birlikte çalışmaları sağlanacak ve levha kalınlıkları toplamının **Denk.(3.20)**'yi 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 3.4). Bu kaynaklar, takviye levhası tarafından karşılanan kesme kuvvetini güvenle aktaracak şekilde kontrol edilecektir. Bu hesapta, bölüm 3.2.1.3'te verilen kaynak gerilme kapasiteleri kullanılacaktır.



Şekil 3.4 : 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 3.3). Ancak bu kaynağın, süreklilik levhasının kendi düzlemindeki kesme kapasitesine eşit bir kuvveti kolon gövdesine aktaracak boy ve kalınlıkta olması gereklidir.

(c) Kolon başlık kalınlığının

$$t_{cf} \geq 0.54\sqrt{b_{bf}t_{bf}} \quad (3.20a)$$

ve

$$t_{cf} \geq \frac{b_{bf}}{6} \quad (3.20b)$$

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 3.7’de verilmiştir. Ancak en çok iki katlı binalarda, gerekli yerel burkulma kontrollerinin yapılması koşulu ile, bu sınırların aşılmasına izin verilebilir.

2- Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kolonları için bölüm 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 bölüm 3.2.2.2-1(b)’de tanımlandığı şekilde hesaplanan eğilme momenti kapasitesi ve **Denk.(3.18)** ile hesaplanan gerekli kesme kuvveti dayanımı.

(b) **Denk.(3.14a)** ve **Denk.(3.14b)**’de verilen arttırılmış yükleme durumlarından dolayı kolon yüzünde meydana gelen eğilme momenti ve kesme kuvveti.

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

3- Kiriş-kolon birleşim detayında, kolon ve kiriş başlıklarının sınırladığı kayma bölgesi (Şekil 3.3) aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde boyutlandırılacaktır:

(a) Kayma bölgesinin V_{ke} gerekli kesme kuvveti dayanımının hesabında, **Denk.(3.14a)** ve **Denk.(3.14b)**'de verilen arttırılmış deprem yüklemesinden meydana gelen kesme kuvveti ve **Denk.(3.17)** ile hesaplanan kesme kuvvetinden küçük olanı kullanılacaktır.

(b) Kayma bölgesinin V_p kesme kuvveti dayanımı **Denk.(3.18)** ile hesaplanacaktır. Kayma bölgesinin yeterli kesme dayanımına sahip olması için **Denk.(3.19)**'in sağlanması gerekmektedir

(c) Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kayma bölgesi hesabı için bölüm 3.2.2.2-3(c) ve bölüm 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 bölüm 3.2.2.2-4' te verilen kurallar süneklik düzeyi normal çerçeveler için de aynen geçerlidir.

3.2.4 Merkezi ve dışmerkez çelik çaprazlı perdeler

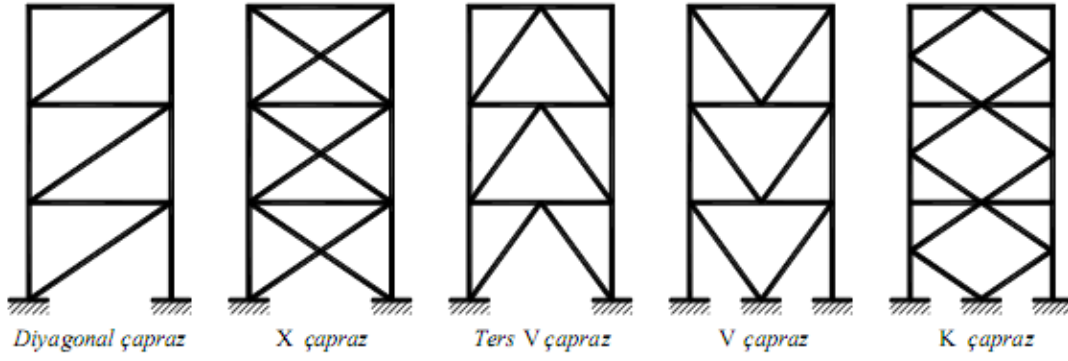
Çelik çaprazlı perdeler, mafsallı birleşimli veya moment aktaran çerçeveler ile bunlara merkezi ve dışmerkez olarak bağlanan çaprazlardan oluşan yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Bu tür sistemlerin yatay yük taşıma kapasiteleri, eğilme dayanımlarının yanında, daha çok veya tümüyle elemanların eksenel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

(a) Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 3.5)

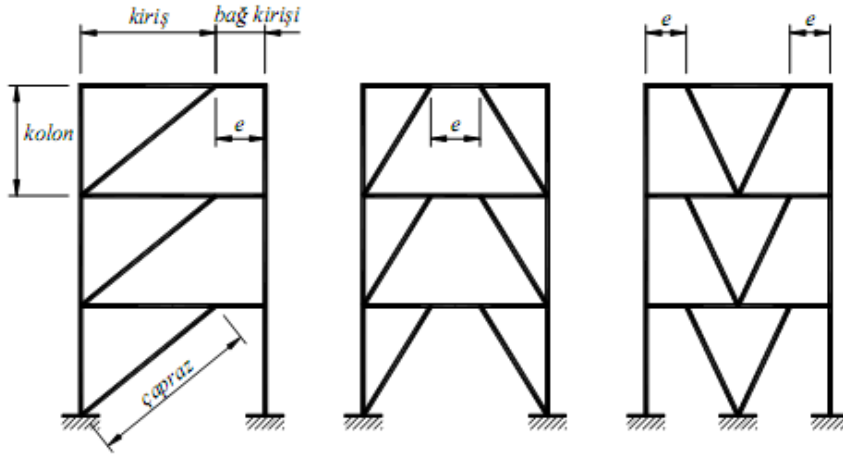
(b) Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler (Şekil 3.6)

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 3.5 : Merkezi çelik çaprazlı perdeler.



Şekil 3.6 : Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler.

3.2.5 Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler

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 3.7’de 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 3.6'daki Ω_o katsayısı ile çarpımını taşıyacak şekilde boyutlandırılmaları halinde bu kural uygulanmayabilir.

3.2.5.2 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.(3.14a)** ve **Denk.(3.14b)**'de verilen arttırılmış yüklemelerden meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

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

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

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

- 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.

4. İMO-02/2008 ÇELİK YAPILAR HESAP KURALLARI VE PROJE ESASLARI

4.1 Özel Boyutlandırma Kuralları

4.1.1 Gövde yüksekliği değişken elemanlar

4.1.1.1 Genel bilgiler

Burada bahis konusu olan elemanlar, bir ucundan diğerine incelen çubuklardır. Bunların aşağıda belirtilen özelliklere sahip olması gerekir:

- a) Enkesitlerinin en az bir simetri eksenini bulunmalı ve eğilme momenti varsa, bu eksen eğilme düzlemine dik olmalıdır.
- b) Başlıkların enkesit alanları eşit ve çubuk boyunca sabit olmalıdır.
- c) Enkesit yüksekliklerinin çubuk boyunca değişimi

$$d = d_o \left(1 + \gamma \frac{z}{l} \right) \quad (4.1)$$

olmak üzere, lineer olmalıdır.

Burada z enkesitin ince uca uzaklığı, l çubuk boyu, d_o ve d_1 sırasıyla ince ve kalın uç kesitlerinin yükseklikleri olup, γ değeri aşağıdaki gibi hesaplanır,

$$\gamma = (d_1 - d_o) / d_o \quad (4.2)$$

ve ayrıca aşağıdaki koşulu da sağlamalıdır:

$$\gamma \leq \begin{cases} 0.268l / d_o \\ 6.0 \end{cases} \quad (4.3)$$

4.1.1.2 Eksenel basınç halinde basınç emniyet gerilmesi

Eksenel basınca maruz değişken kesitli elemanın brüt enkesitindeki basınç emniyet gerilmesi (kN/cm^2) biriminde aşağıdaki gibi hesaplanır:

λ_e etkin narinlik derecesi C_c 'den küçükse:

$$\sigma_{bem,\gamma} = \frac{\left(1.0 - \frac{\lambda_e^2}{2C_c^2}\right) \sigma_a}{\frac{5}{3} + \frac{3\lambda_e}{8C_c} - \frac{\lambda_e^3}{8C_c^3}} \quad (4.4)$$

λ_e etkin narinlik derecesi C_c 'den büyükse:

$$\sigma_{bem,\gamma} = \frac{12\pi^2 E}{23\lambda_e^2} \quad (4.5)$$

Burada

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} \text{ plastik narinlik oranı} \quad (4.6)$$

$$\lambda_{e,y} = \frac{Kl}{i_{0y}} \text{ zayıf eksene dik burkulmada narinlik} \quad (4.7)$$

$$\lambda_{e,x} = \frac{K_l}{i_{0x}} \text{ kuvvetli eksene dik burkulmada narinlik} \quad (4.8)$$

4.1.1.3 Eğilme halinde basınç emniyet gerilmesi

Değişken kesitli eğilmeye maruz elemanlarda en dıştaki liflerde eğilme çekme ve basınç emniyet gerilmesi (kN/cm^2) biriminde aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$\sigma_{B,\gamma} = \frac{2}{3} \left[1.0 - \frac{\sigma_a}{6B\sqrt{\sigma_{s\gamma}^2 + \sigma_{w\gamma}^2}} \right] \sigma_a \leq 0.60\sigma_a \quad (4.9)$$

$$\sigma_{B,\gamma} \leq \sigma_a / 3 \quad (4.10)$$

ise, eğilme basınç emniyet gerilmesi (kN/cm^2) biriminde aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_{B,\gamma} = B\sqrt{\sigma_{s\gamma}^2 + \sigma_{w\gamma}^2} \quad (4.11)$$

Yukarıdaki denklemlerde $\sigma_{s\gamma}$ ve $\sigma_{w\gamma}$ değerleri (kN/cm^2) cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\sigma_{s\gamma} = \frac{8440}{h_s l d_0 / A_b} \quad (4.12)$$

$$\sigma_{w\gamma} = \frac{120000}{(h_w l / i_{T0})^2} \quad (4.13)$$

Bu ifadelerde

$$h_s = 1.0 + 0.0230\gamma \sqrt{ld_0 / A_0} \quad (4.14)$$

$$h_w = 1.0 + 0.00385\gamma \sqrt{l / i_{T0}} \quad (4.15)$$

İfadelerde kullanılan B bir katsayıdır ve aşağıdaki formüllerle hesaplanır:

- a) Yaklaşık olarak eşit serbest uzunluktaki üç komşu gözde maksimum M_2 momenti orta gözde bulunuyorsa ve M_1 momenti üç gözlü eleman kısmının bir ucunda meydana gelen en büyük moment ise, B aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$B = 1.0 + 0.37 \left[1.0 + \frac{M_1}{M_2} \right] + 0.50\gamma \left[1.0 + \frac{M_1}{M_2} \right] \geq 1.0 \quad (4.16)$$

Eğrilikler aynı yönde ise, M_1/M_2 negatif olarak alınacaktır. Ender olan M_1/M_2 'nin pozitif olması halinde ise, bu değerin sıfır olarak alınması tavsiye edilir.

- b) En büyük eğilme gerilmesi σ_{b2} yaklaşık olarak eşit serbest uzunlukta iki komşu gözün kalın ucunda oluşuyorsa ve bu iki gözlü kısmın ince ucunda hesaplanan eğilme gerilmesi σ_{b1} ise, B değeri aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır:

$$B = 1.0 + 0.58 \left[1.0 + \frac{\sigma_{b1}}{\sigma_{b2}} \right] - 0.70\gamma \left[1.0 + \frac{\sigma_{b1}}{\sigma_{b2}} \right] \geq 1.0 \quad (4.17)$$

Eğrilikler aynı yönde ise, $\sigma_{b1} / \sigma_{b2}$ negatif olarak alınacaktır. Eğer iki komşu gözden birinde bir büküm noktası oluşuyorsa, $\sigma_{b1} / \sigma_{b2}$ pozitif alınacaktır. $\sigma_{b1} / \sigma_{b2}$ oranı 0(sıfır) alınmayacaktır.

- c) En büyük eğilme gerilmesi σ_{b2} yaklaşık olarak eşit serbest uzunlukta iki komşu gözün ince ucunda oluşuyorsa ve bu iki gözlü kısmın kalın ucunda hesaplanan eğilme gerilmesi σ_{b1} ise, B değeri aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır:

$$B = 1.0 + 0.55 \left[1.0 + \frac{\sigma_{b1}}{\sigma_{b2}} \right] + 2.20\gamma \left[1.0 + \frac{\sigma_{b1}}{\sigma_{b2}} \right] \geq 1.0 \quad (4.18)$$

b maddesinde $\sigma_{b1} / \sigma_{b2}$ için belirtilen hususlar c maddesinde de geçerlidir. Yukarıdaki formüllerdeki $\gamma = (d_1 - d_0) / d_0$ değeri, maksimum M_2 momentinin bulunduğu göz için hesaplanacaktır.

- d) Değişken enkesitli bir elemanın veya gözün ince ucunda eğilme gerilmesi sıfıra eşitse, B değeri aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır:

$$B = \frac{1.75}{1.0 + 0.25\sqrt{\gamma}} \quad (4.19)$$

Burada $\gamma = (d_1 - d_0) / d_0$ değeri, ince uca komşu göz için hesaplanacaktır.

Öte yandan 4.21 formülündeki $\sigma_{B,\gamma}$ hesaplanırken 4.20 denklemi gözönüne alınacaktır.

Ayrıca yukarda belirtilen şartlara uymayan değişken kesitli elemanlar için de 4.20 denklemi ile hesaplanan değer dikkate alınacaktır:

$$B = 1.0 \quad (4.20)$$

4.1.1.4 Eksenel basınç kuvveti ile momentin aynı anda etkimesi hali

Eğilme ve basınç etkisinde olan değişken kesitli elemanlar ile bunların serbest gözleri, aşağıdaki şartları sağlayacak şekilde boyutlandırılır.

$$\frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{bem,\gamma}} + \frac{C'_m}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{ey}}\right)} \frac{\sigma_{bl}}{\sigma_{B,\gamma}} \leq 1.0 \quad (4.21)$$

$$\frac{\sigma_{a0}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bl}}{\sigma_{B,\gamma}} \leq 1.0 \quad (4.22)$$

Eğer $\sigma_{a0} / \sigma_{bem,\gamma} \leq 0.15$ ise, 4.21 ve 4.22 formülleri yerine 4.23 denklemi kullanılır:

$$\frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{bem,\gamma}} + \frac{\sigma_{bl}}{\sigma_{B,\gamma}} \leq 1.0 \quad (4.23)$$

Burada, C'_m bir katsayı olup, aşağıdaki gibi hesaplanır:

- i. Eleman tek eğriliğe ve uçlarda yaklaşık olarak eşit eğilme gerilmeleri meydana getiren uç momentlerine maruz ise:

$$C'_m = 1.0 + 0.1 \left(\frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{ey}} \right) + 0.3 \left(\frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{ey}} \right)^2 \quad (4.24)$$

- ii. Elemanın serbest boyunun ince ucunda eğilme momenti sıfır ise:

$$C'_m = 1.0 + 0.9 \left(\frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{ey}} \right) + 0.6 \left(\frac{\sigma_{a0}}{\sigma_{ey}} \right)^2 \quad (4.25)$$

4.2 Özel Tasarım Problemleri

4.2.1 Yorulma

Sanayi yapılarında, kren yolları ve bunları taşıyan elemanlar ile birleşimleri, makina platformlarını taşıyan çelik taşıyıcı sistemlerin elemanları ve birleşimleri, yüksek gerilim hatlarının direkleri, antenler ve bacalar yorulma gözönüne bulundurularak boyutlandırılmalıdırlar.

Yorulma, gerilmenin yeterli sayıda değişiminden sonra “gevrek kırılma” şeklinde ortaya çıkar.

Basınçtan çekmeye geçen gerilme değişimlerinde gerilme aralığı, en büyük çekme ve basınç gerilmesi değerlerinin mutlak değerlerinin toplamı alınarak hesaplanır.

Kayma gerilmesi halinde ise gerilme aralığı, verilen noktada birbirine ters yöndeki en büyük kayma gerilmelerinin mutlak değerlerinin toplamıdır.

4.2.1.1 Yükleme durumları; Taşıyıcı elemanların ve detayların tipi ve yeri

Tekrarlı yükler etkisindeki taşıyıcı elemanların ve birleşimleri boyutlandırılmasında; gerilme tekrar sayısı, beklenen gerilme aralığı, taşıyıcı elemanın ve birleşimin tipi ve yeri göz önünde tutulmalıdır.

