İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK YAPI TASARIMINDA TÜRK STANDARTLARININ AISC 360-05 VE 07-05 YAKLAŞIMLARINA GÖRE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bahar TOLAN

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cavidan YORGUN

AĞUSTOS 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK YAPI TASARIMINDA TÜRK STANDARTLARININ AISC 360-05 VE 07-05 YAKLAŞIMLARINA GÖRE İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bahar TOLAN
(501081009)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Ağustos 2011
Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Ağustos 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cavidan YORGUN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Mecit ÇELİK (İTÜ)
Prof. Dr. Nesrin YARDIMCI (YÜ)

AĞUSTOS 2011

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğititimim boyunca değerli fikirleriyle çalışmalarıma yön veren anlayışını, değerli zamanını ve emeğini üzerimden esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Cavidan Yorgun'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bana karşı gösterdikleri sabır, anlayış ve koşulsuz sevgi için değerli ailem ve arkadaşım Çağlar Bodur'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ağustos 2011

Bahar Tolan

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
KISALTMALAR ... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ... **xi**
SEMBOL LİSTESİ ... **xiii**
ÖZET ... **xv**
SUMMARY ... **xvii**
1. GİRİŞ ... **1**
1.1 Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı ... 1
1.2 Çelik Yapı Sistemlerinde Süneklik Kavramı ... 2
1.3 Taşıyıcı Yapı Sistemleri ... 4
1.4 Çelik Yapı Tasarımında Kullanılan Yük Kombinasyonları ... 6
1.4.1 TS 648 için yük kombinasyonları ... 7
1.4.2 AISC 360-05 (ASD) için yük kombinasyonları ve güvenlik faktörü ... 8
1.5 Amaç ... 10
2. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER ... **11**
2.1 Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemlerin Tanımı Ve Tasarım Felsefesi ... 11
2.2 Çaprazların Histeretik Enerji Yutma Kapasitesi ... 12
2.3 Çapraz Elemanın Narinliğinin Davranışa Etkisi ... 14
2.4 Çaprazların Uç (Sınır) Şartlarının Davranışa Etkisi ... 17
2.5 Çapraz Elemanların Kesit Şeklinin Davranışa Etkisi ... 18
2.6 Çapraz Elemanlarda Genişlik – Kalınlık Oranı Limitleri ... 19
2.7 Deprem Yönetmeliklerinde Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemlerin Sınıflandırılması ... 20
2.7.1 DBYBHY 2007'ye göre merkezi çelik çaprazlı sistemler ... 20
2.7.2 AISC 341-05'e göre merkezi çelik çaprazlı sistemler ... 20
3. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER İÇİN TASARIM KURALLARI ... **23**
3.1 ANS/AISC 341-05 İçin Tasarim Kurallari ... 23
3.1.1 Giriş ... 23
3.1.2 Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemler ... 23
3.1.2.1 Elemanların narinliği 23
3.1.2.2 Gerekli dayanım 24
3.1.2.3 Yatay yüklerin dağılımı 24
3.1.2.4 Genişlik-kalınlık oranı limitleri 24
3.1.2.5 Çapraz birleşimlerinin gerekli dayanımı 27
3.1.2.6 Özel çapraz düzenleri için ek kosullar 28
3.2 DBYBHY 2007'De Verilen Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları ... 30
3.2.1 Giriş ... 30

3.2.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler 30
3.2.2.1 Enkesit koşulları: 30
3.2.2.2 Yatay yüklerin dağılımı 31
3.2.2.3 Çaprazların birleşimi 31
3.2.2.4 Özel çapraz düzenleri için ek koşullar 32
3.2.2.5 Kolon ekleri 33
3.2.3 Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler 35
3.2.3.1 Enkesit koşulları 35
3.2.3.2 Çaprazların birleşimi 35
3.2.3.3 Özel çaprazlar düzenleri için ek koşullar 36
4. HER İKİ DOĞRULTUDA SÜNEKLİLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN ÇELİK BİNANIN TASARIMI 37
4.1 Sistem 37
4.2 Yükler 39
4.2.1 Düşey yükler 39
4.2.2 Deprem yükleri 39
4.2.2.1 Deprem karakteristikleri 39
4.2.2.2 Düzensizlikleri kontrolü 40
4.2.2.3 Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi 40
4.2.2.4 Toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplanması 44
4.2.2.5 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması 44
4.2.3 Rüzgar yükleri 46
4.3 Sistemin Analizi 46
4.4 Göreli Kat Ötelenmelerinin Kontrolü 47
4.5 İkinci Mertebe Etkileri 48
4.6 Yük Birleşimleri 50
4.6.1 Yük kombinasyonu-1 50
4.6.2 Yük kombinasyonu-2 52
4.6.3 Yük kombinasyonu-3 53
4.7 Yük Kombinasyonlarına Göre Boyutlandırma 55
4.7.1 Kolonların boyutlandırılması ve yükleme durumları 55
4.7.1.1 Kolonların boyutlandırılması için yükleme durumları 55
4.7.1.2 Kolonların boyutlandırılması 56
4.7.2 Çapraz elemanların boyutlandırılması ve yükleme durumları 59
4.7.2.1 Çapraz elemanların boyutlandırılması için yükleme durumları 59
4.7.2.2 Çapraz elemanları boyutlandırılması 60
4.7.3 Kirişlerin boyutlandırılması ve yükleme durumları 64
4.7.3.1 Kirişlerin boyutlandırılması için yükleme durumları 64
4.7.3.2 Kirişlerin boyutlandırılması 65
4.7.4 Tali kirişlerin boyutlandırılması ve yükleme durumları 73
4.7.4.1 Tali kirişlerin boyutlandırılması için yükleme durumları 74
4.7.4.2 Tali kirişlerin boyutlandırılması 75
4.8 Boyutlandırılmaların Karşılaştırılması 78
5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER 79
KAYNAKLAR 83
EK.A 85

KISALTMALAR

AISC : American Institute of Steel Construction
ASCE : American Society of Civil Engineers
ASD : Allowable Stres Design
TS 648 : Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
TS : Türk Standardı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Çelik çerçevelerin ana karakteristikleri ve sistem tipleri 4
Çizelge 3.1 : Basınç elemanları için genişlik kalınlık oranları sınır değerleri.....25
Çizelge 3.2 : Basınç elemanları için genişlik kalınlık oranları sınır değerleri.....26
Çizelge 3.3 : DBYBHY 2007 Bölüm 4, Tablo 4.2' deki büyütme katsayıları 31
Çizelge 3.4 : DBYBHY 2007 Bölüm 4, Tablo 4.3' deki enkesit 34
Çizelge 4.1 : Kat ağırlıkları ve kat kütleleri.....41
Çizelge 4.2 : Fiktif kuvvetlerin bulunması 42
Çizelge 4.3 : Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri (x doğrultusu).....43
Çizelge 4.4 : Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri (y doğrultusu).....43
Çizelge 4.5 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri.....45
Çizelge 4.6 : (x) Doğrultusunda göreli kat ötelenmelerinin kontrolü 47
Çizelge 4.7 : (y) Doğrultusunda göreli kat ötelenmelerinin kontrolü 48
Çizelge 4.8 : (x) ve (y) Doğrultusunda ortalama kat ötelenmeleri.....49
Çizelge 4.9 : Kolonların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisi).....55
Çizelge 4.10 : Kolonların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük,hareketli yük ve deprem etkisi) 56
Çizelge 4.11 : Çapraz elemanların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisi) 59
Çizelge 4.12 : Çapraz elemanların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük,hareketli yük ve deprem etkisi) 60
Çizelge 4.13 : Kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisinde) 64
Çizelge 4.14 : Kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük, hareketli yük ve deprem etkisinde) 65
Çizelge 4.15 : Tali kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (sadece ölü ve hareketli yük).....74
Çizelge 4.16 : Tali kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisinde).....74
Çizelge 4.17 : Tali kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük, hareketli yük ve deprem etkisinde) 74
Çizelge 4.18 : Boyutlandırılmaların karşılaştırılması.....78

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Süneklik Tanımı 3
Şekil 1.2 : Çelik çerçeve tipleri 6
Şekil 2.1 : Birleşimlerde meydana gelen hasarlar 12
Şekil 2.2 : Merkezi çaprazlı elemanın plastik davranışı 13
Şekil 2.3 : Çapraz elemanın tekrarlı yükler altındaki deformasyonu 13
Şekil 2.4 : Deneyler tarafından bulunan çapraz histeretik çevrimler 15
Şekil 2.5 : Kısa, uzun ve orta narinlikte çapraz elemanların şematik histeretik davranışı 15
Şekil 2.6 : Narinliği fazla olan çapraz elemanlı tek katlı çerçevenin histeretik davranışı 16
Şekil 2.7 : İki ucu mafsallı çapraz elemanın elastik ve elastik olmayan burkulma şekil değiştirmesi.....17
Şekil 2.8 : Bir ucu mafsallı bir ucu ankastre çapraz elemanın elastik ve elastik olmayan burkulma şekil değiştirmesi.....18
Şekil 2.9 : Aynı narinlikteki değişik kesitlerin histeretik davranışı 18
Şekil 4.1 : Normal kat sistem planı 37
Şekil 4.2 : A aksı çerçevesi..... .38
Şekil 4.3 : 1 aksı çerçevesi..... .38
Şekil 4.4 : Katlardaki fiktif yatay kuvvetler ..... .42
Şekil 4.5 : Çapraz eleman..... .60
Şekil 4.6 : Çapraz eleman..... .62
Şekil 4.7 : Tali kiriş kesme kuvveti ve moment diyagramı..... .62

SEMBOL LİSTESİ

A : Eleman enkesit alanı
A(T) : Spektral ivme katsayısı
A_g : Brüt alan
b : Kesit genişliği
C_a : Sismik tepki katsayıları
c_f : Aerodinamik yük katsayısı
C_m : Moment azaltma faktörü
d : Gövde yüksekliği
d_{fi} : Binanın i'inci katında F_{fi} fiktif yüklerine göre hesaplanan yerdeğiştirme
d_g : Gövdenin düz kısmının uzunluğu
E, E_s : Çeliğin elastisite modülü
E_x : (x) doğrultusundaki deprem kuvveti
E_{x1} : (x) doğrultusundaki deprem kuvveti (+ y yönünde %5 dışmerkezlik)
E_{x2} : (x) doğrultusundaki deprem kuvveti (- y yönünde %5 dışmerkezlik)
E_y : (y) doğrultusundaki deprem kuvveti
E_{y1} : (y) doğrultusundaki deprem kuvveti (+ x yönünde %5 dışmerkezlik)
E_{y2} : (y) doğrultusundaki deprem kuvveti (- x yönünde %5 dışmerkezlik)
F_{cr} : Burkulma durumunda kritik akma gerilmesi
F_y : Çelik malzemenin akma dayanımı
g : Sabit yük
h : Kesit yüksekliği
h_i : Binanın i. katının kat yüksekliği
h_o : Profil başlık merkezleri arası uzaklık
I : Bina önem katsayısı
I_x, I_y : Atalet momenti
I_{weak} : Zayıf eksenin atalet momenti
i_{min} : Minimum atalet yarıçapı
K : Burkulma katsayısı
l : Açıklık mesafesi
L, Q : Hareketli yük
l_b : Kirişin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arası mesafe
m_i : Binanın i. katının kütlesi
M_{max} : Maksimum moment
M_p : Plastik moment taşıma kapasitesi
M_r : Gerekli eğilme dayanımı
n : Hareketli yük katılım kat sayısı
N, P : Eksenel kuvvet
N_d : Düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
N_{bp} : Eksenel basınç kapasitesi
$N_{çp}$: Kolon çekme kuvveti taşıma kapasitesi

N_y, P_y : Akma gerilmesi durumundaki eksenel kuvvet
P_a : Gerekli basınç dayanımı
P_n : Mevcut basınç dayanımı
q : Rüzgar yükü
q_i : Binanın i. katıdaki toplam hareketli yük
R : Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
r : Atalet yarıçapı
R_a : Gerekli dayanım (ASD)
$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_n : Karakteristik dayanım
R_y : Akma gerilmesi arttırma gerilmesi
$S(T)$: Yerel zemin koşullarına ve bina titreşim periyoduna bağlı olarak hesaplanan spektrum katsayısı
T : Bina doğal titreşim periyodu
t : Levha et kalınlığı
T_A, T_B : Spektrum karakteristik periyotları
t_f : Başlık kalınlığı
t_w : Gövde kalınlığı
V_i : Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etkiyen kat kesme kuvveti
V_n : Kayma dayanımı
V_t : Taban kesme kuvveti
V_{tx} : (x) doğrultusundaki taban kesme kuvveti
V_{ty} : (y) doğrultusundaki taban kesme kuvveti
W : Eşdeğer deprem yükü hesabında kullanılacak bina toplam ağırlığı
w_i : Binanın i'inci katının hareketli yük katılım katsayısı kulanılarak hesaplanan ağırlığı
W_x, Z_x : Elastik mukavemet momenti
W_{px}, Z_e : Plastik mukavemet momenti
Δ_i : Binanın i'inci katındaki azaltılmış göreli kat ötelenmesi
$(\Delta_i)_{ort}$: Binanın i'inci katındaki ortalama azaltılmış göreli kat ötelenmesi
Δ_{max} : Binanın i'inci katındaki maksimum azaltılmış göreli kat ötelenmesi
Δ_{min} : Binanın i'inci katındaki minimum azaltılmış göreli kat ötelenmesi
δ : Etkin göreli kat ötelenmesi
λ : Narinlik
λ_x : Kuvvetli eksene göre basınç çubuğunun narinliği
λ_y : Zayıf eksene göre basınç çubuğunun narinliği
λ_p : Sınır narinlik oranı
σ : Basınç gerilmesi
σ_{bem} : Basınç emniyet gerilmesi
Ω : Güvenlik katsayısı
Ω_o : Büyütme katsayısı

ÇELİK YAPI TASARIMINDA TÜRK STANDARTLARININ AISC 360-05 VE 07-05 YAKLAŞIMLARINA GÖRE İNCELENMESİ

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeve sistemler tanımlanmış, bu çerçeve sistemlerin AISC (American Institute of Steel Construction) ve DBYBHY'e (Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında Yönetmelik) göre tasarım kurallarından bahsedilmiştir.

İlk bölümde; depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı, çelik taşıyıcı sistemlerin özellikleri ve süneklik kavramı anlatılmıştır.

İkinci bölümde; merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin tanımları, çelik çaprazların özellikleri, çevrimsel yükleme altındaki davranışları ve merkezi çelik çaprazlı çerçeve türleri tanımlanmıştır.

Üçüncü bölümde; AISC' ye (American Institute of Steel Construction – 2005) göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçevelerin süneklik düzeyini belirleyen tasarım kuralları verilmiştir.

Dördüncü bölümde; DBYBHY'e (Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında

Yönetmelik – 2007) göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerin boyutlandırılmasına ilişkin tasarım kuralları verilmiştir.

Beşinci bölümde; altı katlı örnek bir yapının tasarımı, süneklik düzeyi yüksek olarak yapılmıştır. Tasarımda yapısal analiz için SAP 2000 bilgisayar programı kullanılmıştır. Hesaplamalarda ve karşılaştırmada TS 648 ve ASCE 7-05'te güvenlik dayanımları hesap yöntemi için verilen yük kombinasyonları kullanılmıştır.

Son bölümde; çalışmanın ana özellikleri ve sayısal incelemeden elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

EVALUATION OF TURKISH SPECIFICATION ACCORDING TO AISC 360-05 AND 07-05 OF STEEL MOMENT FRAMES

SUMMARY

In this study, which is presented as a Master of Science Thesis, concentrically braced steel frames are defined, design rules for special concentrically braced steel frame structures are given with regard to AISC (American Institute of Steel Construction) – seismic provisions for structural steel buildings and DBYBHY (Specification for Structures to be Built in Eartquake Region) and the design of specially concentrically braced frames for a sample building are examined by the rules of DBYBHY and the rules of the AISC.

In the first chapter, seismic design of steel structures, properties of steel frame systems and the ductility of the steel frames mentioned.

In the second chapter, concentrically braced steel frames are defined and properties of braces, cyclic behaviours and bracing types are described.

In the third chapter, design rules for special concentrically braced steel frames are given for AISC 2005 (American Institute of Steel Construction).

In the fourth chapter, design rules for special concentrically braced steel frames are given for DBYBHY 2007 (Specification for Structures to be Built in Eartquake Region).

In the fifth chapter, the load combinations given by ASCE 7-05 for allowable stress design and Turkish Specification for Steel Structures (TS 648) are used to determine internal forces and to compare performance of the concentrically braced frames under earthquake action.

In the last chapter, the main characteristic of the study and evaluation of the numerical result are presented.

1. GİRİŞ

1.1 Depreme Dayanıklı Çelik Yapı Tasarımı

1994 Northrige ve 1995 Kobe depremleri ile orta ve büyük ölçekte yer hareketine maruz kalan çelik yapılarda, uygun çerçeve geometrisi ve yeterli birleşim detayları ortaya konmadığı zaman; sünek ve yüksek dayanım kapasitesine sahip olduğu bilinen çelik yapıların, sanıldığı gibi deprem karşısında yüksek performans sergileyemediği görülmüştür.

Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı için bu depremler bir dönüm noktası olmuş ve yapısal çelik sektöründe yeni tasarım kriterlerinin belirlenmesine sebep olmuştur. Yeni tasarım kriterlerinin belirlenmesi için son yıllarda çelik yapıların sismik performansı üzerine pek çok çalışma yapılmıştır.Bu çalışmalar kapsamında, çelik binaların performansa göre tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi ve kapasite tasarımı ilkelerinin çelik yapı sistemlerine uygulanması yer almaktadır.

Bir çelik bina taşıyıcı sisteminin deprem etkileri altında yeter güvenlikli olarak tasarımında, genel olarak aşağıdaki iki farklı yaklaşımdan biri uygulanabilir.

a) Dayanıma göre tasarım yöntemi denilen bu analiz yönteminde tasarım depremi adı verilen deprem etkileriden oluşan iç kuvvetlerin kesitlerin doğrusal-elastik taşıma kapasitelerini aşmasına ve sistemde plastik şekil değiştirmelerin aşılmasına izin verilmez. Böylece sistemin şekil değiştirmeleri doğrusal-elastik sınırlar içinde kalır ve bina taşıyıcı sisteminde hasar oluşmaz.Ancak bu tasarım yaklaşımı ekonomik değildir ve sadece önem derecesi yüksek olan binalara uygulanmaktadır.

b) Pratik uygulamaların önemli bir bölümünde, deprem etkileri altında yapı taşıyıcı sisteminde doğrusal-elastik sınırı aşan şekildeğiştirmelerin meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu durumda, öngörülen plastik şekildeğiştirmelerin oluşmasına izin verilir ve böylece deprem enerjisinin yapının plastik şekildeğiştirmeleri ile söndürülmesi amaçlanır. Bu işlem, kapasite tasarımı kavramı doğrultusunda belirlenen ilgili yönetmelik kuralları ile veya performansa göre tasarım yöntemi uygulanarak gerçekleştirilir.

Diğer ülkelerin deprem yönetmeliklerine benzer olarak Türk Deprem Yönetmeliği'nde de, depreme dayanıklı betonarme ve çelik bina taşıyıcı sistemlerinin boyutlandırılmasında dayanıma göre tasarım yaklaşımı uygulanmaktadır. Bu yaklaşımın üç temel birleşimi, dayanım kriteri, rjitlik kriteri ve sistem sünekliğidir.

Diğer modern deprem yönetmeliklerine benzer olarak, Türk Deprem Yönetmeliği'nin özellikle depreme dayanıklı çelik binaların tasarımına ilişkin bölümü kapasite tasarımı ilkelerini geniş olarak içermektedir.Buna karşılık, deprem yönetmeliklerinde kapasite tasarımı ilkesinin uygulandığı günümüzde, halen tek boyutlandırma yöntemi olarak emniyet gerilmeleri esasına göre tasarımın esas alındığı TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları standardının modern yaklaşımlara uygun olarak güncelleştirilmesi gereklidir.[1]

1.2 Çelik Yapı Sistemlerinde Süneklik Kavramı

Depreme dayanıklı çelik taşıyıcı sistem tasarımında, yeterli yatay rijitliğin ve yüksek süneklik düzeyinin sağlanabilmesi önemlidir. Sistem sünekliği, taşıyıcı sistemin önceden belirlenen bazı kesitlerinin yeterli düzeyde plastik şekil değiştirme kapasitesine sahip olması, böylece deprem enerjisinin bu kesitlerin plastik şekil değiştirmeleri ile söndürülmesi ve deprem etkileri altında yapısal göçmenin önlenmesi özelliği olarak tanımlanmaktadır [1]. Başka bir deyişle bir taşıyıcı sistemin çevrimsel etki altında enerji tüketen bölgeleri ne kadar fazla ise deprem etkisi altında sünekliği de o kadar fazladır [2]. Sistem sünekliğinin sağlanmasının başlıca koşulları;

a) Bina taşıyıcı sistemi için uygun bir mekanizma durumu seçilerek, doğrusal – elastik sınır ötensinde şekil değiştirme yapması öngörülen plastik kesitlerin belirlenmesi

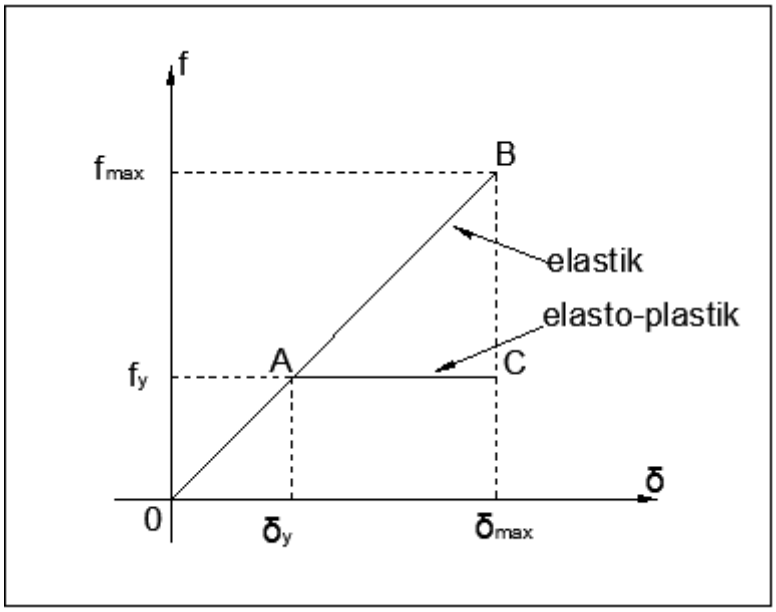
b) Plastik kesitlerin yeterli düzeyde plastik şekil değiştirme kapasitesine sahip olması

c) Sistemin elastoplastik şekil değiştirmesi sırasında, gevrek göçme meydana gelmemesi olarak sıralanabilir.