Yükleme durumları Çizelge 4.1’ e göre sınıflandırılacaktır. Taşıyıcı elemanın tipi ve yeri Çizelge 4.3’e göre sınıflandırılacaktır.

4.2.1.2 İzin verilen gerilme aralığı

En büyük gerilme aralığı Çizelge 4.2’de verilen sınır değerleri (izin verilen gerilme aralığını) aşmayacaktır.

Çizelge 4.1 : Yükleme tekrar sayısı.

Yükleme Durumu	Yükleme tekrar sayısı	
	Bu değerden	Bu değere
1	20.000 ^{a)}	100.000 ^{b)}
2	100.000	500.000 ^{c)}
3	500.000	2.000.000 ^{d)}
4	2.000.000 üzeri	

a) Yaklaşık olarak 25 yıl boyunca günde 2 tekrara karşı gelir.

b) Yaklaşık olarak 25 yıl boyunca günde 10 tekrara karşı gelir.

c) Yaklaşık olarak 25 yıl boyunca günde 50 tekrara karşı gelir.

d) Yaklaşık olarak 25 yıl boyunca günde 200 tekrara karşı gelir.

Çizelge 4.2 : İzin verilen gerilme aralığı ve karşı gelen yorulma kategorisi.

Gerilme Kategorisi	Yükleme Durumu (kN/cm ²)			
	1	2	3	4
A	43.44	25.51	16.90	16.55
B	33.78	20.00	12.70	11.03
B'	26.89	15.86	10.34	8.27
C	24.13	14.48	8.96	6.89
D	19.31	11.03	6.89	4.83
E	15.17	8.96	5.52	3.45
E'	11.03	6.21	4.14	2.07
F	10.34	8.27	6.21	5.52

Çizelge 4.3 : Gerilme kategorisi sınıflandırılması (malzeme tipi ve yeri).

Genel Koşullar	Hal	Gerilme Cinsi ^{a)}	Gerilme Kategorisi
İşlenmemiş Malzeme	İşlenmemiş ana malzeme: -Haddelenmiş veya temizlenmiş yüzeyli. -1000 vey daha az ANSI pürüzsüzlüğüne sahip olacak şekilde kenarları şalimo alevi ile kesilmiş.	T veya R	A
Yapma Elemanlar	Uygulanan gerilme doğrultusunda tam nüfuziyetli, sürekli küt kaynaklı veya sürekli köşe kaynaklı yapma levhalar veya profiller	T veya R	B
	Uygulanan gerilme doğrultusunda karşılama parçası yerinden alınmamış, tam nüfuziyetli küt kaynaklı veya kısmi nüfuziyetli küt kaynaklı yapma levhalar veya	T veya R	B'
	Kiriş gövdesinde kaynak kenarında veya kaynaklı enine gövde takviye levhalarına komşu başlık levhalarında ana malzeme	T veya R	C
	Kiriş başlığından daha dar, ucu pahlı veya pahsız, bitiminde alın kaynaklı veya kaynaksız, kaynaklı takviye levhalarının ucundaki ana malzeme		
	veya		
	kiriş başlığından daha geniş, bitiminde alın kaynaklı, kaynaklı takviye levhalarının ucundaki ana malzeme :		
	başlık kalınlığı < 20mm	T veya R	E
	başlık kalınlığı > 20mm	T veya R	E'
	Kiriş başlığından daha geniş, bitiminde alın kaynağı bulunmayan, kaynaklı takviye levhalarının ucundaki ana malzeme	T veya R	E'
a) “T” harfi gerilme aralığının çekme bölgesinde olduğunu; “R” ise gerilme aralığının kısmen basınç ve kısmen çekme bölgesinde olduğunu ifade etmektedir.			

5. MATEMATİK MODELİN TANIMI

5.1 Statik Sistem Tanımı

Bu çalışma kapsamında kırıklı çerçeve sistemi değişken kesitli olan bir fabrika yapısının 800 kN kaldırma kapasiteli kren yükleri altında boyutlandırılmasının hadde profillerden oluşturularak tasarlanmış kırıklı çerçeve sistemiyle karşılaştırılması yapılacak ve sonuçlar incelenecektir. Bu araştırma sırasında depreme göre tasarımda 2007 Deprem yönetmeliği (DBYBHY), çelik elemanlarının tasarımında TS 648 ve İMO-02/2008, rüzgar ve kar yükleri ile ilgili TS 498 ve National Building Code (NBCC) of Canada 2005 kriterleri dikkate alınmıştır. Ayrıca hal yapısı boyutlandırılırken bitişiğinde yüksek katlı bir bina bulunduğu kabulü yapılarak rüzgar ve kar yüklemesinde TS 498'e göre daha detaylı olan NBCC 2005 dikkate alınmıştır.

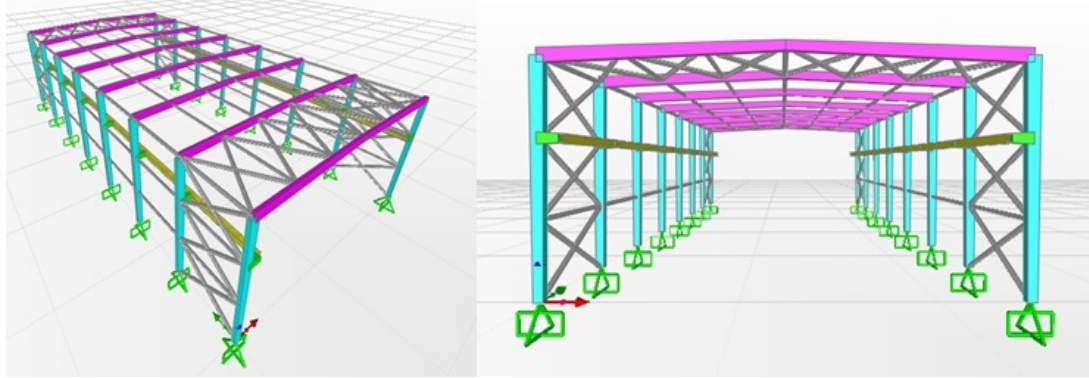
5.2 Sistem Özellikleri

Çatı eğimi 4% olan çelik hal yapısında aşağıdaki bilgiler dikkate alınmıştır:

- Çerçeve açıklığı : 18m
- Yapı yüksekliği : 9m
- Aks aralığı : 5m
- Yapı uzunluğu : 35m
- Kren kapasitesi : 800 kN
- Kapalı alan : 630m²
- Çelik sınıfı : ST 52
- σ_a : 36 kN/cm²
- E : 21000 kN/cm²

5.3 Bilgisayar Modelinin Oluşturulması

Matematik model oluşturulurken yapılan kabullerde kolon kesitlerinin zayıf eksen yönlerinde düşey çaprazlı perde yardımıyla $H/3$ 'lerden tutulmuş olduğu varsayılmıştır. Aynı kabul çatı kirişlerinde de gözönüne alınmış ve kirişler çatı düzlemindeki çaprazlı perdeler ile tutulduğu varsayılmıştır. Kolon ve kirişlerin birleşim noktalarında moment yönünün açıklıktakine göre ters yönde olması sebebiyle yanal burkulma etkilerinin önlenmesi amacıyla alt başlıklarından da ilave olarak aşık ve kuşaklara köşebentler aracılığıyla mesnetlendirilmiştir. Temel mesnet şartları ise çerçeve yönünde ankastre olarak düşünülmüş olup boyuna doğrultuda ise mafsallı olarak tasarlanmıştır. Bu nedenle boyuna doğrultuda etkiyen yatay yüklerin çatı düzlemindeki çaprazlı perde ile birlikte yan duvardaki düşey çaprazlı çelik perdeler tarafından karşılanması hedeflenmiştir. Taşıyıcı sistem oluşturulurken çapraz elemanları boru profillerden teşkil edilmiş, çerçeve kolon ve kirişleri dolu gövdeli yapma değişken kesit olarak tasarlanmıştır. (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 : Matematik modelin perspektif görünüşleri.

5.4 Analiz Yöntemi

Taşıyıcı sistem 3 boyutlu olarak bilgisayarda modellenmiş ve düşey yükler, yatay rüzgar ve deprem yükleri altında analizleri SAP 2000 programı ile gerçekleştirilmiştir. Rüzgar ve kar yükleri NBCC 2005'e göre belirlenerek, deprem etkileri ise DBYBHY 2007 dikkate alınarak SAP 2000 programında uygulanmıştır. Taşıyıcı sistem analizlerinde 76 adet yükleme durumu dikkate alınmıştır. Kren yükünden kaynaklanan yükleme kombinasyonlarında deprem etkisi, deprem sırasında kren arabasının çalışmayacağı düşünülerek uygulanmamıştır. Hesap yöntemi olarak emniyet gerilmesine göre tasarım (EMGT) seçilmiştir.

Analiz sonucu elde edilen kesit tesirleri ile sistemi oluşturan taşıyıcı elemanlar, ilgili yönetmelik ve standartlara göre ayrı ayrı boyutlandırılmıştır. Boyutlandırma sonucu emniyetli tarafta kalmayan elemanlar, SAP 2000 programı ile tekrar analiz edilerek kontrol edilmiştir. Bu döngü, statik modelden elde edilen kesit tesirlerinin hesaplar sonucu güvenli tarafta kalmasına kadar devam ettirilmiştir. Kesit hesaplarının tamamlanmasından sonra görece kat ötelemeleri ve sehimlerin, sınırlamalar dahilinde olup olmadığı irdelenmiş ve gerekirse kesit veya mesnet şartlarında iyileştirmeye gidilmiştir.

5.5 Tasarım Kriterleri

Hadde profilli ve değişken kesitli çerçeve tasarımında yapı çeliği olarak ST 52 çelik sınıfı kullanılmıştır. Çelik yapı malzeme özellikleri, bölüm 3.2.1.1’de tanımlanmıştır. TS 648 Çelik Yapılar standardına göre ST 52 yapı çeliğinin akma gerilmesi $\sigma_a=36 \text{ kN/cm}^2$, elastisite modülü $E=21000 \text{ kN/cm}^2$ olarak belirlenmiştir. Yapının tek katlı olması sebebiyle çatı döşemesi rijit diyafram oluşturmadığından taşıyıcı sistemde A2 türü düzensizlik bulunmaktadır. Bu bağlamda, DBYBHY 2007 madde 2.3.2.2’ye uygun olarak (x) yönündeki deprem etkileri altında çerçeveler birbirinden bağımsız hesaplanacak ve (y) yönündeki deprem etkilerinin, bu doğrultudaki çatı düzlemi ve yan duvar düşey düzlem çapraz perdelere güvenle aktarıldığı hesapla doğrulanacaktır.

Ölü, hareketli ve deprem yüklerinden kaynaklı yapıda oluşan iç kuvvetler, aşağıdaki gibi sınıflandırılacaktır;

D: Ölü yükler

S: Kar yükü

E: Deprem yükü (diğer doğrultunun da %30’unun etkitildiği)

W: Rüzgar yükü

şeklinde sıralanmaktadır. Bu yükler altında oluşturulan yükleme kombinasyonları ise aşağıdaki gibidir;

D	(1 adet yükleme)
D+S	(1 adet yükleme)
D+S ± W/2	(4 farklı yükleme)
D+S/2 ± W	(4 farklı yükleme)
0.9D ± E/1.4	(2 farklı yükleme)

$D+S \pm E/1.4$	(2 farklı yükleme)
$D \pm W$	(4 farklı yükleme)
$D \pm E/1.4$	(2 farklı yükleme)

Dolayısıyla 8 adet yükleme durumuna toplam 20 yükleme kombinasyonuna ek olarak kren yüklerinden kaynaklanan kombinasyonlar da eklenecektir. Bunlar deprem sırasında kren arabasının çalışmadığı varsayımı kabul edildiğinden toplam 56 adettir. Sistemin statik analizinde kullanılan toplam kombinasyon sayısı ise $20+56=76$ adettir.

Bölüm 3.2.1.1-5,6 ile 3.2.1.2 uyarınca Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6 dikkate alınarak arttırılmış deprem yüklemelerine göre birleşimler kontrol edilmiş ve EMGT'ye göre hareketli yüklerden kaynaklanan emniyet gerilmesi %15, deprem yüklerinden kaynaklanan emniyet gerilmesi ise %33 ile arttırılmıştır. Birleşim ve eklerin tasarımında ise her iki durum için emniyet gerilmesi, %15 arttırılmış değerini geçemeyecektir. (9)

5.5.1 Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılmasında dikkate alınan hususlar

Taşıyıcı sistemin statik analizinde, her bir çerçeve kendi içinde moment aktaran bir sistem olarak dikkate alınmıştır. Bu yöndeki yatay kuvvetlerin zemine aktarılabilmesi için çerçeve kolonu ayağı ankastre olarak teşkil edilmiştir. Çerçeve düzlemine dik doğrultuda mafsallı olan kolon ayakları nedeniyle çatı düzleminde ve yan duvar düzleminde çelik çaprazlı perdeler tasarlanmıştır. Yatay yüklerden kaynaklanan zorlanmaları (x) yönündeki çerçeve, (y) yönünde olanları ise yapı boyunca çatı düzleminde ve yan duvar düzleminde oluşturulan çaprazlı perdeler karşılayacaktır. Krenin çalışmasıyla oluşan etkiler, kren konsolundan kolonlara aktarılmaktadır. Basınca çalışan çelik çaprazlı perde elemanları için her doğrultuda eğilme rijitliği aynı olan boru kesitler tercih edilmiştir. Taşıyıcı sistem normal sünek olarak tasarlanmıştır.

5.5.1.1 Düşey yükler

Düşey yükler hesaplanırken çatı ve cephe kaplaması olarak tercih edilen çift kat izolasyonlu sandviç panelin ağırlığı, aşıkların ağırlığı, cephe elemanlarının ağırlığı ve kar yükü hesaba katılmıştır. Kar yükü belirlenmesinde TS 498'e göre biraz daha

kapsamlı yaklaşımda bulunan NBCC 2005 standardındaki kriterler kullanılmıştır. Çatı ve cephe kaplamalarında 915R3 tipi 40mm sandviç panel kullanılmıştır. (10)

Ön yüklemelerde kabul edilen düşey yükler aşağıda belirtilmiştir;

Çatı kaplaması :	50N/m ²
Aşıklar :	80N/m ²
Kar yükü (0-33.5m aksları arası) :	900N/m ²
Kar yükü (33.5-35m aksları arası) :	1680N/m ²
Cephe kaplaması :	50N/m ²
Kren kapasitesi :	800kN

a. Kar yükü değeri hesaplanırken kullanılan yöntemler

Kar yükü (S) NBCC 2005'te aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

$$S = I_s [S_s (C_b C_w C_s C_a) + S_r] \quad (5.1)$$

I_s = Normal ise ULS:1.0 ve SLS:0.9'dur. Bu çalışmada emniyet gerilmesi hesabı kullanılacağı için 0.9 değeri önem faktörü olarak kullanılacaktır. (11)

Yapının deniz seviyesinden yüksekliği 200m'den daha az olduğu için kar yükü $S_s = 750\text{N/m}^2$ olarak alınmıştır. (12)

Eğer $l_c \leq 70$ m ise çatı kar yükü faktörü $C_b = 0.8$ olacaktır. (11)

$$l_c = 2w - \frac{w^2}{l} \quad (5.2)$$

$$l_c = 2 \times 18 - \frac{18^2}{35} = 26.74\text{m} \rightarrow C_b = 0.8$$

l_c : karakteristik uzunluk

w : yapının planda en küçük uzunluğu

l : yapının planda en büyük uzunluğu

$C_w = 1.0$ (rüzgara maruz kalma faktörü) NBCC 2005 bölüm A2.3'te belirtildiği gibi.

C_a : eğim faktörü aşağıdaki şekildeki gibi hesaplanır;

$$F = 0.35 \left[\gamma l_c / S_s - 6 \left(\gamma h_p / S_s \right)^2 \right]^{0.5} + C_b \quad (5.3)$$

γ : Kar özgül ağırlığı (kN/m³)

h_p : Bitişindeki yapının parapet yüksekliği (m)

F: Bir katsayı

olmak üzere aşağıdaki gibi bulunur;

$$F = 0.35 \left[3 \times 26.74 / 0.75 - 6 \left(3 \times 1 / 0.75 \right)^2 \right]^{0.5} + 0.8 \rightarrow 1.96 \quad (5.3)$$

NBCC 2005 uyarınca,

$$C_{a(0)} = F / C_b \quad (5.4a)$$

ya da

$$C_{a(0)} = \frac{\gamma h}{C_b S_s} \quad (5.4b)$$

değerlerinden küçük olanı alınır, şöyle ki;

$$C_{a(0)} = 1.96 / 0.8 \rightarrow 2.45$$

$$C_{a(0)} = \frac{3 \times 9.5}{0.8 \times 0.75} \rightarrow 47.5$$

$$C_{a(0)} = 2.45 \text{ olur.}$$

S_r : Yağmur yükü 400 N/m^2 olarak alınmıştır. (11)

Yukarıdaki parametreler kullanılarak ve hal yapısının yanındaki yüksek ofis binasının bulunduğu kabul edilerek, hal yapısının çatısında biriken kar yükü hesabı denklem 5.1 kullanılarak aşağıdaki gibi yürütülür;

$$S = 0.9 \left[750 (0.8 \times 1 \times 1 \times 2.45) + 400 \right] \rightarrow 1680 \text{ N} / \text{m}^2$$

Birikme olmayan bölümde ise ;

$$S = 0.9 \left[750 (0.8 \times 1 \times 1 \times 1) + 400 \right] \rightarrow 900 \text{ N} / \text{m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Kar birikmesinin (x_d) ne kadarlık mesafeyi kaplayacağı ise aşağıdaki ifadeler kullanılarak hesaplanır;

$$x_{d(\min)} = 5(h - C_b S_s / \gamma) \quad (5.5a)$$

ya da

$$x_{d(\min)} = 5(S_s / \gamma)(F - C_b) \quad (5.5b)$$

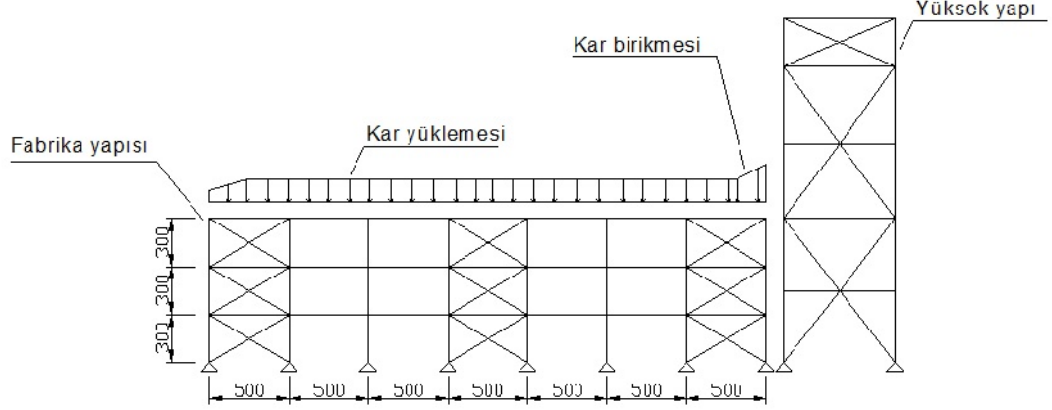
Bu değerlerden küçük olanı hesaplarda dikkate alınır. Bu durumda birikme mesafesi için denklem (5.5a) ve (5.5b) kullanılarak aşağıdaki sonuç elde edilir;

$$x_{d(\min)} = 5(9.5 - 0.8 \times 0.75 / 3) \rightarrow 46.5 \text{ m}$$

$$x_{d(\min)} = 5(0.75 / 3)(1.96 - 0.8) \rightarrow 1.45 \cong 1.5 \text{ m}$$

değeri daha küçük olduğundan 35m boyu olan hal yapısının bitişiğindeki yapıdan itibaren 1.5m'lik bölümünde kar

birikmesi olur ve burada kullanılacak yükün değeri ise 1680N/m^2 'dir. Diğer bölümlerde normal kar yüklemesi olduğundan dolayı buralarda kullanılacak kar yükü değeri ise 900N/m^2 'dir.



Şekil 5.2 : Fabrika modelindeki kar birikmesini gösteren yükleme.

b. Kren kirişinden gelen yüklerin sisteme etkitilmesinde kullanılan yöntemler

Bu çalışmada 800kN taşıma kapasiteli kren kirişin tam kapasiteyle çalıştığı sırada oluşturduğu maksimum ve minimum mesnet reaksiyonları ABUS Crane Systems broşüründen alınıp (13) kren kirişinin kenar açıklıklarına, orta açıklıklarına, iki aks arasına denk gelecek şekilde ve ayrı ayrı iki açıklığa denk gelecek şekilde maksimum ve minimum düşey ve yatay kuvvetler etkitilerek sistemin statik çözümü yapılmıştır. Boyuna fren kuvveti ve enine çarpma kuvveti sırasıyla R/7 ve R/10 olarak ilgili 76 kombinasyonunda etkitilmiştir. (14)

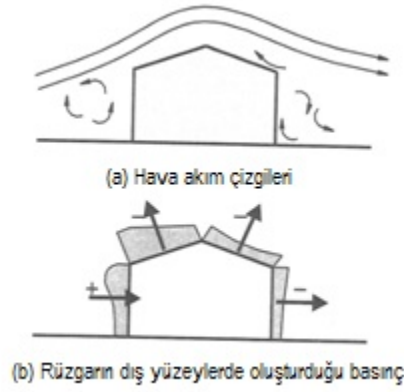
5.5.1.2 Rüzgar yükleri

Matematik modele rüzgar yükleri etkitilirken Canada standardı uygulanmıştır. Canada standardının kar yüklemesinde olduğu gibi rüzgar yüklemesinde de bir çok faktörü hesaba katarak yükleri idealize etmesi, bu standardın tercih edilmesinde etkin rol oynamıştır. NBCC 2005'in getirdiği kurallar ve formüller aşağıda gösterilmiştir.

$$p = I_w q C_e C_p C_g \quad (5.6a)$$

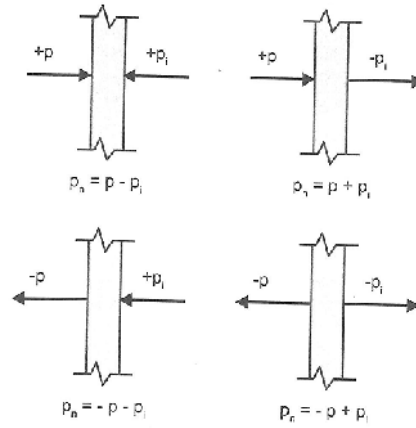
$$p_i = I_w q C_e C_{pi} C_{gi} \quad (5.6b)$$

olmak üzere p-rüzgar yükü emme ve basma şeklinde iki ayrı şekilde ifade edilmiştir. Rüzgarın esiş yönüne göre türbülans hareketini gösteren ve çekme-basınç ilişkilendirilmesi Şekil 5.3 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : Rüzgarın esiş yönüne göre çekme-basınç ilişkisi.

Fabrika yapısının rüzgar modellemesinde cephelerde kısmi boşlukların olduğu düşünülmüştür; bu sebeple denklem 5.6a ve 5.6b birlikte kullanılarak çerçeve elemanlarına aynı anda emme-basınç etkileşimini ifade eden şartlar kullanılmıştır. (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : Rüzgar yükü emme basma etkileri.

Emniyet gerilmesine göre boyutlandırma hesaplarında “ I_w ” önem faktörü olup, her koşulda 0.75 olarak kabul edilecektir. (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 : Rüzgar yükü için önem katsayısı.

Önem Kategorisi	Önem Faktörü, I_w	
	SDGB	EMGB
Düşük	0.8	0.75
Normal	1.0	0.75
Yüksek	1.15	0.75
Kasırga	1.25	0.75

ULS: Sınır durumlara göre boyutlandırma (SDGB), SLS: Emniyet gerilmesine göre boyutlandırma (EMGB)

“ q ” ise, coğrafi bölgelere göre rüzgarın hızına bağlı olarak değişen rüzgar basınç değeridir. Bu tez kapsamında değeri 800N/m^2 olarak kabul edilmiştir. (12) “ C_e ” rüzgara maruz kalma faktörü ise, NBCC 2005 Canada standardı bölüm B madde 3.3’te

$$\left(\frac{h}{10}\right)^{0.2} \quad (5.7)$$

ile

$$0.7\left(\frac{h}{12}\right)^{0.3} \quad (5.8)$$

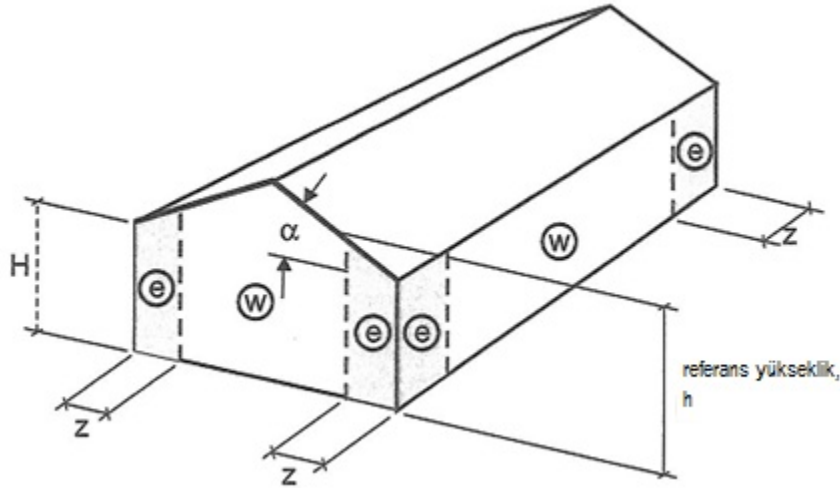
ifadelerinin ortalaması olarak uygulanmaktadır. (11)

Burada “ h ” diye ifade edilen fabrikanın mahya noktası hariç faydalı yüksekliğidir. Denklem 5.7 ve 5.8 kullanılarak rüzgara maruz kalma faktörü C_e ;

$$C_e = \frac{\left(\left(\frac{9}{10}\right)^{0.2} + 0.7\left(\frac{9}{12}\right)^{0.3}\right)}{2} = 0.84 \text{ olur.}$$

“ $C_p C_g$ ” basınç katsayıları ise, NBCC 2005 standardında ayrıntılı bir şekilde ifade edilmiştir. Bu standartta çerçeve kesitinde rüzgar sebebiyle kolonlara ve kirişlere etkiyen basınç katsayıları farklı olup bu çerçevenin dış tarafında teşkil edilmiş ikinci derece taşıyıcı elemanlar (yatay kuşaklar, aşıklar) için başka bir basınç katsayısı, kaplamalara etkiyen rüzgar yükleri için başka bir katsayı, bu yüklerin kenar aks veya iç akslarda olma durumuna göre başka bir katsayı ve ne kadarlık bir bölgenin bahsedilen rüzgar yüküne maruz kaldığını belirten formüllerle detaylı bir şekilde açıklanmıştır. NBCC 2005’te rüzgar katsayıları hesaplanması için yapılar üç (3) ayrı şekilde sınıflandırılmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan yapı sınıfında büyük kapı

açıklıkları olması sebebiyle, fakat şiddetli kasırga rüzgar etkileri sırasında kapanabilen bir kapıya da sahip olması sebebiyle, yapı sınıfı iki (2) olarak belirlenmiştir. Şekil 5.5 'te, Çizelge 5.2'de belirtilen değerlerin fabrika modelinde kullanılacak emme ve basınç katsayılarının nerelerde kullanıldığı belirtilmiştir.



Şekil 5.5 : Kolon etkileşim bölgeleri.

Bu katsayıların en olumsuz koşulları oluşturan durumları kullanılarak denklem (5.6a) ve (5.6b)'de belirtilen “ p ” rüzgar yükü belirlenmiştir.

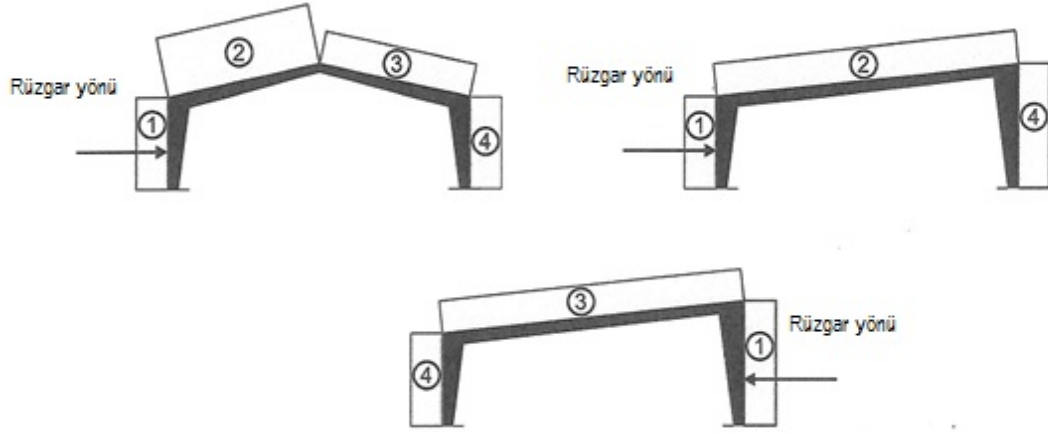
Çizelge 5.2 : Çerçeve kolonları yük değerleri.

Yapı kategorisi		w		e	
	$C_p C_g$	+0.75	-0.55	+1.15	-0.80
(3)	$C_p C_g + C_{pi} C_{gi}$	+2.15	-1.95	+2.55	-2.20
(2)	$C_p C_g + C_{pi} C_{gi}$	+1.65	-1.15	+2.05	-1.40
(1)	$C_p C_g + C_{pi} C_{gi}$	+1.05	-0.55	+1.45	-0.80

Çizelge 5.2’de ön cephe ve yan duvar kolonlarına dik etkiyen rüzgar yükleri dikkate alınmaktadır. Çatı kirişleri için ise Çizelge 5.3’de tanımlanan rüzgar yükleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.3 : 5°'den düşük çerçeve kirişi yük değerleri.

	1	2	3	4	
$C_p C_g$	+1.15	-2.00	-1.00	-0.80	Kaplama
$C_p C_g$	+0.95	-1.65	-0.85	-0.68	Aşık, kuşak vb.
$C_p C_g$	+0.75	-1.30	-0.70	-0.55	Taşıyıcı sistem



Şekil 5.6 : Çerçeve rüzgara maruz kalan elemanların gösterimi.

Çizelge 5.3'te belirtilen katsayılar, Şekil 5.6 'ten alınarak ilişkilendirilmiştir. Çizelge 5.1'den, EMGB için $I_w=0.75$ olarak alınmış ve $q=0.80 \text{ kN/m}^2$ olarak seçilmiştir. $C_e=0.84$ olarak saptanmış ve yapı sınıfı "2" kabul edildiğinden dolayı Şekil 5.5 'te "w" olarak tanımlanan kalkan duvar cephesinde ve diğer cephede $C_p C_g$ ve $C_{pi} C_{gi}$ değerleri emme ve basma için sırasıyla (1.65) ve (-1.15) ve "e" olarak tanımlanan bölümlerde ise $C_p C_g$ ve $C_{pi} C_{gi}$ değerleri emme ve basma için sırasıyla (2.05) ve (-1.40) alınacaktır. Bu durumda p-rüzgar yükü aşağıdaki gibi hesaplanır;

"w" bölümlerinde,

$$p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times 1.65 = 832 \text{ N / m}^2 \quad (5.6a)$$

$$p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times (-1.15) = -584 \text{ N / m}^2 \quad (5.6b)$$

"e" bölümlerinde,

$$p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times 2.05 = 1040 \text{ N / m}^2 \quad (5.6a)$$

$$p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times (-1.40) = -704 \text{ N / m}^2 \quad (5.6b)$$

Çatı kirişleri ile ilgili Çizelge 5.3'ün son satırından yararlanıldığında çerçeve kolonu ve kirişleri için $C_p C_g$ değeri aşağıdaki gibi alınarak elde edilmiştir.

$$p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times 0.75 = 384 \text{ N / m}^2 \text{ (1 nolu eleman)} \quad (5.6a)$$

$$* p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times (-1.3) = -656 N / m^2 \text{ (2 nolu eleman)} \quad (5.6a)$$

$$* p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times (-0.7) = -360 N / m^2 \text{ (3 nolu eleman)} \quad (5.6a)$$

$$p = 0.75 \times 800 \times 0.84 \times (-0.55) = -280 N / m^2 \text{ (4 nolu eleman)} \quad (5.6a)$$

Yukarıdaki formüllerde görüldüğü gibi yan kolonlar için kullanılan ifadelerde, çatı kirişleri için hesap yapılırken çerçeve yan kolonlarına etkiyen yükler daha az çıkmaktadır. Bu durumda “*” ile ifade edilen değerler Çizelge 5.3 uyarınca çatı kirişleri için kullanılırken, Çizelge 5.2’de verilen ifadeler ise çerçeve kolonları için kullanılmıştır.