Çelik yapılar, malzeme yönünden yüksek sünekliğe sahip olmasına rağmen, sistem süneklik bakımından aynı yüksek özelliğe sahip olmayabilir. Çünkü sistem sünekliğinde malzeme özellikleri yanı sıra sistem geometrisi de önemli bir ölçüt

olmaktadır. Diğer taraftan, uygulamada yapıların çoğu değişik nedenlerden dolayı burulma düzensizliğine sahip yapılar olarak tasarlandığı için, çok düzenli ve hiçbir yapısal düzensizliğe sahip olmadan tasarlanan yapılar bile çeşitli uygulama hatalarından dolayı (özellikle çelik yapılar da sıkça karşılaşılır) deprem anında burulmalı davranış sergileyebilmektedir. [2]

Bunlarla birlikte elemanların enkesit koşullarıda sistem sünekliliğini etkileyen önemli faktörlerden biridir. Eleman enkesitlerinin bölgesel narinliklerinin (başlık genişliği/kalınlık, gövde yüksekliği/kalınlık ve çap kalınlık oranlarının) doğrusal-elastik sınırı aşan basınç gerilmeleri altında yerel burkulma olmaksızın şekil değiştirmeye izin vermesi gerekmektedir.Bu sebeple elemanların sağlaması gereken enkesit koşulları yönetmeliklerce sınırlandırılmıştır. Süneklilik düzeyi yüksek ve süneklilik düzeyi normal sistemlerin enkesit koşulları ayrı ayrı 2007 Türk Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY 2007) ve Amerikan Çelik Yapılar Deprem Yönetmeliği'nde de (ANSI/AISC 341-10,2010).



Şekil 1.1 : Süneklik Tanımı [3]

Sayısal tanım olarak sistemin süneklik oranı, göçme sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranıdır. Şekil 1.1'de bir elemanın kuvvet-yerdeğiştirme değişimi gösterilmiştir. OAC elemanın mevcut elasto-plastik davranışına, OAB ise elastik özelliğin devam etmesi durumunda erişilen δ_{max} en büyük yerdeğiştimesine karşılık gelmektedir.

Doğrusal elastik kabul yapılarak yapıların hesaplanması daha kolaydır. Buna göre doğrusal olmayan bir deprem hesabı; doğrusal elastik bir hesap yapılarak bulunan etkilerin süneklik oranında azaltılmasıyla bulunan değerlere göre elemanların boyutlandırılmasıyla yaklaşık olarak gerçekleştirilir.Bu sebeple, deprem yönetmeliklerinde süneklik düzeyine bağlı olarak bir yapı davranış katsayısı (R) tanımlanmakta ve hesaplamalarda yapıya etkitilecek olan deprem kuvvetleri bu davranış katsayısına bölünerek azaltılmaktadır.

1.3 Taşıyıcı Yapı Sistemleri

Taşıyıcı sistemlerin depreme dayanıklılığı için en önemli iki faktör, sistemin yeterli yatay rijitliğe sahip olması ve süneklik düzeyinin yüksek olmasıdır. Çelik yapılar için çerçeve sistemler :

a) Moment aktaran çerçeveler

b) Merkezi çelik çaprazlı çerçeveler

c) Dışmerkez çelik çaprazlı çerçeveler

Çizelge 1.1 : Çelik çerçevelerin ana karakteristikleri ve sistem tipleri [5]

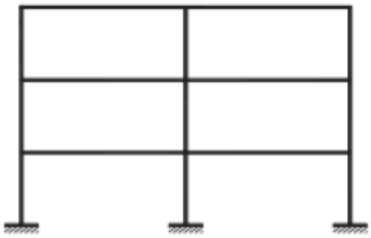
	Moment Aktaran Çerçeveler	Merkezi Çaprazlı Çerçeveler	Dış Merkezi Çaprazlı Çerçeveler
Rijitlik	Düşük	Yüksek	Orta
Süneklik	Yüksek	Düşük	Orta
Enerji Yutan Bölgeler	Kiriş Uçları	Çaprazlar	Bağlantı Kirişi

Çizelge 1.1’ de ana çerçeve sistemler, karakteristik performansları ve enerji yutma bölgelerinde beklenen durumlara göre gösterilmiştir.[4]

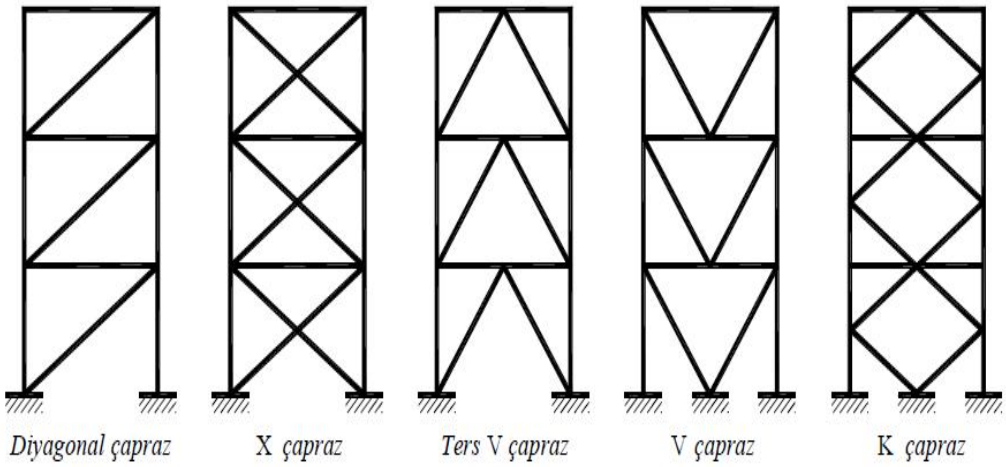
Moment aktaran çelik çerçeveler kolon ve kirişlerin, kaynaklı veya yüksek mukavemetli bulonlar aracılığıyla birbirleri ile birleştirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir. Sisteme etkiyen yatay deprem kuvvetlerine karşı dayanım, kiriş ve kolonlarda meydana gelen kesme kuvveti ve eğilme momenti ile sağlanır.

Dış merkez çaprazlı çelik çerçeveler çelik çapraz eleman en az bir ucu kirişte "bağlantı (bağ) kirişi" adı verilen bir parçayı oluşturulacak şekilde bağlanmasıyla oluşur. Bu tip çerçevelerin süneklik düzeyi yüksek olarak adlandırılabilmesi için birleşim noktası ile bu bağlantı arasındaki kiriş parçasının büyük plastik deformasyonlar yapabilmesi gerekir. Böylece bağlantı kirişinin plastik kayma deformasyonu yapmasına imkan verilerek enerji yutması sağlanır.

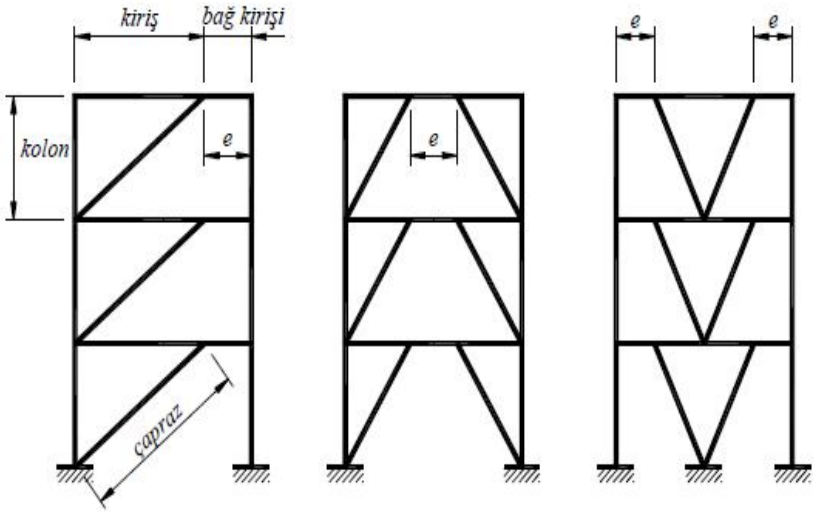
a)



b)



c)



Şekil 1.2 : Çelik çerçeve tipleri [4]: a) Moment aktaran çerçeve, b) Merkezi çaprazlı çerçeveler, c) Dış merkez çaprazlı çerçeveler

Merkezi çaprazlı sistemler Şekil 1.2'de verildiği gibi beş farklı çapraz sistemiyle oluşturulabilir.

a) Diyagonal çaprazlar: Bu tip çerçeve sistem tek çapraz ile oluşturulur ve bu eleman hem basınç hemde çekmeyi taşıyabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Deprem enerjisi, elemanın tersinir eksenel şekilde şekil değiştirmesi sayesinde tüketilir.Burkulma etkisinden kaynaklanan eksenel yükle elemanın simetrik olmayan davranışından dolayı, tek çaprazlı diyagonal sistemler yerine çift çaprazlı çerçeveler tercih edilir.

b) X çaprazlar: X şeklindeki çaprazlı çerçevelerde her zaman çapraz elemanlardan biri çekmeye diğeri basınca çalışmaktadır. Basınç çaprazları, çekme çaprazlarına göre narinliğin artmasıyla deprem enerjisinin sönümlenmesinde daha önemsiz bir katkısı vardır.

c) V ve Ters V şeklindeki çaprazlar: Bu tip çerçeve sistemlerin X şeklindeki çaprazlı sistemler arasındaki temel farkı çapraz elemanlardaki eksenel kuvvetlerden oluşan düşey etkidir.Bu sebeple yatay elemanda eğilme etkisi oluşur.Bu şekilde tasarlanan yük taşıma kapasitesi tersinir yatay yüklere bağlıdır ve yatay elemanın sürekli elemandan oluşmasıyla elverişli olabilir.

d) K şeklindeki çaprazlar: Bu tip çerçeve sistemlerin güvenilirliği özellikle şiddetli deprem bölgelerinde yeterli değildir. V şeklindeki çerçevelere benzer davranış gösterirler ama burada tehlike daha fazladır. Kolonun ortasındaki yatay deplasman, kolonun yanal burkulmasına ve bu da beklenmedik göçmeye neden olur.

1.4 Çelik Yapı Tasarımında Kullanılan Yük Kombinasyonları

Yapıya etkiyen kuvvetler, yükler olarak adlandırılır. Yapı tasarımında belki en önemli ve en zor görev yapının ömrü boyunca taşıyacağı yüklerin belirlenmesi ve bu yüklerin aynı anda etkimesiyle meydana gelebilecek en elverişsiz kombinasyona karar verilmesidir. Bu sebeplerden dolayı yükler standartlarca sürekliliklerine ve nitelliklerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırmayı ölü yükler, hareketli yükler ve çevresel yükler olarak tanımlayabiliriz.

a) Ölü yükler: Tek doğrultuda sabit büyüklükteki yüklerdir. Yapı elemanlarının ağırlıkları ve elemanlara kalıcı olarak etki eden diğer yüklerden oluşur. Örneğin bir

çelik yapı için,yapı elemanlarının kendi ağırlıkları, duvarlar, döşemeler, çatı, sıhhi tesisat ve demirbaşlar ölü yükleri oluşturur.

b) Hareketli yükler: Doğrultusu ve büyüklüğü değişen yüklerdir. Hareketli yükler kendi güçleriyle yer değiştirebilirler. Örneğin; araçlar, insanlar ve krenler hareketli yüklerdir. Bunların dışında, hidrostatik basınçtan oluşan kuvvetler, darbe yükleri (büyük patlamalar gibi) ve merkez kaç kuvveti gibi hareketli yüklere dahil edilebilen yüklerde bulunmaktadır.

c) Çevresel yükler: Çevresel etkilerden doalyı yapının bazı bölümlerine etki eden yüklerdir. Binalar için yağmur, kar, rüzgar, sıcaklık değişimleri ve depremler bu tür yükleri oluşturmaktadır.

1.4.1 TS 648 için yük kombinasyonları

Çelik yapıların hesaplarında kullanılacak yükler iki gruba ayrılır:

1) EsasYükler (H)

2) İlave Yükler (Z)

Bu yüklerin ayrımı aşağıdaki gibidir;

Esas Yükler (H): Öz yük, faydalı yük, kar yükü, kren yükü, makinelerin kütle kuvvetleri.

İlave Yükler (Z): Rüzgar yükü, fren kuvveti (krenlerin), ısı değişimi sonucu meydana gelen kuvvetler, montaj safhasındaki yük durumları.

Bir çelik yapının hesabı, aşağıda belirlenen iki farklı yükleme haline göre yapılır:

1) Sadece esas yükler alınır. Buna "(H) Yüklemesi" veya "1. Yükleme Hali" veya "(EY) Yüklemesi" denir.

2) Esas yüklerle beraber ilave yükler de alınır. Buna (HZ) Yüklemesi" veya "2.Yükleme Hali" veya "(EİY) Yüklemesi" denir.

TS648 yükleme durumları için kesin bir koşul belirtmemiştir. İMO İstanbul Şubesi tarafından yayınlanmış olan İMO Standart-02çR-01/2008 "Çelik Yapılar Emniyet Gerilmesi Esasına Göre Hesap ve Proje Esasları" isimli kaynakta önerilen yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir**:**

1.D (H)

2.D+L+(L_r veya S)	(H)
3.D+L+(L_r veya S) +T	(HZ)
4.D+L+S+W/2	(HZ)
5.D+L+S/2+W	(HZ)
6.0.9D ± E/1.4	(HZ)*
7.D+L+S+E/1.4	(HZ)*
8.D+(W veya E/1.4)	(HZ) veya (HZ)*
9.D+L+(W veya E/1.4)	(HZ) veya (HZ)*
10.D+L+(W veya E/1.4)+T	(HZ) veya (HZ)*

(HZ) halinde kombinasyonda deprem yükü yoktur. (H) ile ilgili emniyet gerilmeleri 1.15 ile büyütülecektir. (HZ) * halinde ise kombinasyonda deprem yükü vardır. İlgili emniyet gerilmeleri 1.33 ile büyütülecektir.

1.4.2 AISC 360-05 (ASD) için yük kombinasyonları ve güvenlik faktörü

Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi (ASD) için yükler ve dayanım arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \qquad \textbf{(1.1)}$$

R_a= gerekli dayanım (işletme yükleri için (∑Qi) en elverişsiz yük kombinasyonu ile belirlenmiş kesit tesiri; örneğin; kuvvet veya moment)

Q_i = yük etkisi

R_n = karakteristik dayanım,

Ω = güvenlik katsayısı,

R_n / Ω = güvenli dayanım

Güvenlik katsayısı akma veya basınç altında burkulma için Ω=1,67; kırılma etkisi için ise Ω=2,00 olarak kullanılmaktadır.

ASCE/SEI 7-05 “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” de

gerekli dayanımlara (P_a, V_a, M_a vb…) karar verilebilmesi için uygun yük şiddeti, yük faktörü ve yük kombinasyonu tanımlanmıştır. Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi (ASD) için aşağıdaki yük kombinasyonları uygulanmalıdır.

1) D+F

2) D+H+F+L+T

3) D+H+F+ (Lr veya S veya R)

4) D+H+F+0.75(L+T) +0.75(Lr veya S veya R)

5) D+H+F± (W veya 0.7 E)

6) D+H+F+0.75 (W veya 0.7 E) +0.75L+0.75(Lr veya S veya R)

7) 0.6D+W+H

8) 0.6D+0.7E+H

Burada;

D: Ölü Yükler

L: Hareketli Yük

E: Deprem Yükü

Lr: Hareketli çatı yükü

R:Yağmur yükü

S:Kar yükü

W:Rüzgâr yükü

F:Akışkanların basınçlarından kaynaklanan yük

H:Yanal toprak basıncı, yer altı suyu basıncı ya da dökme malzemenin basıncından kaynaklanan yük

ASCE/SEI 7-05 Bölüm 2.4'te belirtilen yük kombinasyonları Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi (ASD) için son kırk yıldır kullanılan kombinasyonlar ile benzerdir. Temel kombinasyonlar olan kombinasyon 1, 2, ve 3'de yükler için katsayı kullanılmamaktadır. Zamanla değişen yük etkileri ile oluşturulan kombinasyon 4 ve 6'da azaltma 0.75 yük faktörü ile sağlanmaktadır. Bu yük faktörü ASCE/SEI 7-05'in önceki versiyonu olan ANSI A58.1'in 1972 standardına dayanmaktadır. ASCE/SEI 7-05'de 0.75 faktörünün sadece değişken yüklere eklendiğine dikkat edilmelidir. Ölü yükler her zaman mevcut ve zaman içerisinde değişiklik göstermeyen yükler olduğundan bu azaltma uygulanmamaktadır.

ASCE/SEI 7-05 Bölüm 2.4'te bulunan 7 ve 8 numaralı yük kombinasyonları yanal kuvvetlerin ve yerçekimine ters yöndeki kuvvetlerin ölü yükler üzerindeki etkisini önlemek amacıyla 0.6 yük faktörü kullanılmıştır. Böylece güvenlik katsayıları ile tasarım yönteminin uygulamalardaki eksikliklerini ortadan kaldırır ve stabilite kontrolünün önemi vurgulanır. Dayanım prensibini esas alan ve ASCE/SEI 7-05 Bölüm 9'da "E" ile tanımlanan deprem yükleri, Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi (ASD) için kombinasyon 5 ve 8'de 0.7 faktörü ile çarpılarak kullanılmıştır.

1.5 Amaç

Bu çalışmada yapısal çelik tasarımında Türk standartları ile AISC standartları değerlendirilmiştir.

Bu amaçla, DBYBHY 2007'ye göre deprem etkilerinin süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemler ile aktarıldığı örnek bir binanın tasarımı yapılmıştır.

Yapısal çelik standartlarında yük kombinasyonları açık bir şekilde tanımlanmadığından piyasada kullanılan yük kombinasyonları da gözönüne alınarak AISC 07-05 de verilen kombinasyonlar değerlendirilmiştir.

Binanın tasarımında ise artık çağdaş yapısal çelik standartlarının çok gerisinde kalan emniyet gerilmeleri ile tasarım felsefesine dayanan TS 648 ile taşıma gücüne dayanan AISC 360-05/ASD standardı ele alınmıştır.

2. MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER

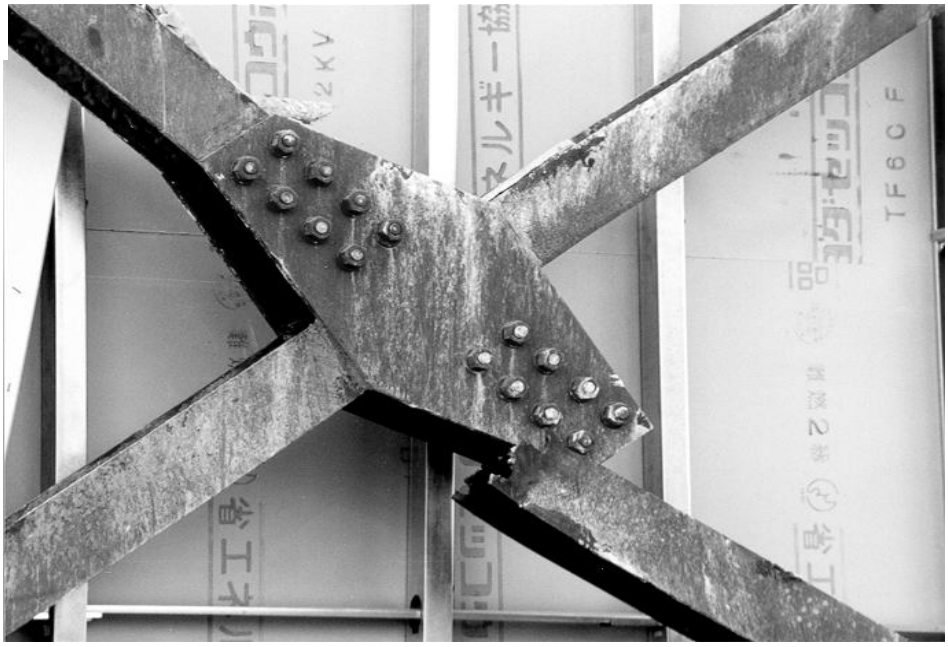
2.1 Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemlerin Tanımı Ve Tasarım Felsefesi

Merkezi çaprazlı çerçeveler, yatay yüklere karşı moment aktaran çerçevelerden daha büyük rijitliğe ve dayanıma sahip olmaları sebebiyle son yıllarda kullanımları oldukça artmıştır. Bu çerçeveler kolon, kiriş ve çapraz elemanların eksenlerinin eksantirisite oluşturmayacak şekilde, merkezi olarak birleştirilmesi ile oluşturulurlar. Bu tip bir sistemde, çapraz elemanlar ve birleşimleri sistemin en önemli özellikleridir. Bu tür çerçevelerin davranışına genellikle çapraz elemanların basınç burkulmaları hakimdir. Çapraz elemanların burkulması, sistemi tamamen göçme durumuna getirebilir. Bu yüzden merkezi çaprazlı çerçeveler, moment aktaran çerçevelerden daha düşük süneklikli olarak dikkate alınırlar ve daha büyük sismik kuvvetlere göre tasarlanırlar.

Bununla birlikte, iyi tasarlanmış bir merkezi çaprazlı çerçevede, iyi bir inelastik davranış elde edilebilir. Bu çerçeveler, yön değiştiren büyük yatay kuvvetler etkisinde, çapraz elemanların basınç altında burkularak akmaya erişmesiyle ve çekme altında akmasıyla enerjinin tüketimini sağlarlar.