5.5.1.3 Deprem yükleri

Boyutlandırması yapılacak tek katlı çelik hal binası, birinci derece deprem bölgesinde, Z2 yerel zemin sınıfı üzerinde olup fabrika olarak kullanılacağı düşünülmüştür. Yapının taşıyıcı sistemi uzunluğu doğrultusunda çelik çaprazlı perdelerden oluşmakta, diğer doğrultuda ise kırıklı rijit çerçeveden oluşmaktadır. Yapının tasarımı sırasında normal sünek davranış göstereceği kabulü yapılarak boyutlandırma hesabı yapılmıştır. Bu bağlamda ilgili parametreler için deprem karakteristikleri ve DBYBHY 2007 maddeleri aşağıda belirtilmiştir.

- Etkin yer ivmesi katsayısı (birinci derece deprem bölgesi)

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

- Bina Önem katsayısı

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

- Spektrum karakteristik periyotları (Z2 yerel zemin sınıfı için)

$$T_A = 0.15 \text{ sn}$$

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

- Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$$R_x = 5$$

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

Yapının deprem yükleri altında analizi yapılırken “mod birleştirme yöntemi” esas alınmıştır. Elde edilen modal kütle katılım oranları Çizelge 5.4’te belirtilmiştir.

Çizelge 5.4 : Modal kütle katılım oranları.

Mod	Periyot (sn)	UX (%)	UY (%)	UZ (%)	Toplam UX (%)	Toplam UY (%)	Toplam UZ (%)
1	0,299	0,688	0,000	0,000	0,688	0,000	0,000
2	0,282	0,002	0,000	0,000	0,690	0,000	0,000
3	0,277	0,000	0,000	0,092	0,690	0,000	0,092
4	0,273	0,000	0,005	0,001	0,690	0,005	0,094
5	0,272	0,126	0,000	0,000	0,816	0,005	0,094
6	0,265	0,000	0,001	0,140	0,816	0,006	0,234
7	0,258	0,000	0,000	0,000	0,816	0,006	0,234
8	0,258	0,000	0,000	0,038	0,816	0,006	0,271
9	0,249	0,000	0,005	0,000	0,816	0,011	0,271
10	0,218	0,000	0,003	0,006	0,816	0,014	0,278
11	0,207	0,000	0,002	0,016	0,816	0,016	0,294
12	0,204	0,000	0,000	0,000	0,816	0,016	0,294
13	0,195	0,000	0,000	0,000	0,816	0,016	0,294
14	0,116	0,008	0,000	0,000	0,824	0,016	0,294
15	0,115	0,004	0,000	0,000	0,828	0,016	0,294
16	0,115	0,010	0,000	0,000	0,838	0,016	0,294
17	0,113	0,000	0,000	0,000	0,838	0,016	0,294
18	0,109	0,000	0,000	0,000	0,838	0,016	0,294
19	0,108	0,000	0,706	0,001	0,838	0,722	0,295
20	0,108	0,000	0,000	0,000	0,838	0,722	0,295
21	0,106	0,000	0,002	0,000	0,838	0,723	0,295
22	0,105	0,000	0,004	0,000	0,838	0,727	0,295
23	0,105	0,000	0,043	0,006	0,838	0,770	0,301
24	0,105	0,000	0,001	0,000	0,838	0,771	0,301
25	0,105	0,000	0,000	0,000	0,838	0,771	0,302
26	0,105	0,000	0,002	0,001	0,838	0,773	0,303
27	0,105	0,000	0,000	0,000	0,838	0,773	0,303
28	0,105	0,000	0,000	0,000	0,838	0,773	0,303
29	0,105	0,000	0,000	0,000	0,838	0,773	0,303
30	0,102	0,000	0,000	0,000	0,838	0,773	0,303
31	0,101	0,000	0,000	0,000	0,838	0,773	0,303
32	0,101	0,001	0,000	0,000	0,840	0,773	0,303
33	0,101	0,010	0,000	0,000	0,850	0,773	0,303
34	0,099	0,000	0,004	0,000	0,850	0,777	0,303
35	0,099	0,000	0,000	0,000	0,850	0,777	0,303
36	0,097	0,000	0,000	0,000	0,850	0,777	0,303
37	0,097	0,002	0,000	0,000	0,852	0,777	0,303
38	0,095	0,004	0,000	0,000	0,856	0,777	0,303
39	0,086	0,004	0,000	0,000	0,860	0,777	0,303
40	0,081	0,006	0,000	0,000	0,867	0,777	0,303
45	0,081	0,001	0,000	0,000	0,874	0,777	0,303
50	0,080	0,001	0,000	0,000	0,875	0,777	0,303
55	0,080	0,000	0,000	0,000	0,876	0,777	0,303
56	0,080	0,000	0,000	0,000	0,876	0,777	0,303
57	0,079	0,000	0,000	0,000	0,876	0,777	0,303
58	0,079	0,000	0,000	0,000	0,877	0,777	0,303
59	0,075	0,000	0,000	0,000	0,877	0,777	0,303
60	0,061	0,000	0,015	0,003	0,877	0,793	0,306
65	0,059	0,000	0,000	0,002	0,877	0,795	0,356
66	0,052	0,000	0,061	0,003	0,877	0,855	0,359
67	0,049	0,000	0,062	0,005	0,877	0,917	0,363
68	0,046	0,000	0,011	0,003	0,877	0,928	0,367
69	0,045	0,000	0,000	0,002	0,877	0,928	0,368
70	0,044	0,000	0,000	0,000	0,877	0,928	0,369
75	0,042	0,017	0,000	0,000	0,909	0,934	0,369
76	0,042	0,005	0,000	0,000	0,914	0,934	0,369
77	0,041	0,010	0,000	0,000	0,923	0,934	0,369
78	0,041	0,000	0,000	0,000	0,923	0,934	0,369

Deprem yüklerinden elde edilen taban kesme kuvvetleri eşdeğer statik yöntemle hesaplanan değerleriyle kıyaslanarak irdelenmiştir. Şayet mod birleştirme yönteminde oluşan toplam taban kesme kuvvetleri, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile oluşan toplam taban kesme kuvvetlerinin 0.90 katından az olur ise, aradaki oranın tamamlanması için β katsayısı ile çarpılacaktır. Eşdeğer statik deprem yükü ve Mod birleştirme yöntemine göre oluşan toplam kat kesme kuvvetleri Çizelge 5.5'te belirtilmiştir.

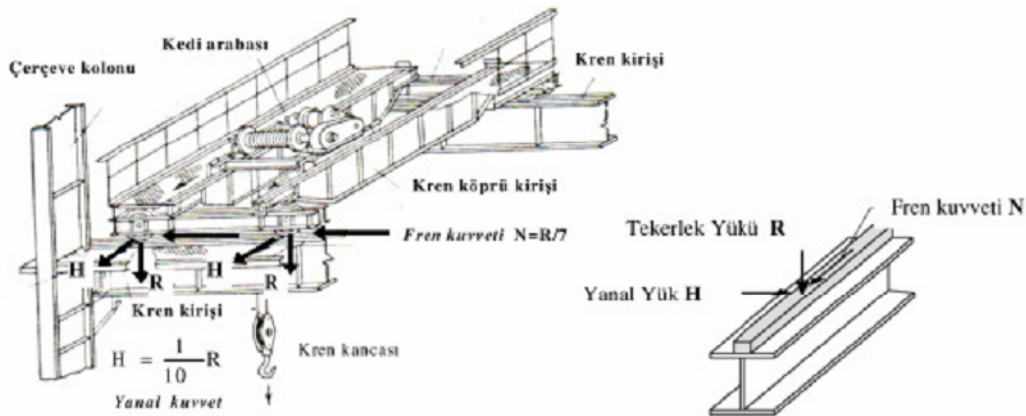
Çizelge 5.5 : Toplam taban kesme kuvvetleri.

Deprem yükü	X yönü(kN)	Y yönü(kN)	Z yönü(kN)
Eşdeğer EQX	207	0	0
Eşdeğer EQY	0	259	0
Modal EQX-Resp	150	46.3	0
Modal EQY-Resp	45	154.4	0

Yukarıdaki tanım uyarınca β_x ve β_y katsayıları sırası ile $207 \times 0.90 / 150 = 1.25$ ve $259 \times 0.90 / 154.4 = 1.5$ olarak belirlenmiş ve SAP 2000 modeline etkilmiştir.

5.5.1.4 Kren yükleri

Bu çalışmada fabrika yapısı içerisinde bir adet 800 kN taşıma kapasiteli kren bulunmaktadır. Kren etkilerinden kaynaklanan kuvvetler Şekil 5.7 'te belirtilmiştir.



Şekil 5.7 : Kren köprüsünden kren kirişine etkiyen kuvvetler.

1. Kren düşey tekerlek yükleri

Kren düşey tekerlek yük değerleri kren üretici firmanın ürün tablolarından alınmıştır. Elde edilen reaksiyon kuvvetleri SAP2000 modeline kren yük tanımlamasıyla etkitilmiştir.

2. Kren yatay yan kuvvetleri

İki köprü yolundan her birinden, hareket doğrultusuna dikey olarak kren yolu kirişi ve rayına birlikte yatay olarak tesir eden ve en büyük tekerlek basıncının 1/10'una eşit olarak alınmış olup matematik modele uygulanmıştır. (14)

3. Kren boyuna fren kuvvetleri

Kren yolu kirişi hareketi sırasında meydana gelecek fren kuvvetleri, kren kirişi doğrultusunda meydana gelen en yüksek tekerlek basıncının 1/7'si oranında matematik modele tatbik edilmiştir. (14)

6. ÇELİK TAŞIYICI KIRIKLI ÇERÇEVE SİSTEMLERİN ANALİZİ

Bölüm 5’te tanımlanan yapının matematik modelinin SAP 2000 paket programına uyarlanıp dış yükler altında çözülmesiyle elde edilen kesit zorları, bu bölümde irdelenerek kesitler tayin edilmiştir.

6.1 Çerçeve Kolonlarının Hesabı

SAP 2000 programında elde edilen kesit zorları Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 : Çerçeve kolonları alt-üst uçları ve konsol hizasındaki kesit zorları.

Eleman tipi	Yükleme durumu	Kolon Yüksekliği (cm)	Pmax basınç (kN)	Pmax çekme (kN)	Mx max (kNcm)	My max (kNcm)	Vx max (kN)
Kolon	Ölü	0	-90	~0	8350	~0	30
Kolon	Ölü	900	-60	~0	18200	~0	30
Kolon	Eiy*	0	-780	930	20250	~0	55
Kolon	Eiy*	900	-70	~0	18200	~0	50
Kolon	Yor (Eiy)**	0	-1347	1050	42900	~0	140
Kolon	Yor (Eiy)**	600	-880	~0	51450	~0	140
Kolon	Yor (Eiy)**	900	-70	~0	19100	~0	75
Kolon	Dep	0	-780	950	18400	~0	40
Kolon	Dep	900	-70	~0	19100	~0	40

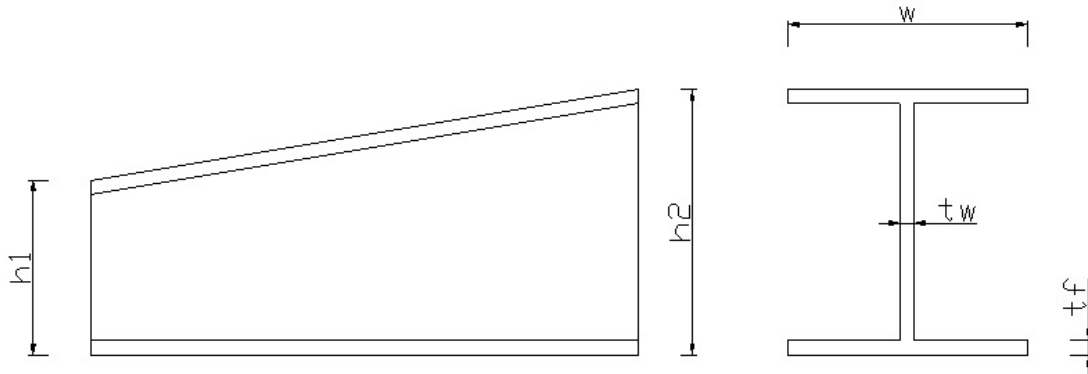
“*” Esas ilave yükler, “**” Yorulma etkisinin ayrıca düşünüldüğü esas ilave yükler

Çizelge 6.1’de belirtilen kesit zorları her bir yüklenme durumunda ayrı ayrı gözönüne alınmış olup, bunların içerisinde kolon kesitinin belirlenmesinde etkin rol oynayan yüklenme durumu, kren kirişinin çalışması ile yorulmadan kaynaklanan yüklenme durumu olmuştur. Bu bölümde sadece bu en elverişsiz kesit zorları dikkate alınarak yürütülen kesit hesapları detaylı açıklanacaktır. Çizelge 6.2’de bu elverişsiz yüklere göre değişken kesit ve hadde profili olarak boyutlandırılan kesitler görülmektedir.

Çizelge 6.2 : Yükleme durumlarına göre yeterli enkesit değerleri.

Yükleme Durumu	Profil Tipi	Profil (cm)					Ağırlık (kg/m)
		h_1	h_2	w	t_f	t_w	
Ölü	Değişken	25	67	20	1	0.6	52
Eiy	Değişken	41.2	81.2	26	1.1	0.7	77
Yor	Değişken	56	80	36	1.5	1	136
Dep	Değişken	51	70	24	1	0.7	70
Ölü	Hadde	HEA 280					76.4
Eiy	Hadde	HEA 340					105
Yor	Hadde	HEB 450					171
Dep	Hadde	HEA 320					97.6

Hesabı yapılacak dolu gövdeli değişken I- kesitin ön tayininde kullanılan geometrik parametreler Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 : Değişken kesit profilde kullanılan parametreler.

Çizelge 6.2 uyarınca boyutlandırmayı yorulma yüklemesi kontrol etmektedir. Bu durumda h_1 - h_2 / w / t_f / t_w olmak üzere değişkenler sırasıyla 56-80/36/1.5/1cm olacak şekilde belirlenerek kesit kontrolleri yapılmıştır. Kesit bilgileri ise Çizelge 6.3’te gösterilmiştir. Değişkenlik oranı ise aşağıda hesaplanmıştır;

$$\gamma = (80 - 56) / 56 = 0.43 \quad (4.2)$$

Ayrıca bu değer aşağıdaki koşulu da sağlamalıdır:

$$\gamma = 0.43 \leq \left\{ \begin{array}{l} 0.268 \times 900 / 56 \\ 6.0 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 4.31 \\ 6.0 \end{array} \right\} \quad (4.3)$$

Çizelge 6.3 : Çerçeve kolonu kesit bilgileri.

Seçilen Kesit	h_1 (cm)	h_2 (cm)	w (cm)	t_f (cm)	t_w (cm)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	W_x (cm ³)	W_y (cm ³)	r_{0x} (cm)	r_{0y} (cm)	A_{kesit} (cm ²)
56-80/36/1.5/1	56	80	36	1.5	1							
	İnce uç					84105	11668	3004	648	22.86	8.51	161
	Kalın uç					170289	11670	4257	648	30.34	7.94	185

6.1.1 Eksenel basınç halinde burkulma emniyet gerilmesi kontrolü

Eksenel basınca maruz kalan değişken enkesitli elemanın brüt enkesitindeki basınç emniyet gerilmesi λ_e etkin narinlik derecesi C_c 'den küçük ise denklem 4.4 gibi, C_c 'den büyük ise denklem 4.5 kullanılarak hesaplanır. Kullanılan ST52 çeliği için $\sigma_a=36$ kN/cm² ve $E=21000$ kN/cm², dir.

C_c plastik narinlik oranı;

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 21000}{36}} = 107 \quad (4.6)$$

$\lambda_{e,y}$ zayıf eksene dik burkulmada ince uçta narinlik;

$$\lambda_{e,y} = \frac{1 \times 300}{8.51} = 36 \quad (4.7)$$

$\lambda_{e,x}$ kuvvetli eksene dik burkulmada ince uçta narinlik;

$$\lambda_{e,x} = \frac{1.7 \times 900}{22.86} = 67 \quad (4.8)$$

Bu durumda en küçük narinlik derecesi esas alınacaktır. (7)

$$\sigma_{bem,\gamma}(Eiy) = \frac{\left(1.0 - \frac{36^2}{2 \times 107^2}\right) 36}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times 36}{8 \times 107} - \frac{36^3}{8 \times 107^3}} \times 1.15 = 21.9 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (4.4)$$

Kesitin ince ucunda oluşan basınç gerilmesi ise;

$$f_{a0} \rightarrow \frac{P}{A} = \frac{1347}{161} = 8.4 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$f_{a0} \leq \sigma_{bem,\gamma} \rightarrow 8.4 \leq 21.9 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

6.1.2 Sadece eğilme halinde yanal burkulmada dikkate alınarak basınç emniyet gerilmesinin hesabı

Değişken kesitli eğilmeye maruz elemanlarda eğilmede basınç emniyet gerilmesi denklem 4.9 kullanılarak hesaplanmıştır. Eğer eğilme gerilmesi denklem 4.10'daki şartları sağlar ise denklem 4.11 nihai emniyetli eğilme gerilmesini verecektir. Çalışmada kesit tayin edilirken alınan iç kuvvetler çizelge 6.1'den alınmıştır.

$$\sigma_{B,\gamma}(E\gamma) = \frac{2}{3} \left[1.0 - \frac{36}{6 \times 2.96 \sqrt{3.13^2 + 10.65^2}} \right] \times 36 \times 1.15 = 27.1 \geq 0.60 \times 36 \times 1.15 = 24.8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.9)$$

$$\sigma_{B,\gamma} \leq \sigma_a / 3 \quad (4.10)$$

Denklem 4.10'da verilen koşul sağlanmadığı için emniyet gerilmesi için denklem 4.9 dikkate alınacaktır. Bu durumda eğilmede oluşabilecek maksimum basınç emniyet gerilmesi 27.1 kN/cm² olabilecek iken, 0.6σ_a olarak tanımlanan üst sınırı aştığından dolayı hesaplarda 24.8 kN/cm² dikkate alınmıştır. İnce ve kalın uçta oluşan maksimum eğilme gerilmeleri ise sırasıyla,

$$\sigma_{b,ince} \rightarrow \frac{42900}{3004} = 14.3 \text{ kN/cm}^2 \text{ ve}$$

$$\sigma_{b,kalin} \rightarrow \frac{19100}{4257} = 4.5 \text{ kN/cm}^2 \text{ olur. Ancak kren konsolunun kolona ankastre}$$

bağlanmasından dolayı oluşan maksimum iç kuvveti de dikkate aldığımızda oluşan gerilme ise,

$$\sigma_{b,konsol} \rightarrow \frac{51450}{3836} = 13.4 \text{ kN/cm}^2 \text{ elde edilmiştir. Hesaplanan bu eğilme gerilmesi}$$

değerlerinin hepsi σ_{B,γ}=24.8kN/cm² olan emniyet gerilmesinden küçük olmasından dolayı emniyetle taşınabilecektir. Denklem 4.9'daki B değeri denklem 4.18'e göre çözülüp aşağıda belirtilmiştir.

$$B = 1.0 + 0.55 \left[1.0 + \frac{4.5}{14.3} \right] + 2.20 \times 0.43 \times \left[1.0 + \frac{4.5}{14.3} \right] = 2.96 \geq 1.0 \quad (4.18)$$

Elde edilen bu “B” değeri denklem 4.9'da kullanılarak eğilme emniyet gerilmesi tespit edilmiştir.

6.1.3 Bileşik gerilme halleri

Bileşik gerilme hali ise iki aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada kolon boyunun kren kirişi konsoluna kadar olan kısmı incelenmiş ve 600cm'lik bu kısmın uçlarındaki etkileri dikkate alınarak bir ön boyutlandırma yapılmıştır. Böylece kren konsolundan gelen maksimum moment ve basınç değerlerinin kolonun alt kısmında karşılayıp karşılamadığı irdelenmek istenmiştir. Daha sonra değişkenlik oranı da dikkate alınıp ikinci boyutlandırma aşamasına geçilerek kolonun tüm boyu dikkate alınmış ve 900cm'lik bu kısmında oluşan etkiler açısından önceden boyutlandırılan kesitin yeterli olup olmadığı araştırılmıştır.

$$\frac{8.4}{21.9} + \frac{1.06}{\left(1.0 - \frac{8.4}{27.7}\right)} \frac{4.5}{24.8} = 0.66 \leq 1.0 \quad (4.21)$$

$$\frac{8.4}{0.6 \times 36} + \frac{4.5}{24.8} = 0.57 \leq 1.0 \quad (4.22)$$

$$\sigma_{a0} = \frac{1347}{161} = 8.4 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_{bem,\gamma} = 21.9 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_{bl} = 4.5 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_{B\gamma} = 26.1 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma'_{ey}(Eiy) = \frac{12\pi^2 \times 21000}{23 \times 67^2} \times 1.15 = 27.7 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (4.5)$$

Eleman tek eğriliğe ve yaklaşık olarak uçlarda eşit eğilme gerilmeleri meydana getiren uç momentlerine maruz olduğu için denklem 4.24 kullanılarak aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

$$C'_m = 1.0 + 0.1 \left(\frac{8.4}{27.7} \right) + 0.3 \left(\frac{8.4}{27.7} \right)^2 = 1.06 \quad (4.24)$$

Bileşik gerilmede hesaplanan $\sigma_{B\gamma}$ denklem 4.9'daki gerilmeden farklı olmasının nedeni bileşik gerilmede hesaplanan "B" değerinin 1.00 alınmasından kaynaklanmaktadır. (7) Ancak elde edilen bu değer maksimum sınırı aştığından dolayı hesaplarda 24.8 kN/cm^2 kullanılmıştır. Denklem 4.21 ve 4.22 sonuçları, 1 sınırının altında kaldığından kesit, meydana gelen zorlamalarına karşı emniyetlidir.

6.1.4 Enkesit koşulları

2007 deprem yönetmeliği yerel buruşmaları önlemek amacıyla bir takım kurallar getirmiştir. Bunlar enkesit koşulları adı altında Çizelge 3.7’de belirtilmiştir. Çizelge 6.3’te verilen profil, bu kurallar doğrultusunda süneklik düzeyi normal sistem için aşağıda kontrol edilmiştir.

Eğilme ve basınç etkisindeki I kesitleri için kompaktlık koşulu;

$$\frac{36}{2 \times 1.5} = 12 \leq 0.5 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 12.08 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

olduğu için, seçilen başlık boyutları açısından bu koşul sağlanmıştır. Gövde yüksekliği ve kalınlığı kontrolü için ise aşağıdaki kontrol yapılmıştır;

İnce uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{1347}{36 \times 161} = 0.23 \geq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır:

$$\frac{56}{1} = 56 \leq 2.08 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(2.1 - \left| \frac{1347}{36 \times 161} \right| \right)} = 93.82 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

Kalın uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{70}{36 \times 185} = 0.01 \leq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır:

$$\frac{80}{1} = 80 \leq 5.0 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(1 - 1.7 \left| \frac{70}{36 \times 185} \right| \right)} = 118.60 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

Her iki kontrolde de seçilen kesitlerin, yerel burkulmalar açısından kompaktlık koşullarını sağladığı görülmüştür.

6.1.5 Yorulma kontrolü

Bölüm 4.2.1 ’e göre yorulma kontrolü yapılmıştır. Tez çalışmasında verilen 800kN’luk krenin saatte 4 kere tam yükleme yaptığı, günde 16 saat çalışarak 50 yıl boyunca bu işlemi tekrarlayacağı öngörülmüştür. Bu durumdan yola çıkılarak günlük

yük tekrar sayısı 64kez/gün, yıllık yük tekrar sayısı 23.360kez/yıl ve 50 yıl sonunda toplam yük tekrar sayısının ise 1.168.000 kez olacağı hesaplanmıştır. Bu yük tekrar sayısına karşı gelen şekil 4.1’den yükleme durumu “3” olarak belirlenir. Ayrıca şekil 4.3’ten gerilme doğrultusunda tam nüfuziyetli sürekli küt kaynaklı veya sürekli köşe kaynaklı yapma levhalar veya profiller’e karşı gelen detay tipi olarak “B” gerilme kategorisi elde edilir. Bu iki bilgi esas alındığında tekrarlı yüklemekten kaynaklanan maximum çekme ve basınç kuvvetinin mutlak değerce toplamının yorulmada izin verilen gerilme aralığından büyük olmaması gerekir. Şekil 4.2’den bu değer 12.7kN/cm^2 alınarak boyutlandırma yapılır. Çizelge 6.1’den hareketle elde edilecek maximum basınç ve çekme kuvvetleri sırası ile 1347kN ve 105kN’dur. Elde edilen gerilme ise $(1347+1050)/161=14.88\text{kN/cm}^2 > 12.7\text{kN/cm}^2$ ‘den büyük olduğu için kolonun ince ucundaki enkesit değerini 189cm^2 ’ye artırılarak 84-84/36/1.5/1.0 olacak şekilde yeniden boyutlandırılması gerekmektedir. Bu yeni durumda gerilme aralığı, $(1347+1050)/189 = 12.68\text{kN/cm}^2 < 12.7 \text{ kN/cm}^2$ olduğundan yeni enkesitin yeterli olduğu görülmüştür. Ön boyutlandırma aşamasında kalın ucun, yorulma sebebiyle büyütülen ince uçtaki kesit boyutundan daha küçük kaldığı görülmüş ve bu nedenle ince ve kalın uç aynı boyutta alındığından değişkenlik oranı sıfır kabul edilmiştir. Bu durumda enkesit koşulları tekrar gözden geçirilerek aşağıda belirtilmiştir,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{1347}{36 \times 189} = 0.20 \geq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır,

$$\frac{84}{1} = 84 \leq 2.08 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(2.1 - \left| \frac{1347}{36 \times 189} \right| \right)} = 95.55 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

Yeni belirlenen kesitin, oluşan kesit zorlarını emniyetle taşıdığı, tekrarlı yüklemekten kaynaklanan yorulma zorlamalarını ilgili sınırlar içerisinde kalarak taşıdığı ve deprem yönetmeliği uyarınca kompaktlık koşullarını da sağladığı gözlemlenmiştir.

6.2 Çerçeve Kirişlerinin Hesabı

SAP 2000 programında elde edilen kesit zorları Çizelge 6.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.4 : Çerçeve kirişleri kesit zorları.

Eleman tipi	Yükleme durumu	Kiriş uzunluğu (cm)	Pmax (kN)	Pmax (kN)	Mx max (kNcm)	My max (kNcm)	Vx max (kN)
Kiriş	Ölü	0*	-40	~0	18200	~0	60
Kiriş	Ölü	900*	-50	~0	5450	~0	10
Kiriş	Eiy**	0*	-70	~0	18200	~0	60
Kiriş	Eiy**	900*	-100	~0	5450	~0	10
Kiriş	Yor (Eiy)***	0*	-90	~0	18550	~0	60
Kiriş	Yor (Eiy)***	900*	-130	~0	5450	~0	10
Kiriş	Dep	0*	-50	~0	19600	~0	60
Kiriş	Dep	900*	-90	~0	5600	~0	10

*: L=0 sol uç, L=900 sağ uç

*** Esas ilave yükler, **** Yorulma etkisinin ayrıca düşünüldüğü esas ilave yükler

Çizelge 6.4'te belirtilen kesit zorları her bir yüklem türüne göre ayrı ayrı tespit edilmiş olup, bunların içerisinde kesitin belirlenmesinde etkin rol oynayan yüklem türü, kar birikmesinden kaynaklanan ölü yüklem durumuna karşı gelmektedir. Bu bölümde sadece bu en elverişsiz kesit zorları dikkate alınarak yürütülen kesit hesapları detaylı açıklanacaktır. Çizelge 6.5'te bu elverişsiz yüklere göre değişken kesit ve hadde profili olarak boyutlandırılan kesitler görülmektedir.

Çizelge 6.5 : Yükleme durumlarına göre oluşan yeterli enkesit değerleri.

Yükleme Durumu	Profil Tipi	Profil (cm)					Ağırlık (kg/m)
		h_1	h_2	w	t_f	t_w	
Ölü	Değişken	27.8	54.8	20	0.9	0.5	44
Eiy	Değişken	25.8	51.8	20	0.9	0.5	43
Yor	Değişken	25.8	53.8	20	0.9	0.5	43
Dep	Değişken	25.8	53.8	20	0.9	0.5	43
Ölü	Hadde	HEA 260					68.2
Eiy	Hadde	HEA 260					68.2
Yor	Hadde	HEA 260					68.2
Dep	Hadde	HEA 280					76.4

Hesabı yapılacak değişken kesitin ön tayininde kullanılan parametreler Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Bu durumda $h_1-h_2/w/t_f/t_w$ olmak üzere sırasıyla 27.8-54.8/20/0.9/0.5cm olacak şekilde belirlenerek kiriş kesit kontrolleri yapılmıştır.

Kesit bilgileri ise çizelge 6.6’da gösterilmiştir. Değişkenlik oranı ise aşağıdaki hesaplanmıştır:

$$\gamma = (54.8 - 27.8) / 27.8 = 0.971 \quad (4.2)$$

ve ayrıca bu değer aşağıdaki koşulu da sağlamalıdır:

$$\gamma = 0.971 \leq \left\{ \begin{array}{l} 0.268 \times 900 / 27.8 \\ 6.0 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 8.67 \\ 6.0 \end{array} \right\} \quad (4.3)$$

Çizelge 6.6 : Çerçeve kirişi kesit bilgileri.

Seçilen Kesit	h_1 (cm)	h_2 (cm)	w (cm)	t_f (cm)	t_w (cm)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	W_x (cm ³)	W_y (cm ³)	r_{0x} (cm)	r_{0y} (cm)	A_{kesit} (cm ²)
27.8-54.8/20/0.9/0.5	27.8	54.8	20	0.9	0.5							
İnce uç						6848	1200	493	120	11.82	4.95	49
Kalın uç						26483	1201	967	120	20.58	4.38	62.5

6.2.1 Eksenel basınç halinde burkulma emniyet gerilmesi kontrolü

Eksenel basınca maruz kalan değişken enkesitli elemanın brüt enkesitindeki basınç emniyet gerilmesi λ_e etkin narinlik derecesi C_c ’den küçük ise denklem 4.4 gibi, C_c ’den büyük ise denklem 4.5 ‘teki gibi hesaplanır.

C_c plastik narinlik oranı;

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 21000}{36}} = 107 \quad (4.6)$$

$\lambda_{e,y}$ zayıf eksene dik burkulmada ince uçta narinlik;

$$\lambda_{e,y} = \frac{1 \times 300}{4.95} = 61 \quad (4.7)$$

$\lambda_{e,x}$ kuvvetli eksene dik burkulmada ince uçta narinlik;

$$\lambda_{e,x} = \frac{1.2 \times 900}{11.82} = 92 \quad (4.8)$$

Bu durumda en küçük narinlik derecesi esas alınacaktır. (7)

$$\sigma_{bem,\gamma} = \frac{\left(1.0 - \frac{61^2}{2 \times 107^2}\right) 36}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times 61}{8 \times 107} - \frac{61^3}{8 \times 107^3}} = 16.3 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (4.4)$$

Kesitin ince ucunda oluşan basınç gerilmesi ise;

$$f_{a0} \rightarrow \frac{P}{A} = \frac{50}{49} = 1.0 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$f_{a0} \leq \sigma_{bem,\gamma} \rightarrow 1.0 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 16.3 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

6.2.2 Sadece eğilme halinde basınç emniyet gerilmesinin hesabı

Değişken kesitli eğilmeye maruz elemanlarda ise denklem 4.9'a göre hesap yapılacaktır. Eğer eğilme gerilmesi denklem 4.10'daki şartları sağlar ise denklem 4.11 nihai emniyetli eğilme gerilmesini verecektir.