Sismik tasarımda, kolon, kiriş ve birleşim bölgelerinde hasar oluşması istenmezken, düşey yük taşıma kapasitesi korunarak çapraz elamanlarda, plastik şekil değiştirmelerin meydana gelmesi istenir. Geçmiş depremler, bu idealize edilmiş davranışın çaprazlı çerçeveler ve bağlantıları uygun tasarlanmadığında gerçekleşmediğini göstermiştir. Ve zayıf deprem performansı gösteren sayısız örnek rapor edilmiştir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi bulonlu çapraz bağlantılarında bulonlar bulon deliklerinden kopmuş, kirişler ve kolonlar zarar görmüş ve kaynaklı ve bulonlu birleşimlerde kopmalar meydana gelmiştir. Kontrolsüz inelastik davranışların bir sonucu olarak çökmeler görülmüştür.

a)



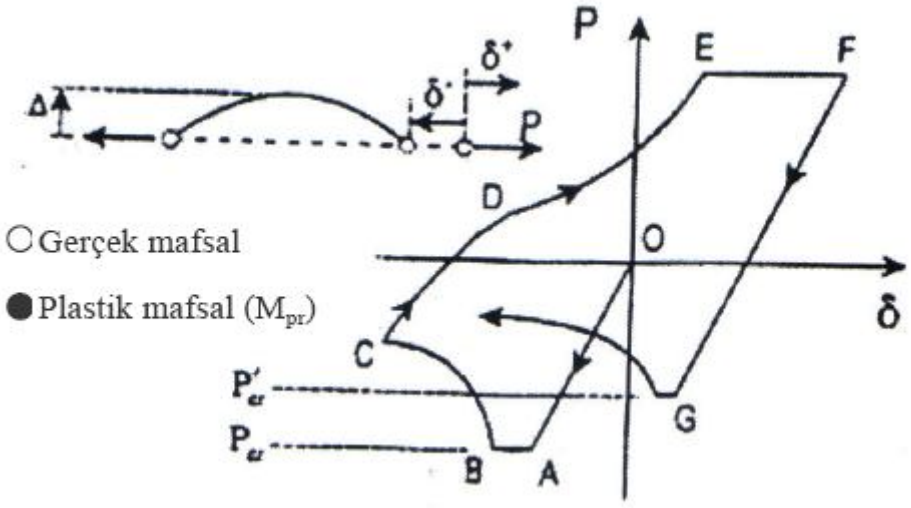
b)



Şekil 2.1 : Birleşimlerde meydana gelen hasarlar [6]: a) Bulon deliklerinde meydana gelen kopmalar, b) Kaynaklı birleşimlerde meydana gelen kırılmalar

2.2 Çaprazların Histeretik Enerji Yutma Kapasitesi

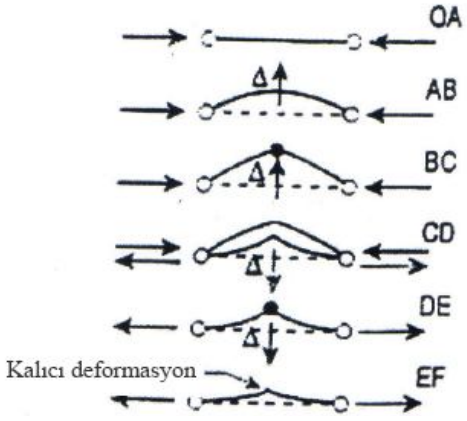
Sismik enerjiyi plastik bir şekilde yutması için diyagonal çaprazlı sistem seçildiğini farz edersek çevrimsel eksenel yüke maruz kalan tek bir çaprazın davranışını incelemek daha yararlıdır.



Şekil 2.2 : Merkezi çaprazlı elemanın plastik davranışı [7]

Bu yöntem, eksenel yük P 'ye karşı gelen eksenel uzama δ bakımından elemanların elastik olmayan davranışlarını belirlemek için kullanılır. Standartlara ve uygulamalara göre çekme kuvveti ve uzama pozitif değerlerle, basınç kuvvetleri ve deformasyonlar negatif değerlerle belirlenir. Şekil 2.2'de şematik olarak histeretik eğri gösterilmiştir. Orta açıklıkta çapraz elemanın deformasyonu Δ ile gösterilmiştir.

Elastik olmayan deformasyonun tam çevrimi şu şekilde tarif edilebilir. Başlangıçtan itibaren yüklenmemiş durumda (Şekil 2.2'de O noktası) eleman ilk basınçta elastik davranır. A noktasında burkulma meydana gelir. Yanal sehim yaparken eksenel yüklemesi devam edilen narin elemanlarda AB platosu boyunca elastik burkulma oluşur. Bu noktaya kadar çapraz eleman elastik davranmaya devam eder ve eğer yükleme boşaltılırsa elastik olarak geri döner.



Şekil 2.3 : Çapraz elemanın tekrarlı yükler altındaki deformasyonu [7]

B noktasına gelindiğinde orta açıklıkta elemanın eksenel yük tarafından azaltılmış plastik momentine ulaşılır ve plastik mafsal oluşur. B noktasına karşılık gelen Δ değeri hesaplanırken eğilme ve eksenel kuvvetin plastik moment üzerindeki etkisi de göz önüne alınmalıdır. BC bölümü boyunca orta açıklıktaki plastik dönmenin sonucu olan Δ değeri ve eksenel dayanımdaki düşüş daha da artar. P ve δ arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması da kısmen eğilme ve eksenel kuvvet arasındaki plastik etkileşimin sonucudur. Sistem bu haldeyken yük boşaltması yapılırsa, C noktasından sonraki geri dönüşüm elastik olur.

D noktasına doğru tekrar yükleme yapılırsa, uygulanan kuvvet çekme kuvvetine dönüşür ve davranış D noktasına kadar elastiktir. D noktasından itibaren de yine plastik mafsal oluşmaya başlar.

DE bölgesi boyunca plastik mafsal dönmeleri BC bölümünün aksi yönünde hareket eder ve Δ değerinin büyüklüğü azalır. Sonuç olarak, giderek daha büyük eksenel kuvvetler uygulanabilir. Basınç altında yük boşaltıldığında ve geri yüklendiğinde çapraz eleman ilk deformasyona uğradığı zamandaki gibi davranır ve ilk yüklemedeki burkulma kapasitesi (P_{cr}) genellikle bu çaprazın burkulma kapasitesinden (P'_{cr}) daha düşüktür. Daha fazla çevrimsel yüklemede P'cr değeri hızla sabit bir değere gelerek dengelenir.

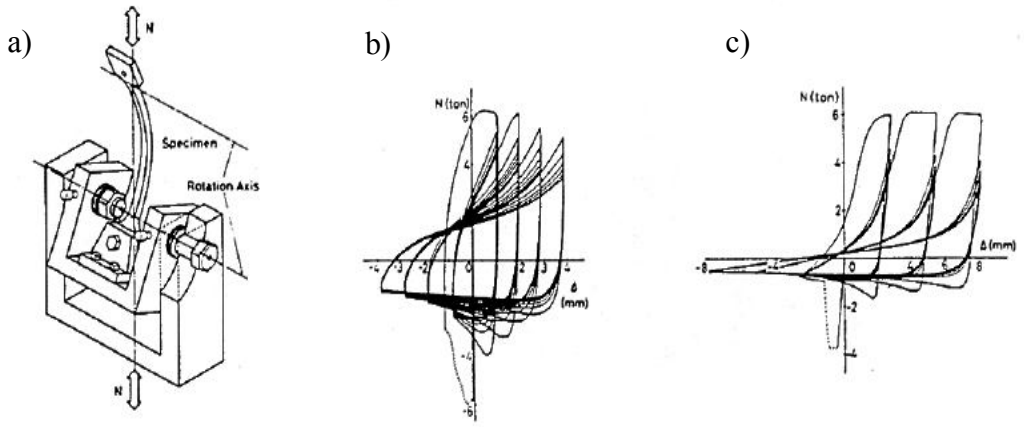
Genellikle P'cr/Pcr oranı elemanın narinlik oranı KL/r değerine bağlıdır (Bruneau et al. 1997). Kolaylık için sabit bir değer olan $P'_{cr} = 0.8\ P_{cr}$ değeri AISC tarafından belirlenmiştir.

2.3 Çapraz Elemanın Narinliğinin Davranışa Etkisi

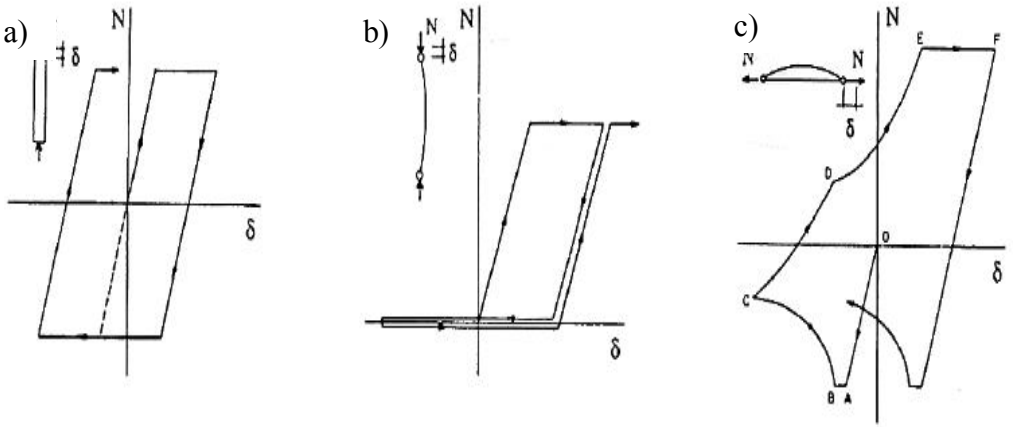
Çapraz elemanın narinlik oranı (λ), etkin uzunluk faktörü'nün (K), çapraz elemanın uzunluğunun (l), zayıf eksenin atalet momentinin (I_{weak}) ve kesit alanının (A) bir fonksiyonudur.

Denklem 2.1 kullanılarak çapraz elemanın narinlik oranı bulunabilir. Burada r_{weak} zayıf eksenin atalet yarıçapını göstermektedir. Tasarımda verilen kesit için narinlik oranının en büyük değeri seçilir.

$$\lambda = Kl\sqrt{\frac{A}{I_{weak}}} = \frac{Kl}{r_{weak}} \qquad \textbf{(2.1)}$$



Şekil 2.4 : Deneyler tarafından bulunan çapraz histeretik çevrimler [6]: a) Test düzeneği, b) KL/r = 40, c) KL/r = 120

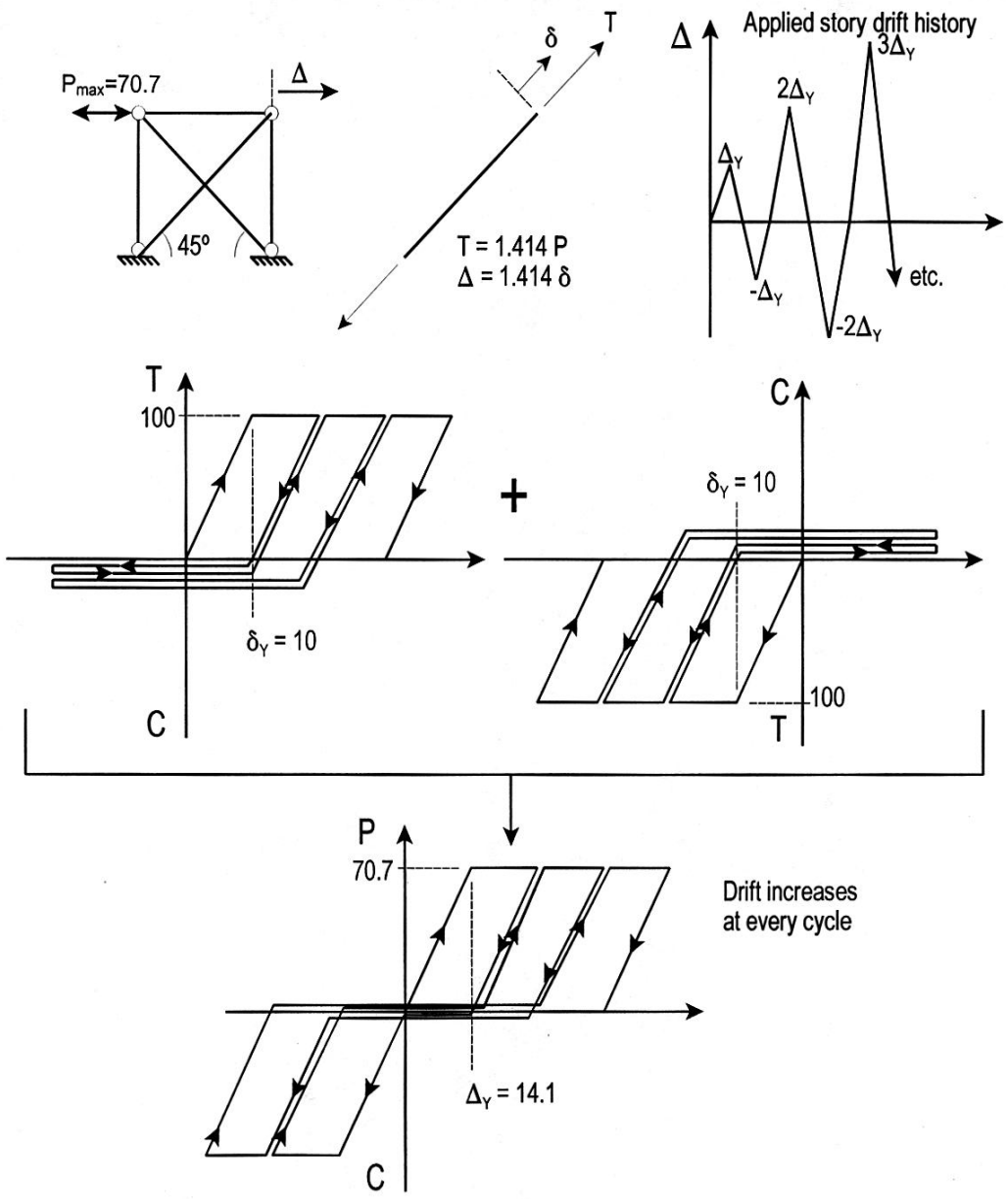


a)Kısa çapraz b) Uzun çapraz c)Orta uzunluktaki çapraz

Şekil 2.5 : Kısa, uzun ve orta narinlikte çapraz elemanların şematik histeretik davranışı [6]: a) Kısa çapraz, b) Uzun çapraz, c) Orta çapraz

Şekil 2.3'den anlaşılabildiği gibi narinliğin bir çapraz elemanın histeretik enerji yutma kabiliyeti üzerinde önemli etkisi vardır. Narin bir çapraz eleman için basınç altında zayıf enerji yutma kapasitesinin bir sonucu olarak AB bölümü uzun iken OA bölümü kısadır. Narin olamayan bir çapraz için ise bu durumun tersi geçerlidir ve AB bölümü hiç olamayabilir. Çekme altında ise narinliğin, elemanın enerji yutma kapasitesi üzerinde etkisi yoktur.

Tipik histeretik çevrimler Şekil 2.4'de gösterilen orta ve büyük narinlikteki eksenel yüklenmiş elemanlar için deneysel olarak elde edilirler.



Şekil 2.6 : Narinliği fazla olan çapraz elemanlı tek katlı çerçevenin histeretik davranışı [6]

Kısa, orta ve uzun bağlantı elemanlarının basitleştirilmiş histerezis döngülerine ait şematik illüstrasyonlar Şekil 2.5'de gösterilmiştir. Sadece çekmeye çalışan çaprazların tasarımı (tension-only brace), daha çok çelik yapılarda modern sismik şartnamelerin yayınlanmasından önce kullanılan ve sismik olmayan bölgelerde uygulanmakta olan narinliği fazla olan çapraz elemanlara neden olabilir. Bu tasarım yaklaşımına göre, çekme çaprazları tüm yanal yüklerin dayanımına göre boyutlandırılır ve burkulma basınç çaprazları göz önüne alınmaz. Sadece çekmeye çalışan çaprazların tasarımı rüzgar yüklerine karşı dayanımda başarılıdır fakat deprem dayanımında kullanılmasına izin verilmez.

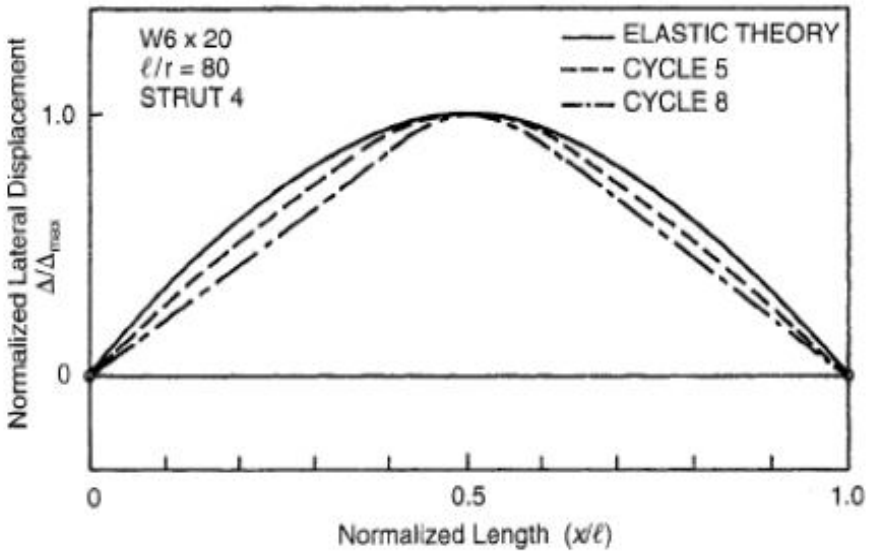
Şekil 2.6'da gösterildiği gibi narinliği büyük çapraz elemanlı çerçeveler, her çevrimde eşit enerji yutumuna izin verecek şekilde kademeli olarak ötelenmelidir. Muhtemelen ikinci derece etkilere göre çökmeye yol açabilir.

Sismik detaylandırma şartları tipik olarak yukarıdaki sorunu önlemek ve iyi bir enerji dağılım kapasitesini güvence altına almak için çapraz elemanı narinliğini sınırlar. Son yayınlanan AISC sismik şartnamesinde sünek çelik çaprazlı çerçeveler için bu sınır aşağıdaki gibidir:

$$\frac{KL}{r} \leq 4\sqrt{E / F_y} \qquad \textbf{(2.2)}$$

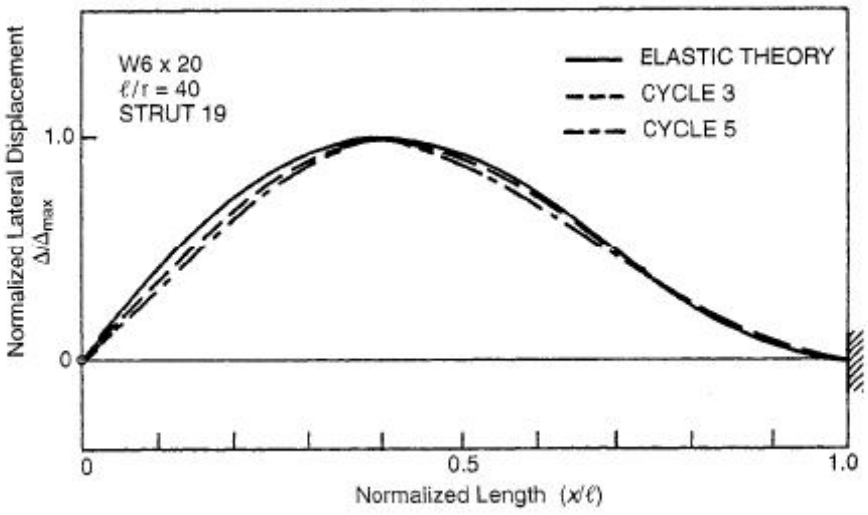
2.4 Çaprazların Uç (Sınır) Şartlarının Davranışa Etkisi

Black yaptığı çalışmalarda efektif boyu belirleyebilmek için lineer elastik kısımda çevrimsel yükler altında inceleme yapmıştır.



Şekil 2.7 : İki ucu mafsallı çapraz elemanın elastik ve elastik olmayan burkulma şekil değiştirmesi [8]

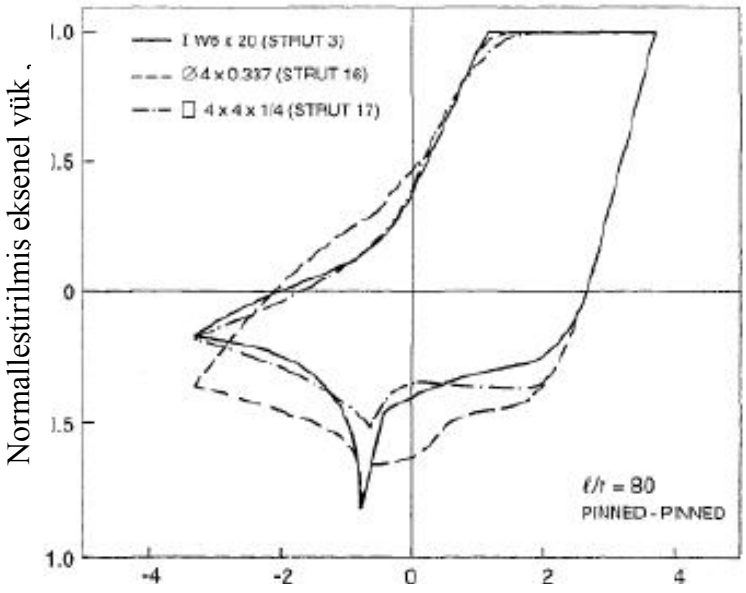
Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 iki çaprazın farklı narinlik oranları ve uç sınır şartlarında normalleştirilmiş yanal deplasman ile normalleştirilmiş uzunluk diyagramını göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi elastik ve elastik olmayan şekiller arasında pek fark yoktur. Ve çaprazların eğimi inelastik çevrim sayısının arttığı plastik mafsal bölgelerinde yoğunlaşmaktadır.



Şekil 2.8 : Bir ucu mafsallı bir ucu ankastre çapraz elemanın elastik ve elastik olmayan burkulma şekil değiştirmesi [8]

2.5 Çapraz Elemanların Kesit Şeklinin Davranışa Etkisi

Black en etkili çapraz eleman kesiti için yaptığı araştırmada narinlik oranı 80 olan 6 adet mafsallı çaprazı kullanmıştır. Bunlar I kesitli çapraz, T kesitli çapraz, dairesel tüp kesit (2 adet) ,dikdörtgen tüp kesitli çapraz, L kesitli çaprazdır. Kesit şekli ve geometrisinin fonksiyonlarıyla ilgili yanal burulma burkulması ve yerel burkulmalar olarak iki adet göçme modu hesaplarda dikkate alınmıştır.



Şekil 2.9 : Aynı narinlikteki değişik kesitlerin histeretik davranışı [8]

Yaptığı bu araştırmalar sonucu Black verilen bir narinlik oranı için kesitlerin verimlilik sırasını aşağıdaki gibi sıralamıştır:

1) Dairesel tüp kesitli çapraz

2) Dikdörtgen tüp kesitli çapraz

3) I-kesitli çapraz

4) T-kesitli çapraz

5) L kesitli çapraz

Şekil 2.9'da aynı narinlikteki değişik çaprazların kesitlerinin histeretik davranışları gösterilmektedir. Aynı narinliğe sahip I-kesitli çapraz, dairesel kesitli tüp çapraz ve dikdörtgen kesitli tüp çaprazın histeretik davranışı aşağıdaki şekilde verilmiştir.

2.6 Çapraz Elemanlarda Genişlik – Kalınlık Oranı Limitleri

Burkulan çapraz eleman açıklığının ortasındaki plastik mafsal, elastik olmayan deformasyonun tekrar eden çevrimleri boyunca yerel burkulma ve basınç kapasitesi ile enerji sönümlemesinde ani düşüşe neden olabilir.