Çalışmada kesit tayin edilirken alınan iç kuvvetler çizelge 6.4'ten alınmıştır.

$$\sigma_{B,\gamma} = \frac{2}{3} \left[1.0 - \frac{3.6}{6 \times 1.0 \sqrt{1.58^2 + 3.39^2}} \right] \times 3.6 = 20.1 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 0.60 \times 36 = 21.6 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (4.9)$$

$$\sigma_{B,\gamma} \leq \sigma_a / 3 \quad (4.10)$$

Denklem 4.10 koşulu sağlanmadığı için denklem 4.9 dikkate alınacaktır. Bu durumda oluşabilecek maksimum eğilme emniyet gerilmesi 20.1 kN/cm^2 olarak kabul edilmiştir. İnce ve kalın uçta oluşan maksimum eğilme gerilmeleri ise sırasıyla 11.1 kN/cm^2 ve 18.8 kN/cm^2 olmuştur. Bu değerlerin hepsi emniyetle taşınabilecek

değerlerdir. Denklem 4.9'daki B değeri denklem 4.17'ye göre çözülüp aşağıda belirtilmiştir.

$$B = 1.0 + 0.58 \left[1.0 + \frac{11.1}{18.8} \right] - 0.70 \times 0.971 \times \left[1.0 + \frac{11.1}{18.8} \right] = 0.84 \geq 1.0 \quad (4.17)$$

Elde edilen bu “B” değeri 1.00 değerinden küçük olduğu için denklem 4.9'da kullanılan “B” değeri 1.00 olarak kabul edilip eğilme emniyet gerilmesi tespit edilmiştir. (7)

6.2.3 Bileşik gerilme halleri

Değişken kesitli eleman için aşağıda belirtilen hesaplar bölüm 4.1.1.4 uyarınca yapılmıştır.

$$\frac{1.0}{16.3} + \frac{1.01}{\left(1.0 - \frac{1.0}{12.8}\right)} \frac{18.8}{20.1} = 1.09 \leq 1.0 \quad (4.21)$$

$$\frac{1.0}{0.6 \times 36} + \frac{18.8}{20.1} = 0.98 \leq 1.0 \quad (4.22)$$

$$\sigma_{a0} = \frac{50}{49} = 1.0 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_{bem,\gamma} = 16.3 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_{bl} = 18.8 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma_{B\gamma} = 20.1 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$\sigma'_{e\gamma} = \frac{12\pi^2 \times 21000}{23 \times 92^2} = 12.8 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (4.5)$$

Denklem 4.21 ve 4.22 değerleri emniyetli taşıyor olarak gözüksede $\sigma_{a0}/\sigma_{bem,\gamma} < 0.15$ koşuluna göre denklem 4.23 uygulanır.

$$\frac{1.0}{16.3} + \frac{18.8}{20.1} = 0.997 \leq 1.0 \quad (4.23)$$

Eleman tek eğriliğe ve yaklaşık olarak uçlarda eşit eğilme gerilmeleri meydana getiren uç momentlerine maruz olduğu için denklem 4.24 kullanılarak aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

$$C'_m = 1.0 + 0.1 \left(\frac{1.0}{12.8} \right) + 0.3 \left(\frac{1.0}{12.8} \right)^2 = 1.01 \quad (4.24)$$

Denklem 4.23'e göre elde edilen zorlamalara göre tayin edilen değişken profil emniyetlidir.

6.2.4 Enkesit koşulları

2007 deprem yönetmeliği yerel buruşmaları önlemek amacıyla bir takım kurallar getirmiştir. Bunlar en kesit koşulları adı altında çizelge 3.7'de belirtilmiştir. Çizelge 6.6'da verilen profil, bu kurallar doğrultusunda da kontrol edilerek belirlenmiştir.

Eğilme ve basınç etkisindeki I kesitleri için kompaktlık koşulu;

$$\frac{20}{2 \times 0.9} = 11.1 \leq 0.5 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 12.08 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

olduğu için başlık genişliği ve kalınlığı kontrolü sağlanmıştır. Gövde yüksekliği ve kalınlığı kontrolü için ise aşağıdaki kontrol yapılmıştır,

ince uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{50}{36 \times 49} = 0.03 \leq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır,

$$\frac{27.8}{0.5} = 55.6 \leq 5.0 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(1 - 1.7 \left| \frac{50}{36 \times 49} \right| \right)} = 114.94 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

kalın uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{40}{36 \times 62.5} = 0.02 \leq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır,

$$\frac{54.8}{0.5} = 109.6 \leq 5.0 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(1 - 1.7 \left| \frac{40}{36 \times 62.5} \right| \right)} = 117.11 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

her iki kontrolde de belirlenen kesitlerin, koşulları sağladığı görülmüştür.

6.3 Çelik Çaprazlı Düşey Perdenin Hesabı

Çelik çaprazlı düşey perdenin boyutlandırma hesabı yapılırken 2007 deprem yönetmeliğinin getirdiği narinlik şartı dikkate alınmıştır. Burada narinlik oranı, yapının yüksek sünek veya normal sünek olma şartı aranmaksızın denklem 6.1 değerini aşmayacaktır. (15)

$$\lambda \leq 4.0 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}} \quad (6.1)$$

Çelik çaprazlı düşey perdedeki uzun ve kısa çaprazlar boru profil olarak teşkil edilmiş ve ST52 yapı çeliği kullanılarak boyutlandırılmıştır. Kullanılan boru profillere ait kesit bilgileri çizelge 6.7’de verilmiştir.

Çizelge 6.7 : Boru profil kesit özellikleri.

Profil	D (mm)	t (mm)	A (cm ²)	I (cm ⁴)	W (cm ³)	i (cm)
168.3x5	168.3	5	25.7	856	102	5.78
168.3x6.3	168.3	6.3	32.1	1053	125	5.73
193.7x6.3	193.7	6.3	37.1	1630	168	6.63
219.1x8	219.1	8	53.1	2960	270	7.47

6.3.1 Çelik çaprazlı düşey perdenin dikmelerinin boyutlandırılması

Fabrika modelinde düşünülen çelik çaprazlı perdenin dikmeleri, boru kesit tayin edilip L=500cm olarak tasarımı yapılmıştır. Burada boyutlandırmayı belirleyen unsur, 2007 deprem yönetmeliğinde getirilen maksimum narinlik sınırı olmuştur. Kesitte oluşan maksimum basınç kuvveti, kren çalışırken rüzgar etkilerinden kaynaklanarak 25 kN değerinde olmuştur. Burkulma sayıları metodu ile yapılan gerilme kontrolünde denklem 6.2’ye göre, narinlik oranı ise denklem 6.3 ile saptanmış ve denklem 6.1 koşulunu sağlayacak şekilde boyutlandırma yapılmıştır. (9)

$$\sigma_b = w \frac{P}{F} \leq \sigma_{cem} \quad (6.2)$$

$$\lambda = \frac{S_k}{i} \quad (6.3)$$

Seçilen kesit tipi 168.3x5mm boru profil olup, kesite ait özellikler çizelge 6.7’de verilmiştir. Deprem yönetmeliğince belirlenen sınır narinlik oranı,

$$\lambda = 4.0 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 96 \quad (6.1)$$

kesit narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{500}{5.78} = 87 \leq 96 \rightarrow w = 1.92 \quad (6.3)$$

basınç çubuğunda oluşan gerilme ise Eiy durumunda yeterli olduğu görülmüştür,

$$\sigma_b = 1.92 \frac{25}{25.7} = 1.9 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 36 \times 0.6 \times 1.15 = 24.8 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (6.2)$$

6.3.2 Çelik çaprazlı düşey perdenin diyagonallerinin boyutlandırılması

Fabrika modelinde boyuna doğrultuda teşkil edilen çelik çaprazlı perdenin diyagonal elemanları, boru kesit tayin edilip L=584cm olarak tasarımı yapılmıştır. Burada boyutlandırmayı belirleyen unsur, 2007 deprem yönetmeliğinde getirilen maksimum narinlik sınırı olmuştur. Kesitte oluşan maksimum basınç kuvveti, kren çalışırken rüzgar etkilerinden kaynaklanarak 80 kN değerinde olmuştur. Burkulma sayıları metodu ile yapılan gerilme kontrolünde denklem 6.2'ye göre, narinlik oranı ise denklem 6.3 ile saptanmış ve denklem 6.1 koşulunu sağlayacak şekilde boyutlandırma yapılmıştır. (9)

$$\sigma_b = w \frac{P}{F} \leq \sigma_{cem} \quad (6.2)$$

$$\lambda = \frac{S_k}{i} \quad (6.3)$$

Seçilen kesit tipi 193.7x6.3mm boru profil olup, kesite ait özellikler çizelge 6.7'de verilmiştir. Deprem yönetmeliğince belirlenen sınır narinlik oranı,

$$\lambda = 4.0 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 96 \quad (6.1)$$

kesit narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{584}{6.63} = 88 \leq 96 \rightarrow w = 1.97 \quad (6.3)$$

basınç çubuğunda oluşan gerilme ise Eiy durumunda yeterli olduğu görülmüştür,

$$\sigma_b = 1.97 \frac{80}{37.1} = 4.3 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 36 \times 0.6 \times 1.15 = 24.8 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (6.2)$$

6.4 Çatı Düzlemindeki Çelik Çaprazlı Perdenin Boyutlandırılması

Yatay çaprazların hesabı yapılırken 2007 deprem yönetmeliğinin getirdiği narinlik şartı uygulanmıştır. Burada narinlik oranı, yapının yüksek sünek veya normal sünek olma şartı aranmaksızın $4.0 \sqrt{\frac{E_s}{\sigma_a}}$ değerini aşmayacaktır. (15) Yatay uzun ve kısa çaprazlar ST52 yapı çeliği kullanılarak boyutlandırılmıştır.

6.4.1 Çatı düzlemindeki çelik çaprazlı perdenin kısa elemanlarının boyutlandırılması

Fabrika modelinde düşünülen çatı düzlemindeki çelik çaprazlı perdelerin kısa elemanları, boru kesit tayin edilip L=500cm olarak tasarımı yapılmıştır. Burada boyutlandırmayı belirleyen unsur, 2007 deprem yönetmeliğinde getirilen maksimum narinlik sınırı olmuştur. Kesitte hesap sonucu oluşan maksimum basınç ise hareketli yüklemde 20 kN, depremli durumda ise 20 kN olmuştur. Burkulma sayıları metodu ile yapılan kontrolde basınç çubuğunda gerilme tahkiki denklem 6.2'ye göre, narinlik oranı ise denklem 6.3'e göre yapılmış olup denklem 6.1'e göre sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. (9)

$$\sigma_b = w \frac{P}{F} \leq \sigma_{cem} \quad (6.2)$$

$$\lambda = \frac{S_k}{i} \quad (6.3)$$

Seçilen kesit tipi 168.3x5mm boru profil olup, kesite ait özellikler çizelge 6.7'de verilmiştir. Deprem yönetmeliğince belirlenen sınır narinlik oranı,

$$\lambda = 4.0 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 96 \quad (6.1)$$

kesit narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{500}{5.78} = 87 \leq 96 \rightarrow w = 1.92 \quad (6.3)$$

basınç çubuğunda oluşan hareketli yükten kaynaklanan gerilme ise Eiy durumunda yeterli olduğu görülmüştür,

$$\sigma_b = 1.92 \frac{20}{25.7} = 1.5 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 36 \times 0.6 \times 1.15 = 24.8 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (6.2)$$

deprem yüklemesinden kaynaklanan gerilme ise,

$$\sigma_b = 1.92 \frac{20}{25.7} = 1.5 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 36 \times 0.6 \times 1.33 = 28.7 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (6.2)$$

6.4.2 Çatı düzlemindeki çelik çaprazlı perdenin diyagonallerinin hesabı

Fabrika modelinde düşünülen çatı düzlemindeki çelik çaprazlı perdelerin diyagonal elemanları, boru kesit tayin edilip $L=584\text{cm}$ olarak tasarımı yapılmıştır. Burada boyutlandırmayı belirleyen unsur, 2007 deprem yönetmeliğinde getirilen maksimum narinlik sınırı olmuştur. Kesitte hesap sonucu oluşan maksimum basınç ise hareketli yüklemde 10 kN, depremli durumda ise 20 kN olmuştur. Burkulma sayıları metodu ile yapılan kontrolde basınç çubuğunda gerilme tahkiki denklem 6.2'ye göre, narinlik oranı ise denklem 6.3'e göre yapılmış olup denklem 6.1'e göre sağlayacak şekilde boyutlandırılmıştır. (9)

$$\sigma_b = w \frac{P}{F} \leq \sigma_{cem} \quad (6.2)$$

$$\lambda = \frac{S_k}{i} \quad (6.3)$$

Seçilen kesit tipi 193.7x6.3mm boru profil olup, kesite ait özellikler çizelge 6.7'de verilmiştir. Deprem yönetmeliğince belirlenen sınır narinlik oranı,

$$\lambda = 4.0 \sqrt{\frac{21000}{36}} = 96 \quad (6.1)$$

kesit narinlik oranı,

$$\lambda = \frac{584}{6.63} = 88 \leq 96 \rightarrow w = 1.97 \quad (6.3)$$

basınç çubuğunda oluşan hareketli yükten kaynaklanan gerilme ise,

$$\sigma_b = 1.97 \frac{10}{37.1} = 0.6 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 36 \times 0.6 \times 1.15 = 24.8 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (6.2)$$

deprem yüklemesinden kaynaklanan gerilme ise,

$$\sigma_b = 1.97 \frac{20}{37.1} = 1.1 \text{ kN} / \text{cm}^2 \leq 36 \times 0.6 \times 1.33 = 28.7 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (6.2)$$

6.5 Kren Kirişi Hesabı

Bu bölümde 800kN taşıma kapasitesi olan vincin, kren yolu üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiştir. Tekrarlı yüklerden oluşan etkilerden İMO-02/2008 standardında belirlenen sınıflandırmalar doğrultusunda irdelenmiştir. Krenin

çalışması sırasında deprem etkileri dikkate alınmayarak boyutlandırma yapılmıştır. Kren kirişi, yanal burkulmayı önlemek amacıyla ¼'ünden yatay doğrultuda kafes kiriş teşkil edilip tutulmuştur, düşey doğrultuda ise konsolların üstüne mesnetlendirilmiştir. Kren tekerlek yükleri ABUS vinç ürün tablolarından alınmıştır. Boyutlandırma DIN 120 ve TS 648 standartlarına göre yapılmıştır. Boyutlandırma sırasında kullanılan kesitlere ait bilgiler çizelge 6.8'de ve ray tipine ait bilgiler çizelge 6.9'da verilmiştir. Oluşan tekerlek basınçları ise çizelge 6.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.8 : Kren kirişi kesit özellikleri.

Profil	H (mm)	B (mm)	t _w (mm)	t _f (mm)	A (cm ²)	I _x (cm ⁴)	W _x (cm ³)	i _x (cm)	I _y (cm ⁴)	W _y (cm ³)	i _y (cm)
HEA 500	490	300	12	23	197.5	86970	3550	20.98	10370	691.1	7.24
HEA 550	540	300	12.5	24	211.8	111900	4146	22.99	10820	721.3	7.15
HEA 600	590	300	13	25	226.5	141200	4787	24.97	11270	751.4	7.05

Çizelge 6.9 : A100 kren rayı kesit özellikleri.

Ray tipi	k (mm)	b ₁ (mm)	h ₀ (mm)	a (mm)	h (mm)	s (cm)	F _a (cm ²)	J _{xa} (cm ⁴)	J _{ya} (cm ⁴)
A 100	100	200	95	10	85	4.76	85.6	642	1270

Çizelge 6.10 : Tekerlek basınçları.

R1 _{max} (kN)	R2 _{max} (kN)	R1 _{min} (kN)	R2 _{min} (kN)
450	450	85	85

6.5.1 Kren yüklerinin belirlenmesi

Kren yükleri belirlenirken, 800kN kaldırma kapasitesine denk gelen reaksiyonlar ABUS kren kataloğundan alınarak matematik modele etkilmiştir. SAP 2000 analizi sonucu kesitte oluşan iç kuvvetler ise çizelge 6.11'de belirtilmiştir ve bu kuvvetler DIN 120 standardında belirtilen vurma ve denk katsayıları ile çarpılarak boyutlandırmaya esas kuvvetler olmuştur.

ψ denk katsayısı: Yükün sık olarak tekrarlanması, şiddetinin değişmesini ve vuruş tesirini göz önünde tutmak üzere, hareketli yüklerden meydana gelen çubuk kuvvetleri, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri ψ denk katsayısı ile çarpılmalıdır. (Çizelge 6.12)

ϕ vurma katsayısı: Yürür krenlerde ve kren elemanlarında sabit yükten meydana gelen çubuk kuvvetleri, eğilme momentleri ve kesme kuvvetleri yürüme hareketinden doğan vuruşları göz önünde tutmak düşüncesiyle ϕ vurma katsayısı ile çarpılmalıdır. (Çizelge 6.13)

Kren grubu “II” olarak ve kullanılacak kren rayı A100 olarak belirlenmiştir. Ön tasarımı yapılan kesiti kontrol ederken çizelge 6.11’de verilen iç kuvvetler çizelge 6.12’de verilen “II” nolu kren grubuna denk gelen 1.4 katsayısı ile çarpılarak kesit kontrolü yapılmıştır.

Çizelge 6.11 : Kren kirişinde oluşan iç kuvvetler.

Yüklemesi	$P_{basınç}$	$P_{çekme}$	M_{max}	M_{min}	V_{max}	V_{min}	M_{max}	M_{min}	V_{max}	V_{min}
tipi	(kN)	(kN)	(+kNcm)	(-kNcm)	(+kN)	(-kN)	(+kNcm)	(-kNcm)	(+kN)	(-kN)
EİY	180	150	36100	34550	510	500	5000	4400	75	60

Çizelge 6.12 : ψ denk katsayısı.

Kren grubu	I	II	III	IV
ψ denk katsayısı	1.2	1.4	1.6	1.9

Çizelge 6.13 : ϕ vurma katsayısı.

Ray eki	Var	Yok veya kaynaklı ek var
Yürüme hızı v (m/sn)	<1.0	>1.0
ϕ vurma katsayısı	1.1	1.2

6.5.2 Eksenel basınç halinde emniyet gerilmesi kontrolü

Ön tasarım sırasında ilk olarak HEA 500 profili seçilmiştir. Boyutlandırma yapılırken kullanılan veriler çizelge 6.9'dan alınmıştır. Eksenel basınca maruz kalan hadde profilden oluşan kren kirişinin brüt enkesitindeki burkulma emniyet gerilmesi λ_e etkin narinlik derecesi C_c 'den küçük ise denklem 4.4 gibi, C_c 'den büyük ise denklem 4.5 'teki gibi hesaplanır.

C_c plastik narinlik oranı;

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 21000}{36}} = 107 \quad (4.6)$$

$\lambda_{e,y}$ zayıf eksene dik burkulmada narinlik;

$$\lambda_{e,y} = \frac{1 \times 125}{7.24} = 17 \quad (4.7)$$

$\lambda_{e,x}$ kuvvetli eksene dik burkulmada narinlik;

$$\lambda_{e,x} = \frac{0.65 \times 500}{20.98} = 16 \quad (4.8)$$

Bu durumda en küçük narinlik derecesi esas alınacaktır. (7)

$$\sigma_{bem,\gamma} (Eiy) = \frac{\left(1.0 - \frac{16^2}{2 \times 107^2}\right) 36}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times 16}{8 \times 107} - \frac{16^3}{8 \times 107^3}} \times 1.15 = 23.8 \text{ kN} / \text{cm}^2 \quad (4.4)$$

Kesitte oluşan basınç gerilmesi ise;

$$f_{a0} \rightarrow \frac{P}{A} = \frac{1.4 \times 180}{197.5} = 1.3 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

$$f_{a0} \leq \sigma_{bem,\gamma} \rightarrow 1.3 \leq 23.8 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Belirlenen hadde profilin krenden gelen kuvvetleri emniyetle taşıdığı görülmüştür.

6.5.3 Sadece eğilme halinde emniyet gerilmesi kontrolü

Hadde profillerde eğilme emniyet gerilmesi denklem 6.4'e göre yapılmıştır. Çalışmada kesit kontrol edilirken alınan iç kuvvetler çizelge 6.11'den alınmıştır.

$$\sigma_b(Eiy) = \sigma_a \left[0.733 - 0.000167 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \sqrt{\sigma_a} \right] \times 1.15 \leq 0.66 \times \sigma_a \times 1.15 \quad (6.4)$$

Denklem 6.4 koşulundaki başlık kalınlığı ve genişliği çizelge 6.8'den alınmıştır.

$$\sigma_b(Eiy) = 360 \left[0.733 - 0.000167 \left(\frac{30}{2 \times 23} \right) \sqrt{360} \right] \times 1.15 = 270 \text{ kg/cm}^2 \quad (6.4)$$

$$\sigma_b(Eiy) = 27.6 \text{ N/cm}^2 \leq 0.66 \times 36 \times 1.15 = 27.3 \text{ N/cm}^2$$

Denklem 6.4'ten de anlaşıldığı gibi kullanabileceğimiz maksimum emniyetli eğilme gerilmesi 27.3kN/cm²'dir. M_x ve M_y değerleri çizelge 6.11'den alınmış olup Eiy yükleme durumunda oluşan iç kuvvetlerdir. Oluşan iç kuvvetler II nolu kren grubu denk katsayısı 1.4 ile çarpılarak boyutlandırma yapılmıştır.

$$f_{bx, hesap} \rightarrow \frac{1.4 \times M_x}{W_x} = \frac{1.4 \times 36100}{3550} = 14.2 \text{ kN / cm}^2 \leq 27.3 \text{ kN / cm}^2$$

$$f_{by, hesap} \rightarrow \frac{1.4 \times M_y}{W_y} = \frac{1.4 \times 5000}{691.1} = 10.1 \text{ kN / cm}^2 \leq 27.3 \text{ kN / cm}^2$$

Her iki yöndeki eğilme kontrolünde, HEA500 hadde profilinin gelen kuvvetleri emniyetle taşıdığı belirlenmiştir.

6.5.4 Bileşik gerilme halleri

Bileşik gerilme hesabında denklem 6.5'teki şartlar sağlandığından dolayı burkulma etkileri dikkate alınmayarak denklem 6.6 ile boyutlandırma yapılmıştır.

$$\frac{f_{a0}}{\sigma_{bem, \gamma}} \leq 1.5 \text{ kN / cm}^2 \quad (6.5)$$

$$\frac{f_{a0}}{\sigma_{bem, \gamma}} + \frac{f_{bx}}{\sigma_b} + \frac{f_{by}}{\sigma_b} \leq 1.0 \quad (6.6)$$

$$f_{a0} \rightarrow \frac{P}{A} = \frac{1.4 \times 180}{197.5} = 1.3 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_{bem, \gamma}(Eiy) = 23.8 \text{ kN / cm}^2$$

$$f_{bx} = 14.2 \text{ kN / cm}^2$$

$$f_{by} = 10.1 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_b(Eiy) = 27.3 \text{ kN / cm}^2$$

$$\frac{f_{a0}}{\sigma_{bem,\gamma}} \leq 1.5kN / cm^2 \rightarrow \frac{1.3}{23.8} = 0.05 \leq 1.5kN / cm^2 \quad (6.5)$$

$$\frac{f_{a0}}{\sigma_{bem,\gamma}} + \frac{f_{bx}}{\sigma_b} + \frac{f_{by}}{\sigma_b} \leq 1.0 \rightarrow \frac{1.3}{23.8} + \frac{14.2}{27.3} + \frac{10.1}{27.3} = 0.95 \leq 1.0 \quad (6.6)$$

Belirlenen kren kirişi kesiti meydana gelen tüm iç kuvvetleri emniyetle taşıdığı anlaşılmıştır. Zayıf yönde ¼'lerden tutulu olduğu için burkulma etkilerinin de oluşmadığı gözlemlenmiştir.

6.5.5 Kesme kapasitesi kontrolü

Kayma emniyet gerilmesi için h elemanın başlıkları arası mesafe, t_g gövde et kalınlığı olmak üzere h/t_g oranına bakılarak kesme emniyet gerilmesi hesabı yapılmıştır. (9)

$$\frac{h}{t_g} \leq 306 / \sqrt{\sigma_a} \rightarrow \tau_{em} = 0.4\sigma_a \quad (6.7)$$

$$\frac{h}{t_g} > 306 / \sqrt{\sigma_a} \rightarrow \tau_{em} = \frac{\sigma_a}{2.89} C_v \leq 0.4\sigma_a \quad (6.8)$$

Kesme emniyet gerilmesi belirlenmesi için denklem 6.7 koşuluna bakılmıştır şayet denklem 6.7 sağlanmadığı takdirde denklem 6.8 irdelenerek, kren kirişin taşıyabileceği kesme emniyet gerilmesi bulunmuştur.

$$\frac{44.4}{1.2} = 37 \leq 306 / \sqrt{36} = 51 \rightarrow \tau_{em} = 0.4 \times 36 = 14.4kN / cm^2 \quad (6.7)$$

Denklem 6.7 koşulu sağlandığı için hadde profili kayma emniyet gerilmesi τ_{em}=14.4kN/cm² olmuştur. Bu durumda kesitte oluşan kayma gerilmesi ise,

$$\frac{V_t}{A_g} \rightarrow \frac{510}{53.3} = 9.6kN / cm^2 \leq \tau_{em} = 14.4kN / cm^2$$

olduğundan kren kirişi kesme kuvvetini emniyetle taşıyabilmiştir.

6.5.6 Yorulma kontrolü

Kren kirişi tekrarlı yüklere maruz kalmasından dolayı yorulma etkileri de boyutlandırmada dikkate alınmıştır. İMO-02/2008 de belirtilen yükleme tekrar sayısı

(şekil 4.1) ve gerilme kategorisine (şekil 4.3) bakılarak izin verilen gerilme aralığı (şekil 4.2) 16.9kN/cm^2 olarak belirlenmiştir. Basınç, eğilme ve kesme kuvvetlerine göre çizelge 6.11’de verilen kuvvetlerden elde edilen maksimum genlikleri kullanarak her bir tesir için ayrı ayrı kontrol edilmiştir. Bu durumda oluşan maksimum genliklere karşı gelen gerilmeler ise aşağıda sıralanmıştır;

Basınç ve çekme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\sigma_{genlik} \rightarrow \frac{|F_{basinç} + F_{çekme}|}{A_{kesit}} = \frac{180 + 150}{197.5} = 1.67\text{kN/cm}^2 \leq 16.9\text{kN/cm}^2$$

Tekrarlı yükleme sonucu oluşan basınç ve çekme kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşındığı gözlemlenmiştir.

Kuvvetli yönde oluşan eğilme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\sigma_{genlik} \rightarrow \frac{|M_{max,+} + M_{max,-}|}{W_{max}} = \frac{36100 + 34550}{3550} = 19.9\text{kN/cm}^2 > 16.9\text{kN/cm}^2$$

Tekrarlı yükleme sonucu oluşan eğilme kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşınmadığından, kesit büyütülerek HEA600 olarak boyutlandırılmıştır.

Kuvvetli yönde oluşan eğilme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\sigma_{genlik} \rightarrow \frac{|M_{max,+} + M_{max,-}|}{W_{max}} = \frac{36100 + 34550}{4787} = 14.7\text{kN/cm}^2 \leq 16.9\text{kN/cm}^2$$

HEA 600 hadde profilinin, eğilme etkilerinin pozitif ve negatif yönlü etkilerini İMO-02/2008’de belirtilen sınıflandırmalar çerçevesinde emniyetle taşıyabildiği gözlemlenmiştir. (9)

Kuvvetli yönde oluşan kesme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\tau_{genlik} \rightarrow \frac{|V_{max,+} + V_{max,-}|}{A_{kesit,govde}} = \frac{510 + 500}{76.7} = 13.2\text{kN/cm}^2 \leq 16.9\text{kN/cm}^2$$

Kesme kuvvetleri de emniyetli bir şekilde taşınmıştır.

Zayıf yönde oluşan eğilme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\sigma_{genlik} \rightarrow \frac{|M_{min,+} + M_{min,-}|}{W_{min}} = \frac{5000 + 4400}{751.4} = 12.5\text{kN/cm}^2 \leq 16.9\text{kN/cm}^2$$

Eğilme kuvvetlerinin de emniyetle taşındığı görülmüştür.

Zayıf yönde oluşan kesme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\tau_{genlik} \rightarrow \frac{|V_{min,+} + V_{min,-}|}{A_{kesit,baslik}} = \frac{75 + 60}{150} = 0.9kN / cm^2 \leq 16.9kN / cm^2$$

Kesme kuvvetleri de emniyetli bir şekilde taşındığı anlaşılmıştır.

6.6 Kren Kirişini Taşıyan Konsolun Hesabı

SAP 2000 programında elde edilen kesit zorları Çizelge 6.14'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.14 : Kren konsolları kesit zorları.

Eleman tipi	Yükleme durumu	Location (cm)	Pmax (kN)	Pmax (kN)	Mx max (kNcm)	Mx min (kNcm)	Vx max (kN)	Vx min (kN)
Konsol	EİY	0	-80	20	51450	2000	670	30
Konsol	EİY	80	-80	20	~0	~0	670	30

Çizelge 6.14'te belirtilen kesit zorları her bir yüklem türüne ayrı ayrı tatbik edilmiş olup bunların içerisinde kesitin belirlenmesinde etkin rol oynayan yüklem türü, kren kirişinin çalışması ile yorulmadan kaynaklanan yüklem türü olmuştur. Hesabı yapılacak değişken kesitin ön tayininde kullanılan parametreler Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Bu durumda $h_1-h_2/w/t_f/t_w$ olmak üzere sırasıyla 59-73/21/1.5/1cm olacak şekilde belirlenerek kesit kontrolleri yapılmıştır.

Kesit bilgileri ise çizelge 6.15'te gösterilmiştir. Değişkenlik oranı ise aşağıdaki hesaplanmıştır,

$$\gamma = (73 - 59) / 59 = 0.24 \quad (4.2)$$

Ayrıca aşağıdaki koşulu da sağlamalıdır:

$$\gamma = 0.24 \leq \left\{ \begin{matrix} 0.268 \times 80 / 59 \\ 6.0 \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} 0.36 \\ 6.0 \end{matrix} \right\} \quad (4.3)$$

Çizelge 6.15 : Kren konsolu kesit bilgileri.

Seçilen Kesit	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	W (cm)	t _f (cm)	t _w (cm)	I _x (cm ⁴)	I _y (cm ⁴)	W _x (cm ³)	W _y (cm ³)	r _{0x} (cm)	r _{0y} (cm)	A _{kesit} (cm ²)
59-73/21/1.5/1	59	73	21	1.5	1							
İnce uç						52857	2320	1792	221	21.08	4.42	119
Kalın uç						81302	2321	2227	221	24.72	4.18	133
59-73/30/2/1.2	59	73	30	2	1.2							
İnce uç						100210	9008	3397	601	23.21	6.96	186
Kalın uç						153970	9010	4218	601	27.55	6.67	202.8

6.6.1 Eksenel basınç halinde emniyet gerilmesi kontrolü

Eksenel basınca maruz kalan değişken enkesitli elemanın brüt enkesitindeki burkulma emniyet gerilmesi λ_e etkin narinlik derecesi C_c 'den küçük ise denklem 4.4 gibi, C_c 'den büyük ise denklem 4.5 'teki gibi hesaplanır.

C_c plastik narinlik oranı;

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 21000}{36}} = 107 \quad (4.6)$$

$\lambda_{e,y}$ zayıf eksene dik burkulmada narinlik;

$$\lambda_{e,y} = \frac{0.65 \times 80}{4.42} = 12 \quad (4.7)$$

$\lambda_{e,x}$ kuvvetli eksene dik burkulmada narinlik;

$$\lambda_{e,x} = \frac{2.1 \times 80}{21.08} = 8 \quad (4.8)$$

Bu durumda en küçük narinlik derecesi esas alınacaktır. (7)

$$\sigma_{bem,\gamma} (Eiy) = \frac{\left(1.0 - \frac{8^2}{2 \times 10^7}\right) 36}{\frac{5}{3} + \frac{3 \times 8}{8 \times 10^7} - \frac{8^3}{8 \times 10^7}} \times 1.15 = 24.4 kN / cm^2 \quad (4.4)$$

Kesitin ince ucunda oluşan basınç gerilmesi ise;

$$f_{a0} \rightarrow \frac{P}{A} = \frac{80}{119} = 0.7 kN / cm^2$$

$$f_{a0} \leq \sigma_{bem,\gamma} \rightarrow 0.7 kN / cm^2 \leq 24.4 kN / cm^2 \text{ olur.}$$

6.6.2 Eğilme halinde emniyet gerilmesi kontrolü

Değişken kesitli eğilmeye maruz elemanlarda ise denklem 4.9'a göre hesap yapılacaktır. Eğer eğilme gerilmesi denklem 4.10'daki şartları sağlar ise denklem 4.11 nihai emniyetli eğilme gerilmesini verecektir.