Geçmiş depremler ve yapılan testler yerel burkulan çaprazların düşük çevrim yorulması ve kırılma sonrası çeşitli inelastik deformasyonların çevrimleri altında ayakta kalabildiği göstermiştir (özellikle çaprazlar soğukta şekillendirilmiş dikdörtgen boşluklu kesit olduğu zaman).

Bu nedenlerden dolayı çapraz elemanlar süneklik düzeyi yüksek çaprazlı çerçevelerde tek parça kesitler için genişlik-kalınlık oranı limitlerini sağlamalıdır. Sünerklik düzeyi normal çaprazlı çerçeveler için çapraz eleman tek parça veya çok parçalı olabilir fakat narin olamaz. Deneysel sonuçlara göre, yapısal şekillerin bazı çeşitleri için limitler daha sıkıdır. Özellikle genişlik-kalınlık oranın açısı (b/t), berkitilmemiş dairesel boşluklu kesitin dış çapın et kalınlığına oranı (D/t) ve berkitilmemiş dikdörtgen boşluklu kesitin genişliğinin et kalınlığına oranı sırasıyla $0{,}30\sqrt{E/F_y}$, $0{,}044E/F_y$ ve $0{,}64\sqrt{E/F_y}$ değerlerini aşmamalıdır.

2.7 Deprem Yönetmeliklerinde Merkezi Çelik Çaprazlı Sistemlerin Sınıflandırılması

DBYBHY 2007 ile AISC 341-05 standartlarında merkezi çelik çaprazlı sistemler süneklik düzeylerine göre sınıflandırılmıştır.

2.7.1 DBYBHY 2007'ye göre merkezi çelik çaprazlı sistemler

Merkezi çelik çaprazlı sistemler Deprem Yönetmeliği'ne göre süneklilik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal sistemler olarak ikiye ayrılırlar.

a) Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemler: Deprem etkileri altında, öngörülen süneklik düzeyini sağlayacak şekilde doğrusal olmayan şekildeğiştirme yapma kapasitesine sahip olan sistemlerdir. Bu sistemler, basınç elemanlarının bazılarının burkulması halinde dahi, sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı meydana gelmeyecek şekilde boyutlandırırlar. Sistemde yeterli süneklik düzeyini sağlamak için, eleman enkesit boyutlarının yerel burkulmayı önleyecek sınırların içinde bulunması, kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi, merkezi çelik çapraz sistemlerin üzerinde bulunduğu akslardaki yatay deprem kuvvetlerinin çekme ve basınca çalışan elemanlar arasında ortak olarak paylaşılması gibi önlemler alınır.

b) Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı sistemler: Bu tür sistemler deprem etkileri altında sınırlı düzeyde plastik şekil değiştirme yapabilen sistemlerdir. Bu sistemlerde eleman enkesitlerinin narinlikleri için daha farklı narinlik koşulları gözönünde tutulur, kiriş başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesi koşulu aranmaz ve yatay deprem kuvvetlerinin tümünün sadece çekme çubukları tarafından karşılanmasına izin verilir. [1]

2.7.2 AISC 341-05'e göre merkezi çelik çaprazlı sistemler

Merkezi çelik çaprazlı sistemler, DBYBHY 2007'de olduğu gibi süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal sistemler olarak ikiye ayrılırlar.

a) Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemler (Special concentrically braced frames): Merkezi çelik çaprazlı sistemlerin, sismik tasarım şartnamelerinde kabul edildiği ilk zamandan beri çapraz elemanların dayanım ve rijitliğini arttırarak inelastik davranışın en aza indirilip daha fazla taşıma kapasitesi sağlaması amaçlanmıştır. Yakın zamanlarda enerji yutma kapasitesi ve süneklik gerekliliği de

şartnamelere eklenmiştir. Buna göre, süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemler büyük depremler altında sünek ve kararlı davranış sergileyecek şekilde geliştirilmiştir.

Kapsamlı analitik ve deneysel çalışmalar ile merkezi çelik çaprazlı sistemlerin burkulma sonrası davranışı; tasarım parametrelerinin geliştirilmesi, genişlik/kalınlık oranlarının kısıtlanması (yerel burkulmaları önleyebilmek için), yanal mesnetler arasındaki mesafenin yakınlığı, uç birleşimlerinin özel tasarımı ve detaylandırılması sayesinde geliştirilmekte olduğu görülmüştür. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemler için tasarım gereksinimleri bu gelişmeler üzerine dayanır.

b) Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı sistemler (Ordinary concentrically braced frames): Süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı çerçevelerin yer hareketlerinden meydana gelen kuvvetlere maruz kaldıklarında sınırlı ölçüde inelastik deformasyonlara dayanmaları beklenmektedir.

Bu çalışmada süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistem kullanılmaktadır.

3. SÜNEKLİK DÜZEYİ YÜKSEK ÇELİK ÇAPRAZLI SİSTEMLER İÇİN TASARIM KURALLARI

3.1 ANS/AISC 341-05 İçin Tasarim Kurallari

3.1.1 Giriş

ANS/AISC 341/05 "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings" de verilen süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemler için tasarım kuralları aşağıda özetlenmiştir.

3.1.2 Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemler

3.1.2.1 Elemanların narinliği

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemler ile süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı sistemlerin performansları arasında basınç yükleri altında çapraz elemanın burkulmasına kadar bir farklılık yoktur.Bu iki sistemi birbirinden ayıran çapraz eleman özelliklerindeki sınırlamalar ile birleşim bağlantılarıdır. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemlerde çapraz elemanın burkulmasına izim verilir; bu yüzden çapraz eleman üzerindeki kısıtlmalar azdır ve daha düktil bir sistemdir. Bölüm 2.3'te açıklandığı gibi çapraz eleman narinliği AISC şartnamesinde $\frac{KL}{r} \le 4\sqrt{E/F_y}$ ile sınırlandırılmaktadır. Buna ek olarak; mevcut kolon dayanımının Ry (LRFD) veya (1/1.5) Ry (ASD)'nin çapraz eleman birleşiminin tasarım dayanımı ile çarpımına göre en az kolona transfer olan maksimum yüke eşit olan çerçevelerde çapraz narinliği $4\sqrt{E/F_y} \le \frac{KL}{r} \le 200$ ile sınırlandırılmaktadır.

Açıklama: Maksimum sınırlayıcı narinlik oranı kavramı zorunlu bir değişim yaşadı. 1978 şartnamesinde, AISC 360-05'te belirtilen kısıtlamaların hiç biri bulunmamaktaydı ve "KL/r formülü ile hesaplanan narinlik oranının değeri 200'ü aşmamalıdır." şeklinde belirtilmişti. 1978 ASD ve 1999 LRFD şartnameleri

(AISC,1978; AISC 2000b) biraz daha esnek şartlar sağlayabilmek için "Narinlik oranı KL/r tercihen 200 değerini aşmamalıdır" şeklinde değiştirilmişti. Fakat bu sınırlar aslında hiçbir limit oluşturmamaktadır. Bu yüzden günümüz şartnamelerinde gözardı edilmiştir. Üst limit değeri olan 200; inşaat ekonomisi, kullanım kolaylığı, montaj ve imalat sırasında oluşabilecek hasarlar temel alınarak kabul edilmiştir. Bu durumlar gözönüne alındığında basınç elemanlarının bu değeri aşmaması önerilir.

3.1.2.2 Gerekli dayanım

Net etkili alanın kayıpsız alandan küçük olduğu çapraz elemanlarda, net kesitteki kırılma limit durumunu esas alan çaprazın gerekli çekme dayanımı aşağıdaki değerlerin küçük olanından büyük olacaktır.

a) $R_y F_y A_g$ (LRFD) veya $R_y F_y A_g$ / 1.5 (ASD) olarak belirlenen çapraz elemanın tasarım eksenel çekme dayanımı.

b) Sistem tarafından çapraz elemana aktarılan, statik hesapla bulunan kuvvetlerin büyüğü

3.1.2.3 Yatay yüklerin dağılımı

Merkezi çelik çaprazlı sistemin herhangi bir aksında bulunan çapraz elemanlar, o aks doğrultusundaki deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en çok %70'i, basınç çaprazlarının mevcut dayanımı arttırılmış deprem yüklerini kapsayan ve uygulanabilir yapı kurallarını öngören yük kombinasyonlarının uygulanmasından elde edilen dayanımdan daha büyük olmadıkça çekme çaprazları tarafından karşılanır.

Açıklama: Bu kural ile yapının basınç altında burkulma ve burkulma sonrası dayanımı, çekmeye çalışırken olduğundan çok daha az olabilen çapraz elemanının, çekme ve basınç dayanımı dengesini sağlayabilmek amaçlanmıştır. İyi bir dengenin sağlanması, tek yönde inelastik ötelenme yığılmasını önlemeye yardımcı olur.

3.1.2.4 Genişlik-kalınlık oranı limitleri

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçevelere ait kolon ve çaprazların genişlik-kalınlık oranı limitleri Çizelge 3.1 a ve Çizelge 3.1 b'de verilmiştir.

Çizelge 3.1: Basınç elemanları için genişlik kalınlık oranları sınır değerleri.

Basınç Elemanları İçin Genişlik Kalınlık Oranları Sınır Değerleri			
Eleman Tanımı		**Narinlik Oranı**	**Genişlik-Kalınlık Oranı Sınır Değerleri**
			λ_{ps} (Sismik Olarak Kompak)
Rijitleştirilmemiş Elemanlar	Eğilme etkisindeki I kesitler (a),(c), (e), (g), (h)	b/t	$0{,}30\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki I kesitler (b), (h)	b/t	$0{,}30\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki I kesitler (d)	b/t	$0{,}38\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki U kesitler,birbirlerine bitişik korniyer çiftleri ve çaprazlar (c) , (g)	b/t	$0{,}30\sqrt{E/F_y}$
	Bağ levhaları (f)	b/t	2,5
	Üniform basınç etkisindeki tek korniyer ve ayrık çift korniyerler(g)	b/t	$0{,}30\sqrt{E/F_y}$
	Üniform basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)(g)	d/t	$0{,}30\sqrt{E/F_y}$

Not: Çizelgenin devamı için Çizelge 3.2'ye bakınız.

Standartlarda süneklik düzeyi normal çelik çaprazlı sistemler için genişlik/kalınlık limitleri ile herhangi bir sınırlandırma getirilmemiştir. Fakat eksenel burkulmadan önce çaprazın bir bölümünde oluşan yerel burkulmanın önlenmesive çelik elemanın burkulma sonrası dayanımını arttırabilmek için iki sistemdede genişlik/kalınlık oranı limitleri getirilmiştir.

Açıklama: Kompakt ve kompakt olmayan kesitlerin birbirinden ayrılması genişlik-kalınlık oranları limitleri ile gerçekleşir. Kompakt kesitler için, tüm basınç elemanlarının genişlik-kalınlık oranları, λ_p değerine eşit veya daha küçük olmalıdır. Diğer genişlik-kalınlık oranı limiti λ_r ise kompakt olmayan kesitler ve narin eleman kesitleri için kullanılır. λ_r değerinin aşıldığı durumlarda elastik burkulma dayanımı gözönüne alınmalıdır. λ_p ve λ_r için Çizelge 2.1'de verilen limitler 1989 standartı (AISC,1989) ile benzerdir. 1989 standartında $\lambda_p = 0{,}38\sqrt{E/F_y}$ olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Basınç elemanları için genişlik kalınlık oranları sınır değerleri

Basınç Elemanları İçin Genişlik Kalınlık Oranları Sınır Değerleri			
Eleman Tanımı		**Narinlik Oranı**	**Genişlik-Kalınlık Oranı Sınır Değerleri**
			λ_{ps} (Sismik Olarak Kompak)
Rijitleştirilmemiş Elemanlar	Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran Çerçeve kirişlerinin gövdeleri	h/t_w	$0{,}30\sqrt{E/F_y}$
	Egilme ve eksenel basınç etkisindeki kesitlerin gövdeleri (a), (c), (g), (h), (ı), (i)	h/t_w	$C_a \leq 0{,}125$ için (j) $3{,}14\sqrt{E/F_y}$ $(1\text{-}1{,}54\ C_a)$
			$C_a \leq 0{,}125$ için (j) $1{,}12\sqrt{E/F_y}$ $(2{,}33\text{-}\ C_a) \geq$ $1{,}49\sqrt{E/F_y}$
	Egilme ve eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular) (c), (g)	D/t	$0{,}044E/F_y$
	Egilme ve eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen tüp kesitler (c), (g)	b/t veya h/t_w	$0{,}64\sqrt{E/F_y}$

(a) Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek plak kesme duvarları kirişleri için

(b) Süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve kolonları için

(c) Süneklik düzeyi yüksek ve normal olan merkezi çaprazlı çerçevelerin çapraz ve kolonları için

(d) Dışmerkez çaprazlı çerçeve kolonları için

(e) Dışmerkez çaprazlı çerçevelerin bağ kirişleri için

(h) Burkulma dayanımına sahip çaprazlı çerçevelerin kiriş ve kolonları için

(ı) Süneklik düzeyi yüksek plak kesme duvarları kolonları için

(i) Dışmerkez çaprazlı çerçeve ve süneklik düzeyi yüksek moment aktaran çerçeve kolonları için

$C_a \leq 0{,}125$ için $\lambda_p = 3{,}76\sqrt{\frac{E}{F_y}}\,(1 - 2{,}75\,C_a)$ **(3.1)**

$C_a > 0{,}125$ için $\lambda_p = 1{,}12\sqrt{\frac{E}{F_y}}\,(2{,}33 - C_a) \geq \lambda_p = 1{,}49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ **(3.2)**

LRFD için $C_a = \frac{P_u}{\phi_b P_y}$ **(3.3)**

ASD için $C_a = \frac{\Omega_b P_a}{P_y}$ **(3.4)**

P = gerekli basınç dayanımı (ASD), (N)

P_u = gerekli basınç dayanımı (LRFD), (N)

P_y = eksenel akma dayanımı, (N)

ϕ_b = 0.90

Ω_b = 1.67

3.1.2.5 Çapraz birleşimlerinin gerekli dayanımı

Çapraz birleşimlerin tasarımında aşağıda belirtilen kontrollerin dışında net alan oranlarının (etkili net alanın brüt alana oranı) ve çapraz elemanda kayma gecikmesi etkisinin (shear lag effect) kontrol edilmesi gereklidir.

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemler guse plakalarının burkulması konusunda süneklik düzeyi normal merkezi çaprazlı sistemlere göre daha kısıtlayıcıdır. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı sistemlere guse plakaları mutlaka basınç kuvvetleri için tasarlanmalı ve eğer düzlem dış eğilme bekleniyorsa, detay tasarımında göze alınmalıdır.

a) Gerekli çekme dayanımı:

Çapraz elemanların birleşimleri aşağıda tanımlanan yüklerin en küçüğünü taşıyabilecek dayanıma sahip olmalıdır;

- Ry Fy Ag (LRFD) veya Ry Fy Ag / 1.5 (ASD) olarak belirlenen çapraz elemanın çekmedeki akma dayanımı.
- Sistem tarafından çapraz elemana aktarılan statik hesapla bulunan kuvvetlerin büyüğü.

Açıklama: Çapraz elemanlar akma esnasında sünek davranış gösterebilmek için çekme altında akma davranışı gösterecek gerekli brüt alana sahip olmalıdır. Aynı zamanda bağlantılardaki blok kesme kırılması gibi yerel göçme modları önlenmelidir. Bu nedenle göçme modları hesaplanırken çapraz elemanda oluşabilecek maksimum kuvvet gözönüne alınmalıdır.

b) Gerekli eğilme dayanımı:

Çapraz eleman birleşiminin gerekli eğilme dayanımı, elemanın kritik burkulma ekseninde beklenen tasarım eğilme dayanımı 1.1Ry Mp (LRFD) veya (1.1/1.5)Ry Mp 'ye (ASD) eşit veya daha büyük olacaktır.

Açıklama: Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçevelerde, şiddetli yer hareketleri altında histeretik çevrimler ile burkulmaya maruz kalması beklenen çapraz elemanlar, kendi merkezleri ve uç noktalarında plastik mafsallar oluştururlar. Çapraz elemanın dönmesinden kaynaklanan kopmayı önleyebilmek için, çapraz bağlantıları inelastik dönmeyi sınırlayabilmek için yeterli dayanıma ve uç noktalarda dönmenin sağlanabilmesi için yeterli sünekliğe sahip olması gerekir.

c) Gerekli basınç dayanımı:

Çapraz birleşimleri en az 1.1 R_y P_n (LRFD) veya (1.1/1.5) R_y P_n 'ye (ASD) eşit burkulma limit durumu esas alınarak hesaplanan bir basınç dayanımı için tasarlanacaktır. Burada P_n, çaprazın nominal basınç dayanımıdır.

3.1.2.6 Özel çapraz düzenleri için ek kosullar

1) V-tipi veya ters V-tipi çaprazlar: V ile ters V tipi çaprazlar, diyagonal çaprazlar gibi bir elemanı basınca, bir elemanı da çekmeye çalışan çaprazlı çerçeve türüdür.

Kirişlere açıklıklarda birleştiklerinden, bunlar için bazı özel kurallara uyulması gerekmektedir:

a) Çaprazlarla birleşen kirişler ve diğer birleşimlerin dayanımı uygulanabilir yapı kurallarının yük kombinasyonları esas alınarak belirlenecektir.

- Bütün çekme çaprazlarındaki kuvvetlerin $R_y\ F_y\ A_g$ 'ye eşit olduğu varsayılacaktır.
- Bütün basınç çaprazlarındaki kuvvetlerin $0.3\ P_n$ 'ye eşit olduğu varsayılacaktır.

b) Çaprazların bağlandığı kirişler kolonlarla sürekli olacaktır. Kirişin her iki başlığıda yanal olarak mesnetlenecektir.

Açıklama: Sünek merkezi çelik çaprazlı sistemlerden beklenen davranış, çapraz eleman basınç altında burkulurken sistem yanal deplasmana devam etmesidir. Böylelikle akma noktasına ulaşıncaya kadar, diğer çapraz elemanda çekme devam ederken kuvvet azalır. Bunun meydana gelebilmesi için dengelenmemiş dikey kuvvet, kiriş kesişim noktalarının yanı sıra bağlantılar ve destek elemanları tarafından da karşılanmalıdır. Çerçevenin yanal ötelenmesinin önlenmesi için sünek merkezi çelik çaprazlı sistem şartnamesine göre, burkulma sonrası yükün yeniden dağılımına (dengelenmemiş kuvvet) karşı koyabilmek için kiriş yeterli dayanıma sahip olmalıdır.

Yapılan testler sonucu tipik çapraz elemanların burkulma sonrası minimum basınç dayanımı, başlangıçtaki basınç dayanımının yaklaşık yüzde 30'u kadar basınç dayanımı gösterdiği görülmüştür (Hassan and Goel, 1991).

2) K-tipi çaprazlar: K tipi çerçevelerde birleşim, kiriş yerine kolonda yapılır. Deprem yükleri altındaki davranışından dolayı pek tercih edilmezler. Çapraz elemanlardan biri basınç altında burkulurken, çekmeye çalışan elemanın dengelenmemiş kuvveti, kolonda büyük yatay deformasyonlara neden olur. Bu durum kolonun burkulmasına ve yapının göçmesine neden olur. Süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çerçevelerde K-tipi çaprazlı çerçevelere izin verilmez.

3.2 DBYBHY 2007'De Verilen Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları

3.2.1 Giriş

Merkezi ve dışmerkez çaprazlı çelik çerçevelerin, "Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik' te belirtilen esaslara göre tasarımı kuralları bu bölümde anlatılmaktadır. Yönetmelikte çaprazlı sistemler;

a) Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler

b) Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Perdeler

c) Süneklik Düzeyi Yüksek Dışmerkez Çelik Çaprazlı Perdeler

olarak üç ana başlık altında incelenmektedir.

Çelik çaprazlı perdelerin tanımı yönetmelik Madde 4.5 'te "Mafsallı Birleşimli Veya Moment Aktaran Çerçeveler İle Bunlara Merkezi Ve Dışmerkez Olarak Bağlanan Çaprazlardan Oluşan Yatay Yük Taşıyıcı Sistemler" olarak yapılmaktadır. Bu sistemlerde eksenel kuvvet ve eğilme dayanımları ile sistemin yatay yük taşıma kapasiteleri sağlanmaktadır.

3.2.2 Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler

Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı çerçeveler basınç elemanlarında burkulma meydana gelse dahi sistemde önemli ölçüde dayanım kaybı olmayacak şekilde boyutlandırılırlar.

3.2.2.1 Enkesit koşulları

(Madde 4.6.1.1) Süneklik düzeyleri yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/kalınlık oranlarına ilişkin koşullar aşağıdaki tabloda verilmiştir. (Bölüm 4, Tablo 4.3).

(Madde 4.6.1.2) 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.

(Madde 4.6.1.3) Çok parçalı çaprazlarda bağ levhalarının aralıkları, ardışık iki bağ levhası arasındaki tek elemanın narinlik oranı tüm çubuğun narinlik oranının 0.40 katını aşmayacak şekilde belirlenecektir. Çok parçalı çaprazın burkulmasının bağ

levhasında kesme etkisi oluşturmadığının gösterilmesi halinde, bağ levhalarının aralıkları, iki bağ levhası arasındaki tek çubuğun narinlik oranı çok parçalı çubuğun etkin narinlik oranının 0.75 katını aşmayacak şekilde belirlenebilir. Bağ levhalarının toplam kesme kuvveti kapasitesi, her bir çubuk elemanının eksenel çekme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacak ve bağ levhaları eşit aralıklı olarak yerleştirilecektir. Bulonlu bağ levhalarının, çubuğun temiz açıklığının orta dörtte birine yerleştirilmesine izin verilmez.

3.2.2.2 Yatay yüklerin dağılımı

(Madde 4.6.2) Binanın bir aksı üzerindeki düşey merkezi çapraz elemanlar, o aks doğrultusundaki depremde ve her bir deprem yönünde etkiyen yatay kuvvetlerin en az %30'u ve en çok %70'i basınca çalışan çaprazlar tarafından karşılanacak şekilde düzenlenecektir.

3.2.2.3 Çaprazların birleşimi

(Madde 4.6.3.1) Çaprazların birleşim detaylarında, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan iç kuvvetler altında gerekli gerilme kontrolleri yapılacaktır. Ayrıca, birleşimin taşıma kapasitesi aşağıda tanımlanan iç kuvvetlerden küçük olanını da sağlayacaktır:

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

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

c) $1.0\,G + 1.0\,Q \pm \Omega_0 E$ **(3.5)**

$0.9\,G \pm \Omega_0 E$ **(3.6)**

denklemlerinde verilen arttırılmış yükleme durumlarından meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

Çizelge 3.3 : DBYBHY 2007 Bölüm 4, Tablo 4.2' deki büyütme katsayıları

Taşıyıcı Sistem Türü	Ω_0
Süneklik Düzeyi Yüksek Çerçeveler	2.5
Süneklik Düzeyi Normal Çerçeveler	2.0
Nerkezi Çelik Çaprazlı Perdeler (süneklik düzeyi yüksek veya normal)	2.0
Dışmerkez çelik çaprazlı perdeler	2.5

Çizelge 3.2'de DBYBHY 2007'de verilen büyütme katsayıları gösterilmiştir. (Madde.4.6.3.2) Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında, aşağıda verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır. (Bölüm 4.2.5)

Yapı elemanlarının iç kuvvet kapasiteleri:

Eğilme momenti kapasitesi : $M_p = W_p \sigma_a$ **(3.7)**

Kesme kuvveti kapasitesi : $V_p = 0.60 \sigma_a A_k$ **(3.8)**

Eksenel basınç kapasitesi : $N_{bp} = 1.7 \sigma_{bem} A$ **(3.9)**

Eksenel çekme kapasitesi : $N_{çp} = \sigma_a A_n$ **(3.10)**

(Madde 4.6.3.3) Çaprazları kolonlara ve/veya kirişlere bağlayan düğüm noktası levhaları aşağıdaki iki koşulu da sağlayacaklardır:

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

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

3.2.2.4 Özel çapraz düzenleri için ek koşullar

(Madde 4.6.4.1) V veya ters V şeklindeki çapraz sistemlerinin sağlaması gereken ek koşullar aşağıda verilmiştir:

a.Çaprazların bağlandığı kirişler sürekli olacaktır.

b.Çaprazlar düşey yüklerin ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında boyutlandırılacaktır. Ancak çaprazların bağlandığı kirişler ve uç bağlantıları, çaprazların yok sayılması durumunda, kendi üzerindeki düşey yükleri güvenle taşıyacak şekilde boyutlandırılacaktır.

c.Süneklik düzeyi yüksek çerçevelerin kirişleri için Bölüm 4.3.6'da verilen koşullar çaprazların bağlandığı kirişler için de aynen geçerlidir. Bu koşullar;

Kirişlerin üst ve alt başlıkları yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Kirişlerin yanal doğrultuda mesnetlendiği noktalar arasındaki ℓ_b uzaklığı ;

$$l_b \leq 0{,}086 \frac{r_y E_s}{\sigma_a} \qquad \textbf{(3.11)}$$

koşulunu sağlayacaktır. Ayrıca, tekil yüklerin etkidiği noktalar, kiriş enkesitinin ani olarak değiştiği noktalar ve sistemin doğrusal olmayan şekil değiştirmesi sırasında plastik mafsal oluşabilecek noktalar da yanal doğrultuda mesnetlenecektir. Yanal doğrultudaki mesnetlerin gerekli basınç ve çekme dayanımı, kiriş başlığının eksenel çekme kapasitesinin 0.02'sinden daha az olmayacaktır. Betonarme döşemelerin çelik kirişler ile kompozit olarak çalıştığı çelik taşıyıcı sistemlerde, kirişlerin betonarme döşemeye bağlanan başlıklarında, yukarıdaki koşullara uyulması zorunlu değildir.

(Madde 4.6.4.2) Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerde K şeklindeki (çaprazların kolon orta noktasına bağlandığı) çapraz düzenine izin verilemez.

3.2.2.5 Kolon ekleri

(Madde 4.6.5.1) Kolon ekleri kolon serbest yüksekliğinin ortadaki 1/3'lük bölgesinde yapılacaktır.

(Madde 4.6.5.2) Kolon eklerinin eğilme dayanımı eklenen elemanlardan küçüğünün eğilme kapasitesinin %50'sinden, kesme kuvveti dayanımı ise eklenen elemanlardan küçüğünün kesme kapasitesinden daha az olmayacaktır. Ayrıca, birinci ve ikinci derece deprem bölgelerinde, kolon eklerinin eksenel kuvvet taşıma güçleri Denk.(4.1a) ve Denk.(4.1b)'de verilen arttırılmış deprem yüklemelerinden oluşan basınç ve çekme kuvvetleri altında da (eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın) yeterli olacaktır. Ek elemanlarının hesabında, 4.2.5'te verilen kaynak ve bulon gerilme kapasiteleri kullanılacaktır. Çizelge 3.3'de elenmanların narinlik oranlarına göre enkesit sınırları verilmiştir. 4.2.5' deki ilgili koşullar ise şöyledir.Birleşim elemanlarının gerilme sınır değerleri:

Tam penetrasyonlu kaynak : σ_a

Kısmi penetrasyonlu küt kaynak veya köşe kaynağı : $1.7\ \sigma_{em}$ **(3.12)**

Bulonlu birleşimler : $1.7\ \sigma_{em}$ **(3.13)**

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

Çizelge 3.4 : DBYBHY 2007 Bölüm 4, Tablo 4.3' deki enkesit

Eleman Tanımı	*Narinlik Oranları*	*Sınır Değerler*	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	*Süneklik Düzeyi Normal Sistem*
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki I Kesitlerinde U Kesitlerinde	$b/2t$ b/t	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t_w	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$5.0\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Basınç etkisindeki T Kesitleri L Kesitleri	h/t_w	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	h/t_w	$\lvert N_d/\sigma_a A\rvert \le 0.10$ için $3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(1-1.7\left\lvert\frac{N_d}{\sigma_a A}\right\rvert\right)$	$\lvert N_d/\sigma_a A\rvert \le 0.10$ için $5.0\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(1-1.7\left\lvert\frac{N_d}{\sigma_a A}\right\rvert\right)$
		$\lvert N_d/\sigma_a A\rvert > 0.10$ için $1.33\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(2.1-\left\lvert\frac{N_d}{\sigma_a A}\right\rvert\right)$	$\lvert N_d/\sigma_a A\rvert > 0.10$ için $2.08\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(2.1-\left\lvert\frac{N_d}{\sigma_a A}\right\rvert\right)$
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

3.2.3 Süneklik Düzeyi Normal Merkezi Çelik Çaprazlı Çerçeveler

3.2.3.1 Enkesit koşulları

(Madde 4.7.1.1) Süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çaprazlarında, başlık genişliği/kalınlığı, gövde yüksekliği/kalınlığı ve çap/kalınlık oranlarına ilişkin koşullar Tablo 4.3'te verilmiştir. Ancak en çok iki katlı binalarda, gerekli yerel burkulma kontrollerinin yapılması koşulu ile bu sınırların aşılmasına izin verilebilir.

(Madde 4.7.1.2) Çatı ve düşey düzlem çapraz sistemlerinin tüm basınç elemanlarında narinlik oranı (çubuk burkulma boyu/atalet yarıçapı) 4.0 E_s /σ_a sınır değerini aşmayacaktır.

(Madde 4.7.1.3) Çok parçalı çaprazlarda, TS 648'in bağ levhalarına ilişkin kuralları geçerlidir. Her çubukta en az iki bağ levhası kullanılacaktır.

(Madde 4.7.1.4) Sadece çekme kuvveti taşıyacak şekilde hesaplanan çaprazlarda narinlik oranı 250'yi aşmayacaktır. Ancak en çok iki katlı binalardaki çapraz elemanların Bölüm 2'ye göre hesaplanan çekme kuvvetinin Tablo 4.2'deki Ω_o katsayısı ile çarpımını taşıyacak şekilde boyutlandırılmaları halinde bu kural uygulanmayabilir.

3.2.3.2 Çaprazların birleşimi

(Madde 4.7.2.1) 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.(4.1a) ve Denk.(4.1b)'de verilen arttırılmış yüklemelerden meydana gelen çapraz eksenel kuvveti.

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

(Madde 4.7.2.2) Birleşimin taşıma kapasitesinin hesabında, 4.2.5'te verilen gerilme sınır değerleri kullanılacaktır.

(Madde 4.7.2.3) Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler için 4.6.3.3' te verilen koşullar süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler için de geçerlidir.

3.2.3.3 Özel çaprazlar düzenleri için ek koşullar

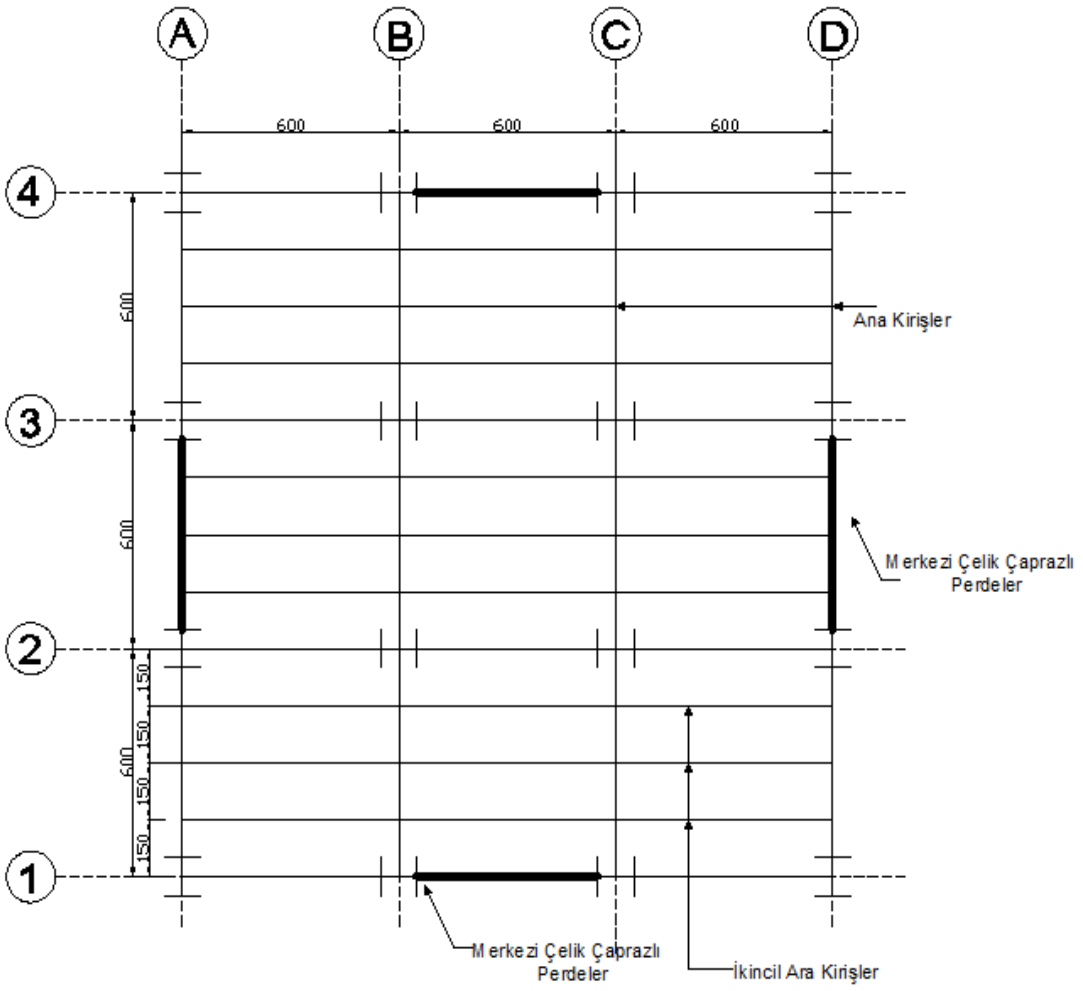
(Madde 4.7.3.1) Süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler için 4.6.4.1(a) ve 4.6.4.1(b)' de verilen koşullar süneklik düzeyi normal merkezi çelik çaprazlı perdeler için de geçerlidir.

(Madde 4.7.3.2) Süneklik düzeyi normal çerçevelerin kirişleri için 4.4.4'de verilen koşullar çaprazların bağlandığı kirişler için de aynen geçerlidir.

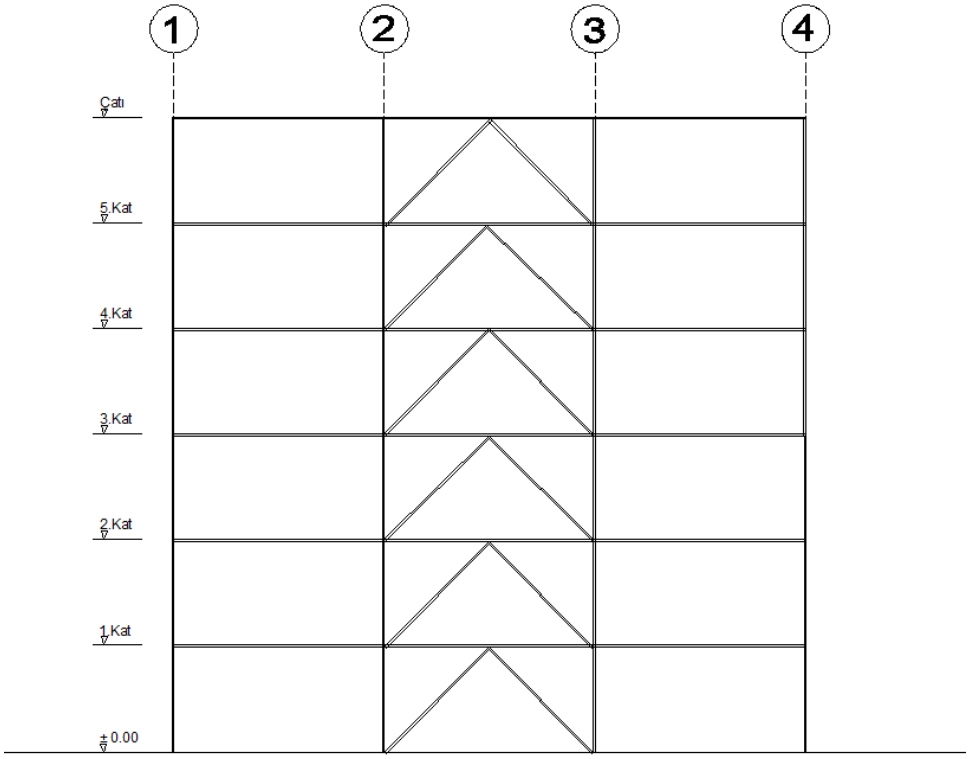
4. HER İKİ DOĞRULTUDA SÜNEKLİLİK DÜZEYİ YÜKSEK MERKEZİ ÇELİK ÇAPRAZLI ÇERÇEVELERDEN OLUŞAN ÇELİK BİNANIN TASARIMI

4.1 Sistem

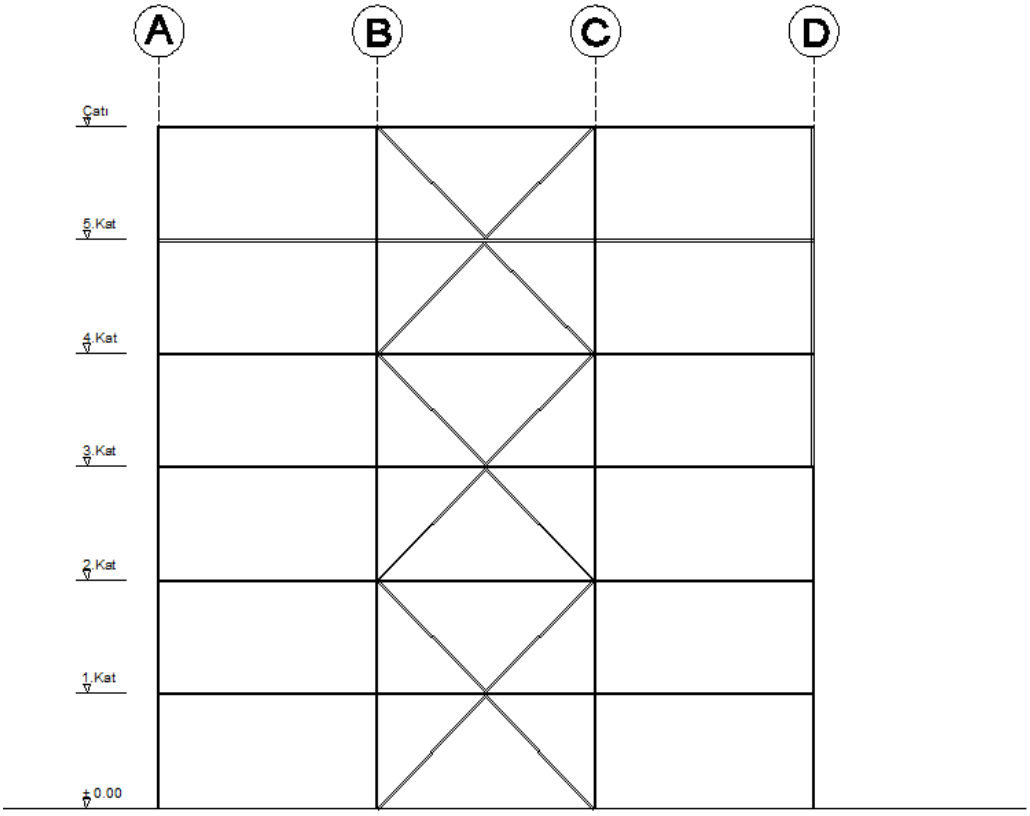
Görünüşü Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' de gösterilen, her iki doğrultuda simetrik olan taşıyıcı sistemden oluşan süneklilik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeli, altı katlı çelik binanın tasarımına ait başlıca sonuçlar ile tipik elemanlarının boyutlandırma ve detay hesapları açıklanacaktır.



Şekil 4.1 : Normal kat sistem planı



Şekil 4.2 : A aksı çerçevesi



Şekil 4.3 : 1 aksı çerçevesi

Bina 6 kattan oluşan bir iş merkezi olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği 2,80 mt, aks aralıkları 6 mt olup 3 açıklıktan oluşmaktadır. 1,5 mt aralıklarla teşkil edilen ikincil ara kirişler, ana kirişlere mafsallı olarak ve akslardaki ana çerçeve kirişlerinin kolonlara bağlantıları da mafsallı olacaktır. Kolonların ± 0.00 kotunda, temele ankastre olarak mesnetlendiği gözönünde tutulacaktır.

4.2 Yükler

4.2.1 Düşey yükler

Çatı Döşemesi :

Çatı Kaplaması	1,0 kN/m2
İzolasyon	0,2 kN/m2
Döşeme	2,1 kN/m2
Asma Tavan + Tesisat	0,5 kN/m2
Çelik Konstruksiyon	0,5 kN/m2
Toplam	g = 4,3 kN/m2
Hareketli Yük	q = 1,0 kN/m2

Normal Kat Döşemesi

Kaplama	
Döşeme	
Asma Tavan + Tesisat	
Çelik Konstruksiyon	
Toplam	g = 4,9 kN/m2
Hareketli Yük	q = 2,0 kN/m2

Dış Duvar Yükü

Normal Katlarda	g_d = 3,0 kN/m2
Çatı Katı	g = 0,75 kN/m2 (h:1,0 m parapet)

4.2.2 Deprem yükleri

4.2.2.1 Deprem karakteristikleri

- Yapı Taşıyıcı Sistemi: Her iki doğrultuda süneklilik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşan sistem

- Bina Kullanım Amacı: İşyeri
- Deprem Bölgesi: 1. Derece Deprem Bölgesi
- Yerel Zemin Sınıfı: Z2
- Bina Önem Katsayısı (I) : 1.00
- Spektrum Karakteristik Periyotları: TA = 0.15 sn , TB = 0,40 sn
- Hareketli Yük Katılım Katsayısı: n = 0.3
- Deprem Yükü Azaltma Katsayısı: R = 5 (süneklilik düzeyi yüksek sistem)

4.2.2.2 Düzensizlikleri kontrolü

DBYBHY Madde 2.3'e göre düzensizlik kontrolü yapılmıştır. Ve bunun sonucunda, bina kat planlarında çıkma olmamasından dolayı, döşeme süreksizliklerinin ve döşemelerde büyük boşlukların bulunmaması, yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleşmesi nedeniyle planda düzensizlik durumları mevcut değildir.

Benzer şekilde, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerinin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca değişiklik göstermemesi nedeniyle düşey doğrultuda düzensizlik durumları mevcut değildir.

4.2.2.3 Binanın birinci doğal titreşim periyodunun belirlenmesi

DBYBHY Madde 2.7.4'e göre eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulanmasında, binanın her iki deprem doğrultusundaki birinci doğal titreşim periyodu Denklem 4.1 ile hesaplanan değerlerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i d_{f_i}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad \textbf{(4.1)}$$

$$m_i = \frac{w_i}{g} \quad \textbf{(4.2)}$$

$$w_i = g_i + nq_i \quad \text{(n=0,3)} \quad \textbf{(4.3)}$$

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \quad \textbf{(4.4)}$$

Burada;

m_i : toplam kütleleri

w_i : toplam kat ağırlıkları

g_i : katların toplam sabit yükleri

q_i : katların toplam hareketli yükleri

F_{fi} : Fiktif kuvvetleri kat ağırlıkları ve kat yükseklikleri ile orantılı kuvvetlerdir.

Kat ağırlıkları ve kat kütleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$w_1 = 18*18*(4,9+0,3*2) + 2*(18+18)*2,25 = 1944$ kN

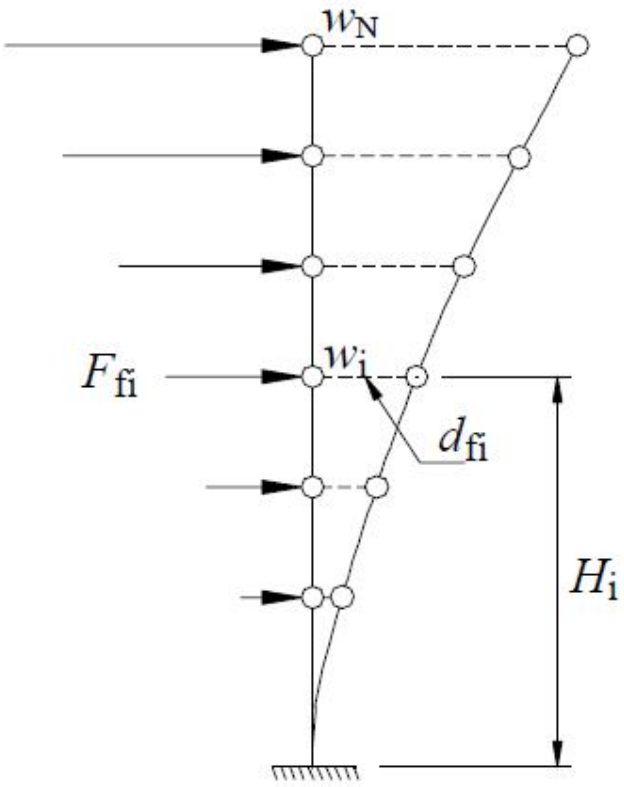
$$m_1 = \frac{1944}{9,81} = 198,16 \text{ kNs}^2 / \text{m}$$

Diğer katlarda benzer şekilde hesaplanarak Çizelge 4.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : Kat ağırlıkları ve kat kütleleri

Kat	**w_i**	**m_i**
Çatı	1544,4	157,43
5	1944,0	198,16
4	1944,0	198,16
3	1944,0	198,16
2	1944,0	198,16
1	1944,0	198,16
∑	11264,4	1148,26

F_{fi} fiktif kuvvetleri de kat ağırlıkları ve kat yükseklikleri ile orantılı olarak Denklem 4.4 yardımıyla hesaplanmıştır. Katlardaki fiktif yatay kuvvetler Şekil 4.4'de gösterilmiştir.Çizelge 4.2'de ise fiktif kuvvetler her kat için bulunan kuvvetler belirtilmiştir.Çizelge 4.3 ve 4.4'te gösterilen x ve y doğrultularında fiktif yüklerden oluşan yerdeğiştirmelerin toplamı kullanılarak bu doğrultular için doğal titreşim periyotları bulunmuştur.