Çalışmada kesit tayin edilirken alınan iç kuvvetler çizelge 6.14'ten alınmıştır.

$$\sigma_{B,y}(Eiy) = \frac{2}{3} \left[1.0 - \frac{36}{6 \times 1.41 \sqrt{852^2 + 43^2}} \right] \times 36 \times 1.15 = 27.3 \text{ kN/cm}^2 \geq 0.6 \times 36 \times 1.15 = 24.8 \text{ kN/cm}^2 \quad (4.9)$$

$$\sigma_{B,y} \leq \sigma_a / 3 \quad (4.10)$$

Denklem 4.10 koşulu sağlanmadığı için denklem 4.9 dikkate alınacaktır. Denklem 4.9'daki B değeri denklem 4.17'ye göre çözülüp aşağıda belirtilmiştir.

$$B = 1.0 + 0.58 \left[1.0 + \frac{0}{2.31} \right] - 0.70 \times 0.24 \times \left[1.0 + \frac{0}{2.31} \right] = 1.41 \geq 1.0 \quad (4.17)$$

Elde edilen bu "B" değeri denklem 4.9'da kullanılarak eğilme emniyet gerilmesi tespit edilmiştir. Bu durumda oluşabilecek maksimum eğilme emniyet gerilmesi 27.3 kN/cm² olabilecek iken üst sınırı aştığından dolayı 24.8 kN/cm² alınmıştır. İnce ve kalın uçta oluşan maksimum eğilme gerilmeleri ise sırasıyla,

$$\sigma_{b,ince} \rightarrow \frac{0}{1792} = 0.00 \text{ kN / cm}^2 \text{ ve}$$

$$\sigma_{b,kalin} \rightarrow \frac{51450}{2227} = 23.1 \text{ kN / cm}^2 \text{ olmuştur.}$$

$$\sigma_{b,kalin} = 23.1 \text{ kN / cm}^2 \leq \sigma_{B,y}(Eiy) = 24.8 \text{ kN / cm}^2$$

Yukarıdaki ifadeyle, konsolda oluşan iç kuvvetlerin emniyetli taşınabildiği anlaşılmıştır.

6.6.3 Bileşik gerilme halleri

Değişken kesitli eleman için aşağıda belirtilen hesaplar bölüm 4.1.1.4 uyarınca yapılmıştır.

$$\frac{0.7}{24.4} + \frac{1.00}{\left(1.0 - \frac{0.7}{1943.1} \right)} \frac{23.1}{24.8} = 0.96 \leq 1.0 \quad (4.21)$$

$$\frac{0.7}{0.6 \times 36} + \frac{23.1}{24.8} = 0.96 \leq 1.0 \quad (4.22)$$

$$\sigma_{a0} = \frac{80}{116} = 0.7 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_{bem,\gamma} = 24.4 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_{bl} = 23.1 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma_{B\gamma} = 24.8 \text{ kN / cm}^2$$

$$\sigma'_{e\gamma}(Eiy) = \frac{12\pi^2 \times 21000}{23 \times 8^2} \times 1.15 = 1943.1 \text{ kN / cm}^2 \quad (4.5)$$

Denklem 4.21 ve 4.22 değerleri emniyetli taşıyor olarak gözüksede $\sigma_{a0}/\sigma_{bem,\gamma} < 0.15$ koşuluna göre denklem 4.23 uygulanır.

$$\frac{0.7}{24.4} + \frac{23.1}{24.8} = 0.96 \leq 1.0 \quad (4.23)$$

Elemanın serbest boyunun ince ucunda eğilme momenti sıfır olduğu için denklem 4.25 kullanılarak aşağıdaki sonuç elde edilmiştir.

$$C'_m = 1.0 - 0.9 \left(\frac{0.7}{1943.1} \right) + 0.6 \left(\frac{0.7}{1943.1} \right)^2 = 1.00 \quad (4.25)$$

Bileşik gerilmede hesaplanan $\sigma_{B\gamma}$ denklem 4.9'daki gerilmeden farklı olmasının nedeni bileşik gerilmede hesaplanan "B" değerinin 1.00 alınmasından kaynaklanmaktadır. (7) Ancak elde edilen bu değer maksimum sınırı aştığından dolayı hesaplarda 24.8 kN/cm^2 kullanılmıştır. Denklem 4.21 ve 4.22 sonuçları verilen sınırın altında kaldığından kesit meydana gelen zorlamalara karşı emniyetlidir.

6.6.4 Enkesit koşulları

2007 deprem yönetmeliği yerel buruşmaları önlemek amacıyla bir takım kurallar getirmiştir. Bunlar enkesit koşulları adı altında çizelge 3.7'de belirtilmiştir. Çizelge 6.15'te verilen profil, bu kurallar doğrultusunda süneklik düzeyi normal sistem için aşağıda kontrol edilerek belirtilmiştir.

Eğilme ve basınç etkisindeki I kesitleri için kompaktlık koşulu;

$$\frac{21}{2 \times 1.5} = 7 \leq 0.5 \times \sqrt{\frac{21000}{36}} = 12.08 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

olduğu için başlık genişliği ve kalınlığı kontrolü sağlanmıştır. Gövde yüksekliği ve kalınlığı kontrolü için ise aşağıdaki kontrol yapılmıştır,

ince uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{80}{36 \times 119} = 0.02 \leq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır,

$$\frac{59}{1} = 59 \leq 5.0 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(1 - 1.7 \left| \frac{80}{36 \times 119} \right| \right)} = 118.83 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

kalın uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{80}{36 \times 133} = 0.02 \leq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır,

$$\frac{73}{1} = 73 \leq 5.0 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(1 - 1.7 \left| \frac{80}{36 \times 133} \right| \right)} = 119.03 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

her iki kontrolde de belirlenen kesitlerin, koşulları sağladığı görülmüştür.

6.6.5 Yorulma kontrolü

Bölüm 4.2.1 'e göre yorulma kontrolü yapılmıştır. Tez çalışmasında verilen 800kN'luk krenin saatte 4 kere tam yükleme yaptığı, günde 16 saat çalışarak 50 yıl boyunca bu işlemi tekrarlayacağı öngörülmüştür. Bu durumdan yola çıkacak olursak günlük tekrar sayısı 64kez/gün, yıllık tekrar sayısı 23.360kez/yıl ve 50 yıl sonunda yaptığı toplam tekrar sayısı ise 1.168.000 kez olacaktır. Bu sayıdan hareketle şekil 4.1'den yükleme durumu "3" olarak belirlenir. Şekil 4.3'ten uygulanan gerilme doğrultusunda tam nüfuziyetli sürekli küt kaynaklı veya sürekli köşe kaynaklı yapma levhalar veya profiller'e denk gelen "B" gerilme kategorisi elde edilir. Bu iki bilgiyi şekil 4.2'de kullandığımızda tekrarlı yüklemekten kaynaklanan maximum çekme ve basınç kuvvetinin mutlak değerce toplamı 12.7kN/cm² değerini aşmayacak şekilde kesit tayin edilecektir. Çizelge 6.14'ten hareketle elde edilecek maximum basınç ve

çekme kuvvetleri, eğilme kuvvetleri ve kesme kuvvetlerinin maksimum, minimum yaptığı değerler kullanılarak yorulmadan kaynaklanan irdeleme yapılmıştır.

Basınç ve çekme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\sigma_{genlik} \rightarrow \frac{|F_{basinc} + F_{cekme}|}{A_{kesit}} = \frac{80 + 20}{119} = 0.9kN / cm^2 \leq 12.7kN / cm^2$$

Tekrarlı yükleme sonucu oluşan basınç ve çekme kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşındığı gözlemlenmiştir.

Kuvvetli yönde oluşan eğilme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\sigma_{genlik} \rightarrow \frac{|M_{max,+} + M_{max,-}|}{W_{max}} = \frac{51450 + 2000}{2227} = 24kN / cm^2 > 12.7kN / cm^2$$

Tekrarlı yükleme sonucu oluşan eğilme kuvvetleri emniyetli bir şekilde taşınmadığından, kesit $h_1-h_2/w/t_f/t_w$ olmak üzere sırasıyla 59-73/30/2/1.2cm şeklinde belirlenip tekrar hesaplanmıştır.

Kuvvetli yönde oluşan eğilme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\sigma_{genlik} \rightarrow \frac{|M_{max,+} + M_{max,-}|}{W_{max}} = \frac{51450 + 2000}{4218} = 12.6kN / cm^2 \leq 12.7kN / cm^2$$

Belirlenen değişken kesit, eğilme etkilerinin pozitif ve negatif yönlü etkilerini İMO 02-2008'de belirtilen sınıflandırmalar çerçevesinde emniyetle taşıyabildiği gözlemlenmiştir. (9)

Kuvvetli yönde oluşan kesme kuvvetlerinden kaynaklanan maksimum genlik:

$$\tau_{genlik} \rightarrow \frac{|V_{max,+} + V_{max,-}|}{A_{kesit,govde}} = \frac{670 + 30}{70.8} = 9.8kN / cm^2 \leq 12.7kN / cm^2$$

Kesme kuvvetleri de emniyetli bir şekilde taşınmıştır.

Bu durumda en kesit koşulları tekrar gözden geçirilerek aşağıda belirtilmiştir, ince uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{80}{36 \times 186} = 0.01 \leq 0.10 \quad \text{(Çizelge 3.7)}$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır,

$$\frac{59}{1.2} = 49.2 \leq 5.0 \times \sqrt{\frac{21000}{36} \left(1 - 1.7 \left| \frac{80}{36 \times 186} \right| \right)} = 119.52 \quad \text{(Çizelge 3.7)}$$

kalın uçlu kesit için,

$$\frac{N_d}{\sigma_a A} \rightarrow \frac{80}{36 \times 202.8} = 0.01 \leq 0.10 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

şartını sağlayan aşağıdaki formül uygulanmıştır,

$$\frac{73}{1.2} = 60.8 \leq 5.0 \times \sqrt{\frac{2100}{3.6} \left(1 - 1.7 \sqrt{\frac{8}{3.6 \times 202.8}} \right)} = 119.63 \quad (\text{Çizelge 3.7})$$

her iki kontrolde de belirlenen kesitlerin, oluşan kesit zorlarını emniyetle taşıdığı, tekrarlı yüklemekten kaynaklanan zorlamaları izin verilen sınırlar içerisinde kalarak taşıdığı ve deprem yönetmeliği uyarınca kompaktlık koşullarını da sağladığı gözlemlenmiştir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalar sonucu 800kN taşıma kapasiteli, 9m yüksekliğinde 35m uzunluğunda ve 18m genişliğinde bir fabrika yapısı, ilgili standartlar ve yönetmelikler çerçevesinde irdelenmiş olup aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

Çerçeve kolonları için kren yükünden gelen basınç etkilerinin fazla olması sebebiyle belirlenen değişken kesitli yapma kolonun, hadde profilden daha ekonomik olduğu Çizelge 6.2’de görülmektedir. İMO-02/2008’de belirtilen yorulma kriterlerinden dolayı, kolon ayağında kesit büyütülmesine gidildiğinden değişkenlik oranının kaybolduğu sabit enkesitli yapma kesit kullanılmıştır. Yorulma şartlarının da dikkate alındığı durumda meydana gelen kolon kesitinin de yine hadde profillere göre hala daha ekonomik sonuç verdiği Çizelge 7.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 7.1 : Çerçeve kolonu kesit kıyaslamaları.

Kolonlarda değişken kesit ile hadde profil arasındaki sonuçlar						
Eleman tipi	Yükleme durumu	Seçilen kesit (değişken)	Ağırlık (kg/m) (I)	Seçilen kesit (hadde)	Ağırlık (kg/m) (II)	Değişim (%) (I-II) / II
Kolon	Ölü	25-67/20/1/0.6	52	HEA 280	76.4	-31.94%
Kolon	Eiy	41.2-81.2/26/1.1/0.7	77	HEA 340	105	-26.67%
Kolon	Yor	84-84/36/1.5/1	148	HEB 450	171	-13.45%
Kolon	Dep	51-70/24/1/0.7	70	HEA 320	97.6	-28.28%

Çerçeve kirişleri için kar yüklemesinden kaynaklanan ölü yüklemeye türü etkili olmuştur. Burada belirlenen değişken kesitin hadde profile oranla daha ekonomik sonuç verdiği Çizelge 6.5’te görülmektedir. Kirişlerde de belirlenen değişken kesitlerin hadde profillere oranla ne mertebe ekonomik bir çözüm olduğu Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2 : Çerçeve kirişi kesit kıyaslamaları.

Kirişlerde değişken kesit ile hadde profil arasındaki sonuçlar						
Eleman tipi	Yükleme durumu	Seçilen kesit (değişken)	Ağırlık (kg/m) (I)	Seçilen kesit (hadde)	Ağırlık (kg/m) (II)	Değişim (%) (I-II) / II
Kiriş	Ölü	27.8-54.8/20/0.9/0.5	44	HEA 260	68.2	-35.48%
Kiriş	Eiy	25.8-51.8/20/0.9/0.5	43	HEA 260	68.2	-36.95%
Kiriş	Yor	25.8-53.8/20/0.9/0.5	43	HEA 260	68.2	-36.95%
Kiriş	Dep	25.8-53.8/20/0.9/0.5	43	HEA 280	76.4	-43.72%

Düşey ve yatay stabilite çaprazlarının kesit tayininde, 2007 deprem yönetmeliğinde belirlenen narinlik sınırı etkin olmuştur.

Kren kirişi ise İMO-02/2008 de belirlenen yorulma hesabına göre belirlemiştir. Düşey ve yatay dış yükler altında HEA500 olarak boyutlandırılan hadde profil kren kirişi, standartta belirtilen yorulma ile ilgili hususlar gözönüne alındığında HEA600 olarak büyütülmek durumunda kalmıştır.

Kren kirişinin mesnetlendirildiği konsol kiriş ise değişken kesitli olarak boyutlandırılmış, ancak bu eleman için de yorulma etkilerinin etkin olması sebebiyle kesit büyütülmek durumunda kalmıştır.

Özetle bu çalışma sonucu, bu tip bir sanayi yapısının boyutlandırılmasında değişken kesitlerin hadde profillere oranla daha ekonomik sonuçlar verdiği görülmektedir, ancak bu sonuçların farklı yapı tiplerinde de aynı sonuçları vereceği sonucu çıkarılmamalıdır. İnşaat sektöründe, uygulama projeleri hazırlanırken zaman, maliyet ve bütçe kavramları da gözönünde bulundurularak optimum mühendislik hizmeti verilmesi hedeflenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Odabaşı, Yalman**,(1982). Çelik Çatı Elemanlarının Ekonomik Çözümleri, *Teknik Kitaplar Yayınevi*, İstanbul.
- [2] **Odabaşı, Yalman**,(1989). Ülkemizde Çelik Yapı Uygulamalarının Genel Görünümü Üzerine Bir İnceleme, *İTÜ İnşaat Fakültesi*, İstanbul.
- [3] **Yardımcı, Nesrin**,(2009). Çelik Yapıların Tasarım ve Boyutlama Esasları, İstanbul.
- [4] **Johnson, Timothy W.**,(2006). Comparison of Environmental Impacts of Steel and Concrete as Building Materials Using the Life Cycle Assessment Method, *Massachusetts Institute of Technology*, United States.
- [5] **Özgen, Alpay**,(1987). II. Çelik Yapılar Seminer Notları Cilt 2 Bölüm 7, *İTÜ İnşaat Fakültesi*, İstanbul.
- [6] **Odabaşı, Yalman**,(1983). I. Çelik Yapılar Seminer Notları Cilt 1 Bölüm 2, *İTÜ İnşaat Fakültesi*, İstanbul.
- [7] **Deren H., Uzgider E., Piroğlu F., Çağlayan Ö.**,(2008). Çelik Yapılar 3.Baskı, *Çağlayan Kitabevi*, İstanbul.
- [8] **Odabaşı, Yalman**,(1985). II. Çelik Yapılar Seminer Notları Cilt 2 Bölüm 6, *İTÜ İnşaat Fakültesi*, İstanbul.
- [9] **İMO 02.R-01**,(2008). Çelik Yapılar Hesap Kuralları ve Proje Esasları, *İMO İstanbul Şubesi*, İstanbul.
- [10] **Url-1** < <http://www.turdemsac.com/Aluminyumsandevicpanel.htm> >, alındığı tarih: 17.08.2008
- [11] **The National Building Code of Canada**,(2005). Snow, Wind and Earthquake Load Design Criteria For Steel Building Systems.
- [12] **TS 498**, (1997). Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [13] **Url-2** < <http://www.abuscranes.co.uk/> >, alındığı tarih: 13.03.2011
- [14] **DIN 120**, Kren ve Kren Yolları Çelik Yapı Kısımlarının Hesap Esasları.
- [15] **DBYBHY**,(2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.
- [16] **TS 648**, (1980). Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Zihni AYDENİZ
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul – 17.02.1983
E-Posta : z_aydeniz@yahoo.com
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi (2006)