Şekil 4.4 : Katlardaki fiktif yatay kuvvetler

Çizelge 4.2 : Fiktif kuvvetlerin bulunması

Kat	**h_i**	**H_i**	**W_i**	**W_i x H_i**	**$W_i x H_i$ / $\sum W_i x H_i$**	**F_i**
Çatı	3	18	1544,4	27799,2	0,241	241,0
5	3	15	1944,0	29160	0,253	253,0
4	3	12	1944,0	23328	0,202	202,4
3	3	9	1944,0	17496	0,152	151,8
2	3	6	1944,0	11664	0,101	101,2
1	3	3	1944,0	5832	0,051	50,6
∑				115279,2		1000,0

Çizelge 4.3 : Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri (x doğrultusu)

Kat	**F_{fi} (kN)**	**d_{fix} (m)**	**m_i**	**$m_i\, d_{fix}^2$**	**$F_{fi}\, d_{fix}$**
Çatı	241,0	0,00117	157,43	0,000216	0,2821
5	253,0	0,004311	198,16	0,003683	1,0905
4	202,4	0,007623	198,16	0,011515	1,5426
3	151,8	0,011434	198,16	0,025907	1,7353
2	101,2	0,015365	198,16	0,046783	1,5546
1	50,6	0,018822	198,16	0,070203	0,9522
∑	1000,0		1148,26	0,041321	4,6506

(x) doğrultusundaki doğal titreşim periyodu :

$$T_{1x} = 2\pi\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi} d_{fi}}\right)^{1/2} = 2\pi\left(\frac{0{,}041321}{4{,}6506}\right)^{1/2} = 0{,}592s$$ olarak bulunur.

Çizelge 4.4 : Fiktif yüklerden oluşan kat yerdeğiştirmeleri (y doğrultusu)

Kat	**F_{fi} (kN)**	**d_{fix} (m)**	**m_i**	**$m_i\, d_{fix}^2$**	**$F_{fi}\, d_{fix}$**
Çatı	241,0	0,001065	157,43	0,000179	0,2568
5	253,0	0,003218	198,16	0,002052	0,8140
4	202,4	0,006044	198,16	0,007239	1,2231
3	151,8	0,009202	198,16	0,016780	1,3966
2	101,2	0,012393	198,16	0,030435	1,2539
1	50,6	0,015402	198,16	0,047009	0,7792
∑	1000,0		1148,26	0,026250	3,6905

(y) doğrultusundaki doğal titreşim periyodu:

$$T_{1y} = 2\pi\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi} d_{fi}}\right)^{1/2} = 2\pi\left(\frac{0{,}026250}{3{,}6905}\right)^{1/2} = 0{,}529s$$ olarak bulunur.

4.2.2.4 Toplam eşdeğer deprem yükünün hesaplanması

DBYBHY 2007 Madde 2.6.2'de belirtilen ,aşağıda gösterilen şartları sağladığı için eş değer deprem yükü yöntemi kullanılabilir.

Bina yüksekliği H_N =18.0 m < 40.0 m

Şartını sağlamakta ve taşıyıcı sistemde burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri bulunmamaktadır.

Gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın tümüne etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü (taban kesme kuvveti), V_t ;

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0{,}10 A_0 IW \qquad \textbf{(4.5)}$$

ile belirlenecektir.

Binanın (x) doğrultusundaki taban kesme kuvveti ;

T_{1x} = 0,592 sn > 0.40 sn = T_B için

$$S(T_{1x}) = 2{,}5\left(\frac{0{,}40}{0{,}592}\right)^{0.8} = 1{,}826 \qquad R_{ax}(T_{1x}) = R_x = 5$$

$$V_{tx} = \frac{11264{,}4x0{,}40x1{,}0x1{,}826}{5} = 1645{,}832 \text{ kN}$$

Binanın (y) doğrultusundaki taban kesme kuvveti ;

T_{1y} = 0,529 sn > 0.40 sn = T_B için

$$S(T_{1y}) = 2{,}5\left(\frac{0{,}40}{0{,}592}\right)^{0.8} = 1{,}996 \qquad R_{ay}(T_{1y}) = R_y = 5$$

$$V_{ty} = \frac{11264{,}4x0{,}40x1{,}0x1{,}996}{5} = 1799{,}022 \text{ kN}$$

4.2.2.5 Katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesaplanması

Bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin toplamı, toplam eşdeğer deprem yükü olarak ifade edilir. Binanın tepesine etkiyen eş değer deprem yükü ,ΔF_N (x) ve (y) doğrultuları için aşağıdaki gibi bulunur ;

ΔF_{Nx} = 0.0075 N V_{tx} =0.0075 x 6 x 1645.832 = 74.06 kN

$\Delta F_{Ny} = 0.0075\ N\ V_{ty} = 0.0075 \times 6 \times 1799{,}022 = 80.96\ kN$

ΔF_N (x) ve (y) doğrultuları tepe kuvveti dışında geri kalan eş değer deprem yükleri çatı katıda dahil olmak üzere bina katlarına ;

$$F_i = (V_t - \Delta F_N)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j} \qquad \textbf{(4.6)}$$

formülü kullanılarak dağıtılacaktır.

$$F_{ix} = (1645{,}832 - 74{,}06)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j}$$

$$F_{iy} = (1799{,}022 - 80{,}96)\frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} w_j H_j}$$

Hesaplanan F_{ix} ve F_{iy} eşdeğer deprem yükleri, Çizelge 4.5'le gösterilen tabloda bir arada verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri

Kat	$\mathbf{W_i x H_i / \sum W_i x H_i}$	$\mathbf{F_{ix}}$	$\mathbf{F_{iy}}$
Çatı	0,241	453.09	495.26
5	0,253	397.58	434.59
4	0,202	318.06	347.67
3	0,152	238.55	260.75
2	0,101	159.03	173.83
1	0,051	79.52	86.92
∑		1645.83	1799.02

Sistemin çözümlenmesinde Sap2000 programı kullanılmıştır.Yapıda burulma düzensizliğinin bulunmadığından katlara etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin, ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacıyla, göz önüne alınan her iki deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun + % 5'i ve - % 5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanması öngörülmektedir.Yapı simetrik olduğundan tek doğrultuda dış merkezlik değeri belirlenecektir. ($e_x = \pm\ 0.05 x\ 18 = \pm 0{,}90 m$)

4.2.3 Rüzgar yükleri

Rüzgar doğrultusuna dik olan yüzeye yayılı olarak etkiyen rüzgar yükleri, kat döşemelerine etkiyen statikçe eşdeğer tekil kuvvetlere dönüştürülerek ve TS 498 Yük Standart'ına uygun olarak hesap yapılacaktır.

Bir kat döşemesine etkiyen eşdeğer rüzgar kuvveti aşağıdaki denklem ile hesaplanır ;

$W_i = c_f q A_i$ **(4.7)**

Burada;

c_f: Aerodinamik yük katsayısıdır. Plandaki izdüşümü dikdörtgen olan ve yükseklik/genişlik oranı 5'i asmayan bina türü yapılarda $c_f = 1.2$ alınmaktadır.

q: Nominal rüzgar basıncıdır.

Bina yüksekliğine bağlı olarak;

$0 < H \leq 8.0m$ için q = 0.5 kN/cm2

$8.0 < H \leq 20.0m$ için q = 0.8 kN/cm2

bağıntıları ile hesaplanır.

A_i : Kat döşemesine rüzgar yükü aktaran alandır ve rüzgar doğrultusuna dik olan yüzey genişliği ile ardışık iki katın yüksekliklerinin ortalamasının çarpımı ile elde edilir.

$W_{1x} = 1,2x18x0,5x3 = 32,40 \text{ kN} = W_{1y}$

$W_{2x} = 1,2x18x[\ 0,5x((1,5+4)/3) + (\ 0,8x0,5x1/3)\ ] = 33,48 \text{ kN} = W_{2y}$

$W_{3x} = 1,2x18x[\ 0,5x(2/3) + (\ 0,8x((2,5/3)+1,5)\ ] = 47,52 \text{ kN} = W_{3y}$

$W_{4x} = 1,2x18x0,8x3 = 51,84 \text{ kN} = W_{4y}$

$W_{5x} = 1,2x18x0,8x3 = 51,84 \text{ kN} = W_{5y}$

$W_{6x} = 1,2x18x0,8x3 = 25,92 \text{ kN} = W_{6y}$

4.3 Sistemin Analizi

Plan ve en kesitleri Şekil 1.1 , 1.2 ve 1.3 'te verilen ve ön boyutlandırma sonucunda enkesit profilleri belirlenen yapı sisteminin , düşey yükler ile deprem ve rüzgar yükleri altında SAP2000 programı yardımıyla analizi yapılmış ve toplam (41) adet

yük birleşimi için eleman iç kuvvetleri elde edilmiştir. Analiz sonuçları ile göreli kat ötelenmeleri ve ikinci mertebe etkileri kontrol edilecektir.

4.4 Göreli Kat Ötelenmelerinin Kontrolü

Herhangi bir kolon için ,azaltılmış göreli kat ötelenmesi ;

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \qquad \textbf{(4.8)}$$

Bu denklemde d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın ardışık iki katında, herhangi bir kolonun uçlarında, azaltılmış deprem yüklerinden meydana gelen en büyük yerdeğistirmelerdir.Her bir deprem doğrultusunda, binanın i'inci katındaki kolonlar için etkin göreli kat ötelemesi;

$$\delta_i = R\Delta_i \qquad \textbf{(4.9)}$$

Çizelge 4.6 : (x) Doğrultusunda göreli kat ötelenmelerinin kontrolü

KAT	$\mathbf{h_i}$ **(m)**	$\mathbf{d_{ix}}$**(m)**	Δ_{ix} **(m)**	$\mathbf{\delta i_x = R\Delta_{ix}}$ **(m)**	$\mathbf{\delta_{ix} / h_i}$
ÇATI	3,00	0,0289	0,0053	0,0264	0,0088
5	3,00	0,0236	0,0059	0,0300	**0,0099**
4	3,00	0,0177	0,0058	0,0291	0,0097
3	3,00	0,0118	0,0051	0,0255	0,0085
2	3,00	0,0067	0,0048	0,0241	0,0080
1	3,00	0,0019	0,0019	0,0095	0,0032

Hesaplarda ana deprem doğrultusundaki deprem yüklerinden dolayı bu doğrultuya dik doğrultudaki yer değiştirmelerin bileşke yer değiştirmeye etkisi ihmal edilmiştir.Her iki doğrultudaki simetri nedeniyle burulma düzensizliği bulunmayan binada, söz konusu varsayımın yer değiştirmelere etkisi %1'den daha küçük olmaktadır.

Herbir deprem doğrultusu için ,binanın herhangi bir i'inci katındaki kolon veya perdelerde hesaplanan δ_i değerinin kat yüksekliklerine oranı tablonun son kolonunda yer almaktadır.Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'de görüldüğü gibi δ_i / h_i değerlerinin en yüksek oranları (x) ve (y) doğrultuları için ;

$$\delta_{ix} / h_i = 0{,}0099 \quad \text{ve} \quad \delta_{iy} / h_i = 0{,}0089 \text{ olmaktadır.}$$

Çizelge 4.7 : (y) Doğrultusunda göreli kat ötelenmelerinin kontrolü

KAT	**h_i (m)**	**d_{iy}(m)**	**Δ_{iy} (m)**	**$\Delta i_y = R\Delta_{iy}$ (m)**	**δ_{iy} / h_i**
ÇATI	3,00	0,0261	0,0051	0,0253	0,0084
5	3,00	0,0210	0,0054	0,0268	**0,0089**
4	3,00	0,0157	0,0053	0,0265	0,0088
3	3,00	0,0103	0,0048	0,0238	0,0079
2	3,00	0,0056	0,0037	0,0184	0,0061
1	3,00	0,0019	0,0019	0,0095	0,0032

DBYBHY 2007 Madde 2.10.1.3'de belirtilen, aşağıda gösterilen şartları sağladığı kontrol edilir;

$$(\delta_i / h_i)_{max} < 0,02$$

Bu koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin deprem hesabı tekrarlanacaktır.

Buna göre ;

$$(\delta_i / h_i)_{max} = 0,0099 < 0,02$$

koşulunu sağlamaktadır.

4.5 İkinci Mertebe Etkileri

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=i}^{N} w_j}{v_j h_i} \leq 0,12 \qquad \textbf{(4.10)}$$

DBYBHY 2007 Madde 2.10.2'de belirtilen göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri θi hesaplanarak ,Denklem 5.10 koşulu sağlanacaktır.

$(\Delta_i)_{ort}$: i'inci kat için yukarıdaki bölümde tanımlanan azaltılmış göreli kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değerini

V_i : gözönüne alınan deprem doğrultusunda binanın i'inci katına etkiyen kat kesme kuvvetini

h_i : binanın i'inci katının kat yüksekliğini

w_j : binanın j'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığını göstermektedir

Bu binada kat döşemeleri rijit diyafram olarak çalışmaktadır.E_{x1} ve E_{x2} yüklemelerinden dolayı kat kütle merkezinde meydana gelen azaltılmış göreli kat ötelenmelerinin ortalaması ,(x) doğrultusu için $(\Delta_i)_{ort}$ olarak alınabilmektedir.(y) doğrultusu içinde aynı durum geçerlidir. Çizelge 4.8'de (x) ve (y) doğrultuları için ortalama kat ötelenmeleri verilmiştir.

Çizelge 4.8 : (x) ve (y) Doğrultusunda ortalama kat ötelenmeleri

KAT	$(d_{ix})_{ort}$	$(d_{iy})_{ort}$
1	0,1900	0,1897
2	0,6714	0,5577
3	0,1179	0,1034
4	0,1762	0,1565
5	0,2360	0,2101
6	0,2890	0,2607

Her iki deprem doğrultusu için her katta hesaplanan θ_i parametresinin en büyük değeri ,(x) doğrultusunda ikinci katta meydana gelmektedir.

$$(\Delta_{2x})_{ort} = ((d_{2x})_{ort} - (d_{1x})_{ort}) = 0,6714 - 0,1900 = 0,4814 \text{ cm}$$

$$\sum_{j=2}^{6} w_j = 1944,0x4 + 1544,4 = 9320,4 \text{ kN}$$

$$V_{2x} = 159,03 + 238,55 + 318,06 + 397,58 + 453,09 = 1566,31 \text{kN}$$

$h_{2x} = 300$ cm

olmak üzere ;

$$\theta_{\max} = \theta_2 = \frac{0,4814x9320,4}{1566,31x300} = 0,009 \le 0,12$$

koşulunu sağladığından, ikinci mertebe etkilerinin TS648 Çelik Yapılar Standardı'na uygun olarak değerlendirilecektir.

4.6 Yük Birleşimleri

AISC 360-05'de verilen Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi için ASCE/SEI 7-05 "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" de öngörülen yük kombinasyonları ile TS648 için İMO İstanbul Şubesi tarafından yayınlanmış olan İMO Standart-02çR-01/2008 "Çelik Yapılar Emniyet Gerilmesi Esasına Göre Hesap ve Proje Esasları" isimli kaynakta önerilen yük kombinasyonları giriş bölümünde de detayları verildiği şekilde oluşturulan 3 adet yükleme kombinasyonu olarak sisteme uygulanmıştır.

4.6.1 Yük kombinasyonu-1

TS 648 ve DBYBHY 2007 yönetmeliğine uygun olarak düşey yükler ile yatay deprem ve rüzgar kuvvetleri altında yapının analizi ile elde edilen iç kuvvetler aşağıdaki şekilde birleştirilecektir.

TS 648'e göre :

"Düşey yükler ve rüzgarın ortak etkisi altında Emniyet Gerilmeleri Yöntemi'ne göre yapılan kesit hesaplarında, emniyet gerilmeleri en fazla %15 arttırılacaktır.

DBYBHY 2007 yönetmeliğinin 4.2.3.5 maddesinde "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 gerilemeleri esasına göre tasarımında ise, bu artırım %15'i aşmayacaktır.

Gerilmelerde uygulanacak artırımlar yük kombinasyonlarında uygulanarak kombinasyonların karşılaştırılması sağlanmıştır.

$(D + L + E) \leq 1.15 \rightarrow 0.87 (D + L + E) \leq 1.0$

$(D + L + E) \leq 1.33 \rightarrow 0.75 (D + L + E) \leq 1.0$

a) Düşey yük birleşimleri:

D+L

b) Düşey yük + deprem birleşimleri:

0,75(D± Ex1 ± 0.3Ey)

0,75(D ± Ex2 ± 0.3Ey)

0,75(D ± 0.3Ex ± Ey1)

$0,75(D \pm 0.3Ex \pm Ey_2)$

$0,75(D + L \pm Ex_1 \pm 0.3Ey)$

$0,75(D + L \pm Ex_2 \pm 0.3Ey)$

$0,75(D + L \pm 0.3Ex \pm Ey_1)$

$0,75(D + L \pm 0.3Ex \pm Ey_2)$

$0,75(0.9D \pm Ex_1 \pm 0.3Ey)$

$0,75(0.9D \pm Ex_2 \pm 0.3Ey)$

$0,75(0.9D \pm 0.3Ex \pm Ey_1)$

$0,75(0.9D \pm 0.3Ex \pm Ey_2)$

c) Düşey yük + rüzgar birleşimleri:

$0,87(D \pm W_x)$

$0,87(D \pm W_y)$

$0,87(D + L \pm W_x)$

$0,87(D + L \pm W_y)$

$0,87(0.9D \pm W_x)$

$0,87(0.9D \pm W_y)$

Burada;

D : sabit yüklerden oluşan iç kuvvetler

L : hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler

Ex, Ex_1, Ex_2 : (x) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki kat boyutunun + % 5 ve - % 5 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler.

Ey, Ey_1, Ey_2 : (y) doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki kat boyutunun + % 5 ve - % 5 'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler.

Wx, Wy : (x) ve (y) doğrultusundaki rüzgar yüklerinden oluşan iç kuvvetler.

4.6.2 Yük kombinasyonu-2

AISC 360-05'de verilen Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi için ASCE/SEI 7-05 "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" de öngörülen yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir. Verilen ilk yirmi dört kombinasyon deprem kombinasyonlarıdır. DBYBHY 2007, bölüm 2.7.5 uyarınca, her iki doğrultuda yapıya ayrı ayrı etkiyen deprem yüklerine ek olarak, diğer doğrultudaki deprem etkilerinin %30'u da etkittirilecektir.

$E1 = E_x + 0.3\ E_y$

$E2 = -E_x + 0.3\ E_y$

$E3 = E_x - 0.3\ E_y$

$E4 = -E_x - 0.3\ E_y$

$E5 = E_{x1} + 0.3\ E_y$

$E6 = -E_{x1} + 0.3\ E_y$

$E7 = E_{x1} - 0.3\ E_y$

$E8 = -E_{x1} - 0.3\ E_y$

$E9 = E_{x2} + 0.3\ E_y$

$E10 = -E_{x2} + 0.3\ E_y$

$E11 = E_{x2} - 0.3\ E_y$

$E12 = -E_{x2} - 0.3\ E_y$

$E13 = E_y + 0.3\ E_x$

$E14 = -E_y + 0.3\ E_x$

$E15 = E_y - 0.3\ E_x$

$E16 = -E_y - 0.3\ E_x$

$E17 = E_{y1} + 0.3\ E_x$

$E18 = -E_{y1} + 0.3\ E_x$

$E19 = E_{y1} - 0.3\ E_x$

$E20 = -E_{y1} - 0.3\ E_x$

E21 = E_{y2} + 0.3 E_x

E22 = –E_{y2} + 0.3 E_x

E23 = E_{y2} + 0.3 E_x

E24 = – E_{y2} – 0.3 E_x

C 1 = 1.0 D

C 2 = 1.0 D + 1.0 L

C 3 = 1.0 D + 1.0 W_x

C 4 = 1.0 D – 1.0 W_x

C 5 = 1.0 D + 1.0 W_y

C 6 = 1.0 D – 1.0 W_y

C 7 – C 30 = 1.0 D + E1 +…+ E24

C 31 = 1.0 D + 0.75 W_x + 0.75 L

C 32 = 1.0 D – 0.75 W_c + 0.75 L

C 33 = 1.0 D + 0.75 W_y + 0.75 L

C 34 = 1.0 D – 0.75 W_y + 0.75 L

C 35 – C 58 = 1.0 D + 0.75 (L + E1+ …+ E24)

C 59 = 0.60 D + 1.0 W_x

C 60 =0.60 D – 1.0 W_x

C 61 = 0.60 D + 1.0 W_y

C 62 = 0.60 D – 1.0 W_y

C 63 – C 86 = 0.60 D + E1 + ….+ E24

4.6.3 Yük kombinasyonu-3

AISC 360-05'de verilen Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi için ASCE/SEI 7-05 "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" de öngörülen yük kombinasyonları aşağıda deprem kombinasyonları ile verilmiştir.

C 1 = 1.0 D

C 2 = 1.0 D + 1.0 L

C 3 = 1.0 D + 1.0 W_x

C 4 = 1.0 D – 1.0 W_x

C 5 = 1.0 D + 1.0 W_y

C 6 = 1.0 D – 1.0 W_y

C 7 = 1.0 D + 0.70 E_x

C 8 = 1.0 D – 0.70 E_x

C 9 = 1.0 D + 0.70 E_y

C 10 = 1.0 D – 0.70 E_y

C 11 = 1.0 D + 0.75 W_x + 0.75 L

C 12 = 1.0 D – 0.75 W_x + 0.75 L

C 13 = 1.0 D + 0.75 W_y + 0.75 L

C 14 = 1.0 D – 0.75 W_y + 0.75 L

C 15 = 1.0 D + 0.75(0.70 E_x + L)

C 16 = 1.0 D + 0.75(-0.70 E_x + L)

C 17 = 1.0 D + 0.75(0.70 E_y + L)

C 18 = 1.0 D + 0.75(-0.70 E_y + L)

C 19 = 0.6 D + 1.0 W_x

C 20 = 0.6 D – 1.0 W_x

C 21 = 0.6 D + 1.0 W_y

C 22 = 0.6 D – 1.0 W_y

C 23 = 0.6 D + 0.70 E_x

C 24 = 0.6 D – 0.70 E_x

C 25 = 0.6 D + 0.70 E_y

C 26 = 0.6 D – 0. 70 E_y

4.7 Yük Kombinasyonlarına Göre Boyutlandırma

Analizini yapmış olduğumuz sistem diğer bölümlerde anlatılan yük kombinasyonlarına göre değerlendirilmiş ve boyutlandırılması yapılmıştır. Boyutlandırma hesaplarında AISC 360-05 ve AISC 341-05 tasarım kuralları dikkate alınmıştır. Yükleme kombinasyonu-2 için yükler ve bu yüklerin oluştuğu kombinasyonlar gösterilmiş fakat hesaplarda dikkate alınmamıştır.

4.7.1 Kolonların boyutlandırılması ve yükleme durumları

Kolonlara gelen yükler Yükleme Durumu-1, Yükleme Durumu-2 ve Yükleme Durumu-3'e göre bulunarak tablolar halinde gösterilmiştir. En elverişsiz yük durumu için Yükleme Durumu-1 ve Yükleme Durumu-3'e göre boyutlandırma yapılmıştır.

4.7.1.1 Kolonların boyutlandırılması için yükleme durumları

Yükleme durumlarına göre bulunan yükler aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

a) Sadece ölü yük ve deprem etkisinde:

Kolonlara etki eden ölü yük ile birlikte deprem etkisi, hareketli yükler olmadan Çizelge 4.9'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.9 : Kolonların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisi)

1. Kat D Aksı	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	0,75(D - Ey+0.3Ex)	1.0 D - 0,3 Ex -Ey	1.0 D - 0.70 E_y
Nmaks (kN)	-1507,228	-1960,971	-1517,335

b) Ölü yük ,hareketli yük ve deprem etkisinde:

Kolonlara etki eden ölü yük ,deprem etkisi ve hareketli yükler Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10 : Kolonların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük,hareketli yük ve deprem etkisi)

1. Kat D Aksı	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	0,75(D+L- 0.3Ex + Ey)	1.0 D+0.75(L- 0.3Ex +Ey)	1.0 D + 0.75(-0.70 E_y + L)
Nmaks (kN)	-1600,772	-1706,12	-1336,894

4.7.1.2 Kolonların boyutlandırılması

Çizelge 4.9 ve 4.10'da yer alan yükler ve yükleme durumları karşılaştırılarak en elverişsiz yük kombinasyonları için boyutlandırmalar yapılmıştır.

a) Yükleme durumu-1 için boyutlandırma:

En elverişsiz yükleme olan düşey yükler + deprem yüklemesi (0,75(D+L- 0.3Ex + Ey)) yüklemesi için boyutlandırma yapılacaktır.

Seçilen kesit: HE 280 B (G=103 kg/m) , (St 37)

h = 28 cm b = 28 cm A = 131,40 cm^2

tf = 1,8 cm tw = 1,05 cm Wx = 1376 cm^3

Ix = 19270cm^4 ix = 12,11 cm iy = 7,09 cm

Wy = 471 cm^3 F_b=28x1,8=50,4 cm^2 hw=1,96 cm

St 37 yapı çeliği için; $\sqrt{E/F_y} = \sqrt{206182/235} = 29{,}62$ **(4.11)**

N_{maks}= -1600.77 kN

Başlık narinliği;

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_r = 0{,}56\sqrt{E/F_y} \quad \textbf{(4.12)}$$

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{280}{2x18} = 7{,}78 < \lambda_r = 0{,}56\sqrt{E/F_y} = 0{,}56x29{,}62 = 16{,}59$$

Gövde narinliği;

$$\frac{h_w}{t_w} < \lambda_r = 1{,}49\sqrt{E/F_y} \quad \textbf{(4.13)}$$

$\frac{h_w}{t_w} < \frac{196}{10,5} = 18,67 < \lambda_r = 1,49\sqrt{E/F_y} = 1,49x29,62 = 44,13$ Narinlik oranları;

K_x=1,0 K_y=1,0

(x-x) ekseninde narinlik,

$$\lambda_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{280}{12,11} = 23,12 < 200$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{280}{7,09} = 39,49 < 200$$

λ= maks(λ_x ; λ_y)= 39,49 olarak bulunur.

$$\lambda_y = \frac{K_y L}{r_y} = 39,49 < 4,71\sqrt{E/F_y} = 4,71x29,62 = 139,51 \qquad \text{Veya;}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} > 0,44xF_y \qquad \textbf{(4.14)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 x206182}{(39,49)^2} = 1304,90N/mm^2 > 0,44x235 = 103,4N/mm^2$$

Eğilme burkulması gerilmesi;

$$F_{cr} = 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 0,658^{\frac{235}{1304,90}} 235 = 217,94N/mm^2 \qquad \textbf{(4.15)}$$

$$P = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{AF_{cry}}{\Omega} = \frac{13140x217,94}{1,67}10^{-3} = 1714,81kN > 1600,77kN \qquad \textbf{(4.16)}$$

b)Yükleme durumu-3 için boyutlandırma:

Seçilen kesit: HE 260 B (G=93 kg/m) , (St 37)

h = 26 cm b = 26 cm A = 118,40 cm^2

t_f = 1,75 cm t_w = 1,0 cm W_x = 1148 cm^3

I_x = 14920 cm^4 r_x = 11,22 cm r_y = 6,58 cm

W_y = 395 cm^3 F_b=26x1,75=45,5 cm^2 h_w = 17,7 cm

$$\sqrt{E/F_y} = \sqrt{206182/235} = 29{,}62$$

1.Kat D aksı kolonunda en elverişsiz yükler altında (1.0 D - 0.70 Ey) meydana gelen maksimum kuvvet;

N_{maks}= -1517,36 kN

Başlık narinliği;

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_r = 0{,}56\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{b}{2t_f} < \frac{260}{2x17{,}5} = 7{,}43 < \lambda_r = 0{,}56\sqrt{E/F_y} = 0{,}56x29{,}62 = 16{,}59$$

Gövde narinliği;

$$\frac{h_w}{t_w} < \lambda_r = 1{,}49\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{h_w}{t_w} < \frac{177}{10} = 17{,}7 < \lambda_r = 1{,}49\sqrt{E/F_y} = 1{,}49x29{,}62 = 44{,}13$$

Narinlik oranları;

K_x=1,0 K_y=1,0

(x-x) ekseninde narinlik,

$$\lambda_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{280}{11{,}22} = 24{,}96 < 200$$

$$\lambda_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{280}{6{,}58} = 42{,}55 < 200$$

λ= maks(λ_x ; λ_y)= 42,55 olarak bulunur.

$$\lambda_y = \frac{K_y L}{r_y} = 42{,}55 < 4{,}71\sqrt{E/F_y} = 4{,}71x29{,}62 = 139{,}51$$

Veya; $F_e = \dfrac{\pi^2 E}{\left(\dfrac{K_y L}{r_y}\right)^2} > 0{,}44xF_y$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 x 206182}{(42,55)^2} = 1123,96 N/mm^2 > 0,44x235 = 103,4 N/mm^2$$

Eğilme burkulması gerilmesi;

$$F_{cr} = 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 0,658^{\frac{235}{1123,96}} 235 = 215,31 N/mm^2$$

$$P = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{AF_{cry}}{\Omega} = \frac{11840x215,31}{1,67} 10^{-3} = 1526,51 kN > 1517,36 kN$$

4.7.2 Çapraz elemanların boyutlandırılması ve yükleme durumları

Çapraz elemanlara gelen yükler yükleme durumu-1, yükleme durumu-2 ve yükleme durumu 3'e göre Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.Bu yükleme durumlarından 1 ve 3 için en elverişsiz olan yük kombinasyonuna göre boyutlandırma yapılmıştır**.**

4.7.2.1 Çapraz elemanların boyutlandırılması için yükleme durumları

Bulunan yükler aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

a) Sadece ölü yük ve deprem etkisinde:

Sistem sadece ölü yük ve deprem etkisindeyken çapraz elemanlara etkiyen yükler Çizelge 4.11'deki gibidir.

Çizelge 4.11 : Çapraz elemanların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisi)

1. Kat 4 Aksı	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	0,75(D -E_x+0.3E_y)	1.0 D -E_x +0,3E_y	1.0 D - 0.70 E_x
Nmaks (kN)	±579,537	±772,716	±582,505

b) Ölü yük ,hareketli yük ve deprem etkisinde:

Ölü yük, hareketli yük ve deprem yükleri aynı anda sisteme etkidiğinde çapraz elemanlara gelen yükler Çizelge 4.12'deki gibidir

Çizelge 4.12 : Çapraz elemanların boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük,hareketli yük ve deprem etkisi)

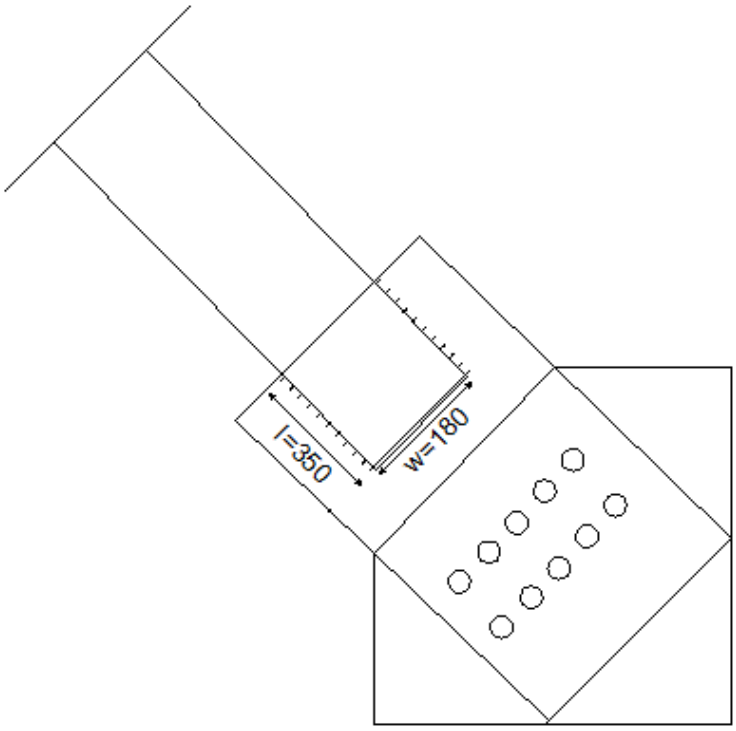
1. Kat 4 Aksı	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	$0,75(D-E_y+0.3E_x)$	$1.0\ D-E_x+0,3E_y$	$1.0\ D+0.75(-0.70E_x+L)$
Nmaks (kN)	±616,278	±772,716	±513,331

4.7.2.2 Çapraz elemanları boyutlandırılması

Çapraz elemanlar, etkiyen yüklerden en elverişsiz olan yük kombinasyonu için AISC 341-05 kurallarına göre boyutlandırılacaktır.

a) Yükleme durumu-1 için boyutlandırma:

4 aksı çerçevesi 1.kat çapraz elemanında en elverişsiz yükleme için kontroller yapılacaktır



Şekil 4.5 : Çapraz eleman

Seçilen kesit : □ 180x180x10, (St 37)

h = 18 cm b = 18 cm A = 66.9 cm2

tf = 1.0 cm tw = 1.0 cm i= 6.91 cm

En elverişsiz yükleme olan (0,75(D-E_y+0.3E_x)) düşey yükler + deprem yüklemesine göre hesap yapılacaktır.

Bu elemanlarda, düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden oluşan çubuk kuvvetleri ile toplam çubuk kuvvetleri:

N_{maks}= ±616,28

Maksimum basınç dayanımına göre kontrol edilirse:

Narinlik oranları;

K_x=1,0 K_y=1,0

(x-x) ekseninde narinlik,

$$\lambda_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{424,3}{6,91} = 61,40 = \lambda_y = \lambda_{maks} < 200$$

$$\lambda_{maks} = 61,40 < 4,71\sqrt{E/F_y} = 4,71x29,62 = 139,51$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 x206182}{(61,40)^2} = 539,78N/mm^2 > 0,44x235 = 103,4N/mm^2$$

Eğilme burkulması gerilmesi;

$$F_{cr} = 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 0,658^{\frac{235}{539,78}} 235 = 195,85N/mm^2$$

$$P = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{AF_{cry}}{\Omega} = \frac{6690x195,85}{1,67}10^{-3} = 784,57kN > 616,28kN$$

Maksimum çekme dayanımına göre kontrol edilirse:

2w > l > 1,5 w → U = 0,87

36 > 35 > 27 → U=0,87

Akmada karakteristik çekme dayanımı :

$P_n=F_yA_g$=235x6690x10^{-3}=1572,15 kN **(4.17)**

Akmada güvenle taşıyabileceği çekme kuvveti:

$$P_a = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{1572{,}15}{1{,}67} = 941{,}41kN > 616{,}28kN$$

$A_e=UA_g= 0.87x6690=5820{,}30\ mm^2$ **(4.18)**

Kırılmada çekme dayanımı :

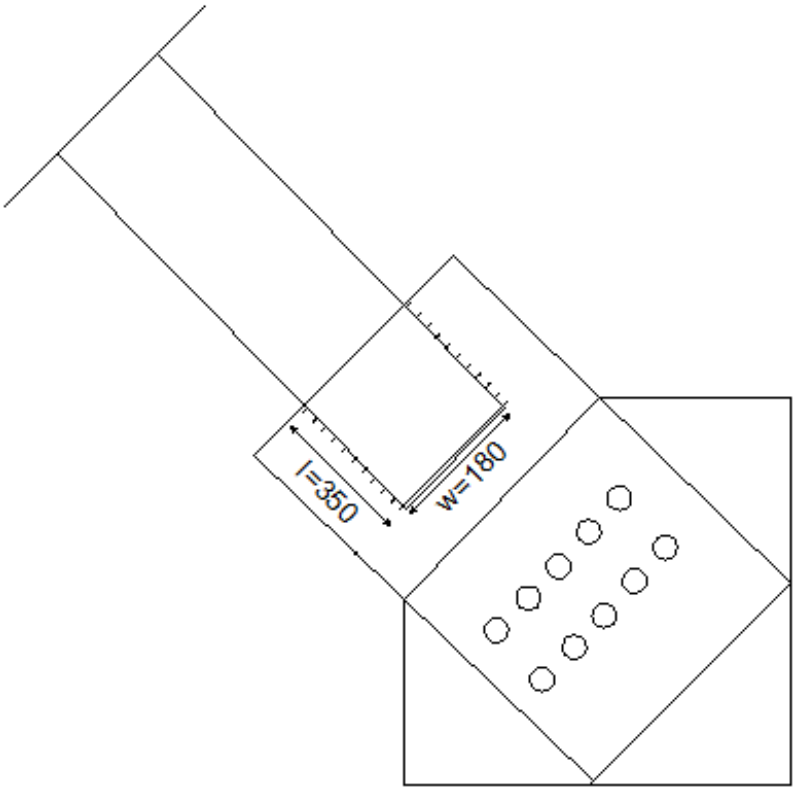
$P_n=F_uA_e =380x5820{,}30x10^{-3}=2211.71\ kN$ **(4.19)**

$$\frac{P_n}{\Omega} = \frac{2211{,}71}{1{,}67} = 1324{,}38kN > 616{,}28kN$$

Kullanılan kesit uygundur.

b) Yükleme durumu-3 için boyutlandırma:

4 aksı çerçevesi 1 .kat çapraz elemanında en elverişsiz yükleme için kontroller yapılacaktır.



Şekil 4.6 : Çapraz eleman

Seçilen kesit : □ 180x180x8, (St 37)

h = 18 cm b = 18 cm $A = 52.8\ cm^2$

tf = 0.8 cm tw = 0.8 cm i= 6.94 cm L=424.3 cm

Maksimum tesirler (1.0 D - 0.70 E_x) kombinasyonu altında oluşmuştur

N_{maks}= ±582,51 kN

Maksimum basınç dayanımına göre kontrol edilirse:

Narinlik oranları; K_x=1,0 K_y=1,0

(x-x) ekseninde narinlik,

$$\lambda_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{424,3}{6,94} = 61,14 = \lambda_y = \lambda_{maks} < 200$$

$$\lambda_{maks} = 61,14 < 4,71\sqrt{E/F_y} = 4,71x29,62 = 139,51$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 x206182}{(61,14)^2} = 544,38N/mm^2 > 0,44x235 = 103,4N/mm^2$$

Eğilme burkulması gerilmesi;

$$F_{cr} = 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 0,658^{\frac{235}{544,38}} 235 = 196,15N/mm^2$$

$$P = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{AF_{cry}}{\Omega} = \frac{5280x196,15}{1,67}10^{-3} = 622,16kN > 582,51kN$$

Maksimum çekme dayanımına göre kontrol edilirse:

2w > l > 1,5 w → U = 0,87

36 > 35 > 27 → U=0,87

Akmada karakteristik çekme dayanımı :

$P_n=F_yA_g$=235x5280x10^{-3}=1240,80 kN

Akmada güvenle taşıyabileceği çekme kuvveti:

$$P_a = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{1240,80}{1,67} = 742,99kN > 582,51kN$$

$A_e=UA_g= 0.87x5280=4593,60\ mm^2$

Kırılmada çekme dayanımı :

$P_n=F_uA_e =380x4593,60x10^{-3}=1745,57$ kN

$$\frac{P_n}{\Omega}=\frac{1745,57}{1,67}=1045,25kN > 582,51kN$$

Kullanılan kesit uygundur.

4.7.3 Kirişlerin boyutlandırılması ve yükleme durumları

Yükleme durumu-1, yükleme durumu-2 ve yükleme durumu 3'e göre kirişlere gelen yükler Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.15'te gösterilmiştir. Bu yükleme durumlarından 1 ve 3 için en elverişsiz olan yük kombinasyonuna göre boyutlandırma yapılmıştır.

4.7.3.1 Kirişlerin boyutlandırılması için yükleme durumları

Bulunan yükler aşağıdaki çizelgelerde gösterilmiştir.

a) Sadece Ölü Yük Ve Deprem Etkisinde:

Sistem sadece ölü yük ve deprem etkisindeyken kirişlere etkiyen yükler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.13 : Kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisinde)

2. Kat 1 Aksı B-C Aksları Arası	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	0,75(D+Ex -0.3Ey)	1.0 D +Ex +0,3Ey	1.0 D - 0.70 E_x
Mmaks (kNm)	5,58	7,44	7,44
Nmaks (kN)	±70,28	91,61	±64,86
Vmaks (kN)	9,47	12,63	12,63

a) Ölü Yük,Hareketli Yük Ve Deprem Etkisinde:

Ölü yük, hareketli yük ve deprem yükleri aynı anda sisteme etkidiğinde kirişlere gelen yükler aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.14 : Kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük,hareketli yük ve deprem etkisinde)

2. Kat 1 Aksı B-C Aksları Arası	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	0,75(D+L+Ex-0.3Ey)	1.0 D+0.75(L+Ex-0.3E_y)	1.0D+0.75(0.70E_x +L)
Mmaks (kNm)	7,25	9,11	9,11
Nmaks (kN)	±70,28	±70,28	±48,65
Vmaks (kN)	12,72	15,43	15,43

4.7.3.2 Kirişlerin boyutlandırılması

Kirişler, etkiyen yüklerden en elverişsiz olan yük kombinasyonu için AISC 360-05 ve DBYBHY 2007 kurallarına göre boyutlandırılacaktır.

a.Yükleme durumu-1 için boyutlandırma:

Merkezi çelik çapraz sisteminin diyagonal çubuklarının bağlandığı , 1 aksı B-C aksları arası çerçeve sistem kirişleri ile A aksı 3-2 aksları arası çerçeve sistem kirişleri için en elverişsiz yükleme olan (0,75(D+L+Ex-0.3Ey)) yüklemesi ile kontroller yapılacaktır.

M_{G+Q+E} = 7,25 kNm

N_{G+Q+E} = ±70,28 kN

T_{G+Q+E} = 12,72 kN

Seçilen kesit: IPE 140 (G=12,9 kg/m)

h = 14 cm b = 7,3 cm A = 16,43 cm^2

t_f = 0,69 cm t_w = 0,47 cm W_x = 77,32 cm^3

$I_x = 541,2cm^4$ $r_x = 5,74cm$ $r_y = 1,65\ cm$

$W_p = 88,34\ cm^3$ $h_w = 11,22\ cm$ $I_y = 44,92\ cm^4$

DBYBHY 2007 Madde 4.6.4.1(c) ve Madde 4.3.6.1 yatay yük taşıyıcı sistemin kirişlerinin üst ve alt başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesini ve mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklığın aşağıda belirtilen koşulu sağlamasını öngörmektedir.

$$l_b = 150 \le 0,086\frac{r_y E_s}{\sigma_a} \qquad \textbf{(4.20)}$$

r_y = Kiriş başlığının ve gövdenin basınç gerilmeleri etkisindeki bölümünün 1/5'inin yanal doğrultudaki atalet yarıçapı

$$l_b = 150 < 0,086\frac{2,06x206182}{235} = 155,43cm$$

Moment azaltma faktörü;

$$C_m = 0,6 - 0,4\left(\frac{M_1}{M_2}\right) = 0,6 - 0,4\left(\frac{7,25}{7,25}\right) = 0,2 \qquad \textbf{(4.21)}$$

Kiriş için euler burkulma yükü (yanal ötelenmesi önlenmiş çerçeve için);

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 (206182)541,2(10)^4}{(1,0x1500)^2} = 4894,69kN \qquad \textbf{(4.22)}$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_a}{P_{e1}}} = \frac{0,2}{1 - \frac{1,6(70,28)}{4894,69}} = 0,204 < 1,0 \rightarrow B_1 = 1,0 \qquad \textbf{(4.23)}$$

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} = 1,0(7,25) + 0 = 7,25kNm \qquad \textbf{(4.24)}$$

Tasarım Moment Dayanımı:

1) Yerel burkulma sınır durumu:

Başlık narinliği;

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_r = 0,38\sqrt{E/F_y} \qquad \textbf{(4.25)}$$

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{73}{2x6,9} = 5,29 < \lambda_{pf} = 0,38\sqrt{E/F_y} = 0,38x29,62 = 11,26$$

olduğundan başlık kompaktır. Gövde narinliği;

$$\frac{h_w}{t_w} < \lambda_{pw} = 3{,}76\sqrt{E/F_y} \qquad \textbf{(4.26)}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{112{,}2}{4{,}7} = 23{,}87 < \lambda_{pw} = 3{,}76\sqrt{E/F_y} = 3{,}76x29{,}62 = 111{,}37$$

Olduğundan gövde kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

Kompakt olan kesitlerden dolayı karakteristik moment dayanımı akma sınır durumu ile belirlenir;

$M_n=M_p=F_y$ x $Z_x=235(88{,}34)10^3=20{,}76$ kNm **(4.27)**

2) Yanal burulmalı burkulma sınır durumu:

Basınç başlığının yanal olarak tutulu olduğu durum:

A aksı 3-2 aksları arası çerçeve sistem kirişleri tali kirişler ile birleşmektedir.Bu yüzden yanal mesnetler arasındaki tutulu olmayan uzunluk L_b=1500 mm'dir.

$$L_b \le L_p = 1{,}76 r_y \sqrt{E/F_y} \qquad \textbf{(4.28)}$$

$L_b = 1500 < L_p = 1{,}76x16{,}5x29{,}62 = 860{,}17mm$ olduğundan kiriş basınç başlığı yanal olarak tutuludur.Yanal burulmalı burkulma ortaya çıkmaz ve karakteristik moment dayanımı akma sınır durumu ile belirlenir.

$M_n= M_p= F_yZ_x$

F_y= Çeliğin akma dayanımı N/mm^2

Z_x= Kuvvetli asal eksene göre plastik kesit modülü,mm^3

$M_p=M_n=F_y$ x $Z_x=235(88{,}34)10^3=20{,}76$ kNm

olduğundan moment için karakteristik dayanım akma sınır durumu ile belirlenen moment dayanımı olacaktır:

$$M_d = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{20{,}76}{1{,}67} = 12{,}43kNm > 7{,}25\,kNm \qquad \textbf{(4.29)}$$

Tasarım Basınç Dayanımı:

Narinlik oranları;

K_x=1,0 K_y=1,0

(x-x) ekseninde narinlik,

$$\lambda_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{1500}{57,4} = 26,13 \qquad \lambda_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{1500}{16,5} = 90,91$$

$$\lambda_{maks} = 90,91 < 4,71\sqrt{E/F_y} = 4,71x29,62 = 139,51$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 x206182}{(90,91)^2} = 246,22N/mm^2 > 0,44x235 = 103,4N/mm^2$$

$$F_{cr} = 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 0,658^{\frac{235}{246,22}} 235 = 157,61N/mm^2$$

$$P = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{AF_{cry}}{\Omega} = \frac{4525x157,61}{1,67}10^{-3} = 155,06kN > 70,28kN$$

Kontrol;

$$\frac{P_a}{P_n/\Omega} = \frac{70,28}{155,06} = 0,45 > 0,2$$

$$\frac{P_a}{P_n/\Omega} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{ax}}{M_{nx}/\Omega} + \frac{M_{ay}}{M_{ny}/\Omega}\right) \le 1,0$$

$$0,453 + \frac{8}{9}\left(\frac{7,25}{12,43}\right) = 0,453 + 0,518 = 0,971 < 1,0$$

Kayma Kontrolü:

$V_n=0,6F_yA_wC_v$ **(4.30)**

I en kesitli hadde profillerde ;

$$\frac{h}{t_w} \le 2,24\sqrt{E/F_y} \qquad \textbf{(4.31)}$$

ise C_v=1,00 alınabilir.

$$\frac{h}{t_w} \le 2{,}24\sqrt{E / F_y}$$

$$\frac{140}{4{,}7} = 29{,}78 \le 2{,}24x\sqrt{206182 / 235} = 66{,}35$$

C_v =1,00 alınabilir.

$A_w = d_g$ x t_w **(4.32)**

d_g = gövdenin düz kısmının uzunluğu, mm

t_w = Gövdenin kalınlığı, mm

A_w=112,2x4,7=527,34 mm^2

V_n=0,6x235x527,34x1,0x10^{-3} =74,35 kN

$$V_a = 12{,}72kN \le \frac{V_n}{\Omega} = \frac{74{,}35}{1{,}50} = 49{,}56kN \quad \textbf{(4.33)}$$

IPE 140 kesiti uygundur.

b)Yükleme durumu-3 için boyutlandırma:

Merkezi çelik çapraz sisteminin diyagonal çubuklarının bağlandığı , 1 aksı B-C aksları arası çerçeve sistem kirişleri ile A aksı 3-2 aksları arası çerçeve sistem kirişleri için en elverişsiz yükleme olan 1.0D+0.75(0.70E_x+L) yüklemesi ile kontroller yapılacaktır.

M_{G+Q+E} = 9,11 kNm

N_{G+Q+E} = ±48,65 kN

T_{G+Q+E} = 15,43 kN

Seçilen kesit: IPE 140 (G=12,9 kg/m)

h = 14 cm b = 7,3 cm A = 16,43 cm^2

t_f = 0,69 cm t_w = 0,47 cm W_x = 77,32 cm^3

I_x = 541,2cm^4 r_x = 5,74cm r_y = 1,65 cm

W_p = 88,34 cm^3 h_w = 11,22 cm I_y = 44,92 cm^4

DBYBHY 2007 Madde 4.6.4.1(c) ve Madde 4.3.6.1 yatay yük taşıyıcı sistemin kirişlerinin üst ve alt başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesini ve

mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklığın aşağıda belirtilen koşulu sağlamasını öngörmektedir.

$$l_b = 150 \le 0{,}086\frac{r_y E_s}{\sigma_a}$$

r_y = Kiriş başlığının ve gövdenin basınç gerilmeleri etkisindeki bölümünün 1/5'inin yanal doğrultudaki atalet yarıçapı

$$l_b = 150 < 0{,}086\frac{2{,}06x206182}{235} = 155{,}43cm$$

Moment azaltma faktörü; $C_m = 0{,}6 - 0{,}4\left(\frac{M_1}{M_2}\right) = 0{,}6 - 0{,}4\left(\frac{9{,}11}{9{,}11}\right) = 0{,}2$

Kiriş için euler burkulma yükü (yanal ötelenmesi önlenmiş çerçeve için);

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} = \frac{\pi^2 (206182)541{,}2(10)^4}{(1{,}0x1500)^2} = 4894{,}69kN$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \frac{\alpha P_a}{P_{e1}}} = \frac{0{,}2}{1 - \frac{1{,}6(70{,}28)}{4894{,}69}} = 0{,}204 < 1{,}0 \rightarrow B_1 = 1{,}0$$

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} = 1{,}0(9{,}11) + 0 = 9{,}11kNm$$

Tasarım Moment Dayanımı:

Başlık narinliği;

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_r = 0{,}38\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{73}{2x6{,}9} = 5{,}29 < \lambda_{pf} = 0{,}38\sqrt{E/F_y} = 0{,}38x29{,}62 = 11{,}26$$

olduğundan başlık kompaktır.

Gövde narinliği;

$$\frac{h_w}{t_w} < \lambda_{pw} = 3{,}76\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{112,2}{4,7} = 23,87 < \lambda_{pw} = 3,76\sqrt{E/F_y} = 3,76x29,62 = 111,37$$

Olduğundan gövde kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

Kompakt olan kesitlerden dolayı karakteristik moment dayanımı akma sınır durumu ile belirlenir;

$M_n=M_p=F_y$ x $Z_x=235(88,34)10^3=20,76$ kNm

2)Yanal burulmalı burkulma sınır durumu:

a) Basınç başlığının yanal olarak tutulu olduğu durum:

A aksı 3-2 aksları arası çerçeve sistem kirişleri tali kirişler ile birleşmektedir.Bu yüzden yanal mesnetler arasındaki tutulu olmayan uzunluk L_b=1500 mm'dir.

$$L_b \le L_p = 1,76r_y\sqrt{E/F_y}$$

Başlık narinliği;

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_r = 0,38\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{73}{2x6,9} = 5,29 < \lambda_{pf} = 0,38\sqrt{E/F_y} = 0,38x29,62 = 11,26$$

olduğundan başlık kompaktır.

Gövde narinliği;

$$\frac{h_w}{t_w} < \lambda_{pw} = 3,76\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{112,2}{4,7} = 23,87 < \lambda_{pw} = 3,76\sqrt{E/F_y} = 3,76x29,62 = 111,37$$

Olduğundan gövde kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.

Kompakt olan kesitlerden dolayı karakteristik moment dayanımı akma sınır durumu ile belirlenir;

$M_n=M_p=F_y$ x $Z_x=235(88,34)10^3=20,76$ kNm

$L_b = 1500 < L_p = 1{,}76x45{,}2x29{,}62 = 2356{,}36mm$ olduğundan kiriş basınç başlığı yanal olarak tutuludur.Yanal burulmalı burkulma ortaya çıkmaz ve karakteristik moment dayanımı akma sınır durumu ile belirlenir.

$M_n = M_p = F_y Z_x$

F_y= Çeliğin akma dayanımı N/mm^2

Z_x= Kuvvetli asal eksene göre plastik kesit modülü,mm^3

$M_n = M_p = F_y \text{ x } Z_x = 235(88{,}34)10^3 = 20{,}76$ kNm

olduğundan moment için karakteristik dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen moment dayanımı olacaktır:

$$M_d = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{20{,}76}{1{,}67} = 12{,}43kNm > 9{,}11\,kNm$$

Tasarım Basınç Dayanımı:

Narinlik oranları;

$K_x = 1{,}0 \quad K_y = 1{,}0$

(x-x) ekseninde narinlik,

$$\lambda_x = \frac{K_x L}{r_x} = \frac{1500}{57{,}4} = 26{,}13 \qquad \lambda_y = \frac{K_y L}{r_y} = \frac{1500}{16{,}5} = 90{,}91$$

$$\lambda_{maks} = 90{,}91 < 4{,}71\sqrt{E/F_y} = 4{,}71x29{,}62 = 139{,}51$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K_y L}{r_y}\right)^2} = \frac{\pi^2 x206182}{(90{,}91)^2} = 246{,}22N/mm^2 > 0{,}44x235 = 103{,}4N/mm^2$$

$$F_{cr} = 0{,}658^{\frac{F_y}{F_e}} F_y = 0{,}658^{\frac{235}{246{,}22}} 235 = 157{,}61N/mm^2$$

$$P = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{AF_{cry}}{\Omega} = \frac{4525x157{,}61}{1{,}67}10^{-3} = 155{,}06kN > 48{,}65kN$$

Kontrol:

$$\frac{P_a}{P_n/\Omega} = \frac{48{,}65}{155{,}06} = 0{,}313 > 0{,}2$$

$$\frac{P_a}{P_n/\Omega}+\frac{8}{9}\left(\frac{M_{ax}}{M_{nx}/\Omega}+\frac{M_{ay}}{M_{ny}/\Omega}\right)\le 1{,}0$$

$$0{,}313+\frac{8}{9}\left(\frac{9{,}11}{12{,}43}\right)=0{,}313+0{,}652=0{,}965<1{,}0$$

Kayma Kontrolü:

$V_n=0{,}6F_yA_wC_v$

I en kesitli hadde profillerde ;

$$\frac{h}{t_w}\le 2{,}24\sqrt{E/F_y}$$

ise $C_v=1{,}00$ alınabilir.

$$\frac{h}{t_w}\le 2{,}24\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{140}{4{,}7}=29{,}78\le 2{,}24x\sqrt{206182/235}=66{,}35$$

$C_v=1{,}00$ alınabilir.

$A_w = d_g \text{ x } t_w$

d_g = gövdenin düz kısmının uzunluğu, mm

t_w = Gövdenin kalınlığı, mm

$A_w=112{,}2\text{x}4{,}7=527{,}34$ mm^2

$V_n=0{,}6\text{x}235\text{x}527{,}34\text{x}1{,}0\text{x}10^{-3}=74{,}35$ kN

$$V_a=15{,}43kN\le\frac{V_n}{\Omega}=\frac{74{,}35}{1{,}50}=49{,}56kN$$

IPE 140 kesiti uygundur.

4.7.4 Tali kirişlerin boyutlandırılması ve yükleme durumları

Tali kirişlere gelen yükler yükleme durumu-1, yükleme durumu-2 ve yükleme durumu-3'e göre bulunarak tablolar halinde gösterilmiştir. Yükleme kombinasyonu-1 ve yükleme kombinasyonu-3 kullanılarak bulunan en elverişsiz yük durumuna göre boyutlandırma aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

4.7.4.1 Tali kirişlerin boyutlandırılması için yükleme durumları

Yükleme kombinasyonu-1 ve yükleme kombinasyonu-3 kullanılarak bulunmuş yük durumları Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17'de gösterildiği gibidir.

a) Sadece Ölü Yük Ve Hareketli Yük Etikisinde (En Büyük Etki):

Çizelge 4.15 : Tali kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (sadece ölü ve hareketli yük)

1. Kat A-B Aksları Arası	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	1.0 D + 1.0 L	1.0 D + 1.0 L	1.0 D + 1.0 L
Mmaks (kNm)	12,57	12,57	12,57
Vmaks (kN)	19,07	19,07	19,07

b) Ölü Yük Ve Deprem Etkisinde:

Çizelge 4.16 : Tali kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük ve deprem etkisinde)

1. Kat A-B Aksları Arası	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	$0,75(D+E_x+ 0.3E_y)$	$1.0\ D + E_x + 0,3E_y$	$1.0\ D + 0.70\ E_x$
Mmaks (kNm)	9,07	11,43	11,43
Vmaks (kN)	3,27	4,36	4,36

a)Ölü Yük,Hareketli Yük Ve Deprem Etkisinde:

Çizelge 4.17 : Tali kirişlerin boyutlandırılması için kullanılacak yükler (ölü yük, hareketli yük ve deprem etkisinde)

1. Kat A-B Aksları Arası	Yük Kombinasyonu-1	Yük Kombinasyonu-2	Yük Kombinasyonu-3
Yükleme Durumu	$0,75(D + L + E_x + 0.3E_y)$	$1.0D + 0.75(L + E_x + 0.3E_{y)}$	$1.0D+ 0.75(-0.70E_x + L)$
Mmaks (kNm)	10,27	12,48	12,48
Vmaks (kN)	4,77	5,86	5,86

4.7.4.2 Tali kirişlerin boyutlandırılması

a) Yükleme durumu-1 ve Yükleme durumu-3 için boyutlandırma:

Ana çerçeve kirişlerine mafsallı olarak mesnetlenen ve deprem yükleri etkisinde olmayan normal kat ikincil döşeme kirişlerinin kontrolleri yapılacaktır.

Seçilen kesit: HEA 120 (G=19,9 kg/m)

h = 11,4 cm	b = 12 cm	$A = 25,34\ cm^2$
$t_f = 0,80$ cm	$t_w = 0,50$ cm	$W_x = 106,3\ cm^3$
$I_x = 606,2\ cm^4$	$r_x = 4,89$ cm	$r_y = 3,02$ cm
$W_p = 119,5\ cm^3$	$h_w = 7,4$ cm	$I_y = 230,9\ cm^4$

Maksimum tesirler C2 = D+L kombinasyonu altında oluşmuştur.

$M_{max} = 12,57$ kNm, $V_{max} = 19,07$ kN

Başlık narinliği;

$$\frac{b}{2t_f} < \lambda_r = 0,38\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{120}{2x8} = 7,50 < \lambda_{pf} = 0,38\sqrt{E/F_y} = 0,38x29,62 = 11,26$$

Gövde narinliği;

$$\frac{h_w}{t_w} < \lambda_{pw} = 3,76\sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{74}{5} = 14,8 < \lambda_{pw} = 3,76\sqrt{E/F_y} = 3,76x29,62 = 111,37$$

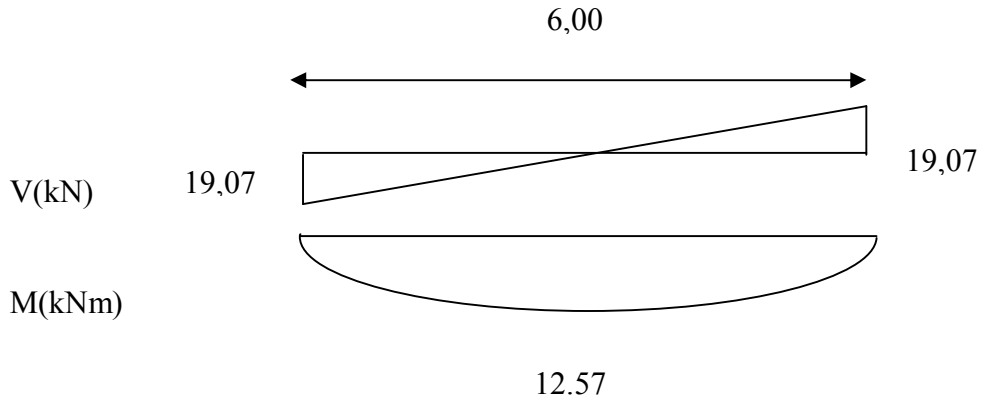
Olduğundan gövde kompakt kesit koşulunu sağlamaktadır.Kompakt olan kesitlerden dolayı karakteristik moment dayanımı;

$M_n=M_p=F_y$ x $Z_x=235(119,5)10^3=28,08$kNm

$$L_b \le L_p = 1,76r_y\sqrt{E/F_y}$$

$L_b = 6000 > L_p = 1,76x30,2x29,62 = 1574,39mm$ olduğundan kiriş basınç başlığı

yanal olarak tutulu değildir .Yanal burulmalı burkulma sınır durumu moment karakteristik dayanımını belirler.



Şekil 4.7 : Tali kiriş kesme kuvveti ve moment diyagramı

Çift simetri eksenli I enkesitler için , h_0= h-t_f =114-8=106 mm ve c =1,0

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y h_o}{2S_x}} \qquad \textbf{(4.34)}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{230{,}9x10^4\,x106}{2x106{,}3x10^3}} = 33{,}93mm$$

$$L_r = 1{,}95 r_{ts} \frac{E}{0{,}70F_y}\sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o}}\sqrt{1+\sqrt{1+6{,}76\left(\frac{0{,}7F_y}{E}\frac{S_x h_o}{J_c}\right)^2}} \qquad \textbf{(4.35)}$$

$$L_r = 1{,}95x33{,}93\frac{206182}{0{,}70x235}\sqrt{\frac{5{,}99x10^4\,x1{,}0}{106{,}3x10^3\,x106}}\sqrt{1+\sqrt{1+6{,}76\left(\frac{0{,}7x(235)}{206182}\frac{(106{,}3x10^3)106{,}3}{5{,}99x10^4\,x1{,}0}\right)^2}}$$

L_r= 8706,46 mm

$L_p < L_b < L_r$ olduğundan yanal burulmalı burkulma inelastiktir ve aşağıdaki ifade ile belirlenir:

$$M_n = C_b\left[M_p - \left(M_p - M_r\right)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right] \qquad \textbf{(4.36)}$$

$$C_b = \frac{12{,}5M_{maks}}{2{,}5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_c} \qquad \textbf{(4.37)}$$

M_{max} = Tutulu olmayan kiriş uzunluğundaki maksimum momentin mutlak değeri

M_A = Tutulu olmayan kiriş uzunluğunun ¼ noktasındaki momentin mutlak değeri

M_B = Tutulu olmayan kiriş uzunluğunun orta noktasındaki momentin mutlak değeri

M_C = Tutulu olmayan kiriş uzunluğunun ¾ noktasındaki momentin mutlak değeri

$$C_b = \frac{12{,}5x12{,}57}{2{,}5x12{,}57 + 3x9{,}01 + 4x12{,}57 + 3x9{,}01} = 1{,}16$$

$M_p = F_y Z_x = 235(119{,}5)10^3 = 28{,}08\ (10)^6$ Nmm

$M_r = 0{,}7F_y Z_x = 0{,}7(235)(119{,}5)10^3 = 19{,}64\ (10)^6$ Nmm **(4.38)**

$$M_n = 1{,}16\left[28{,}08 - (28{,}08 - 19{,}64)\left(\frac{6000 - 1574{,}36}{8706{,}46 - 1574{,}36}\right)\right] = 24{,}95kNm < M_p = 28{,}08kNm$$

olduğundan moment için karakteristik dayanım yanal burulmalı burkulma sınır durumu ile belirlenen moment dayanımı olacaktır:

$$M_d = \frac{M_n}{\Omega} = \frac{24{,}95}{1{,}67} = 14{,}94kNm > 12{,}57\ kNm$$

<u>Kayma kontrolü:</u>

$V_n = 0{,}6F_y A_w C_v$

V_n = karakteristik kayma dayanımı, N

A_w = Gövde alanı, mm^2

Ω = Kayma güvenlik katsayısı (= 1.67)

C_v = Gövde stabilitesini göze almak için kullanılan katsayı

$A_w = d_g$ x t_w

d_g = gövdenin düz kısmının uzunluğu, mm

t_w = Gövdenin kalınlığı, mm

$A_w = 74x5 = 370\ mm^2$

$\frac{d_g}{t_w} \le 2{,}24\sqrt{E/F_y}$ ise Cv=1,00

$$\frac{74}{5} = 14{,}80 \le 2{,}24x\sqrt{206182/235} = 66{,}35 \rightarrow C_v = 1{,}0$$

$V_n = 0{,}6x235x370x1{,}0x10^{-3} = 52{,}17$ kN

$\frac{V_n}{\Omega} = \frac{52,17}{1,50} = 34,78kN > 19,07kN$ profil uygundur.

4.8 Boyutlandırılmaların Karşılaştırılması

TS 648 ve DBYBHY 2007 yönetmeliğine uygun olarak düşey yükler, yatay deprem yükleri ve rüzgar kuvvetlerini içeren Yükleme Durumu-1 ve ASCE/SEI 7-05 "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures" de Güvenlik Katsayıları İle Tasarım yöntemi için verilen yük kombinasyonlarından oluşan Yükleme Durumu-3 kullanılarak yapının analizi yapılmıştır. Her iki durum için yapılan analiz sonuçları içerisinden, en elverişsiz yük kombinasyonlarının oluşturduğu kuvvetler alınarak AISC 360-05 ve AISC 341-05 tasarım kuralları ile boyutlandırma yapılmıştır.Yapılan hesaplar sonucu bulunan profiller Çizelde 4.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18 : Boyutlandırılmaların karşılaştırılması

Eleman	**Yükleme Durumu-1**	**Yükleme Durumu-3**
Kolonlar	HE280B	HE260B
Çapraz Elemanlar	180x180x10	180x180x8
Ana Kirişler	IPE 140	IPE 140
Tali Kirişler	HEA120	HEA120

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı altı katlı çelik bina, 2007 yılında yürürlüğe giren Türk Deprem Yönemeliğine ve AISC 360-05 ile AISC 341-05 standartlarına uygun olarak boyutlandırılmıştır.

Çalışmanın 2. Bölüm'ünde süneklilik düzeyi yüksek çelik çaprazlı sistemler hakkıda bilgi verilmiş, Bölüm 3'te AISC ve DBYBHY 2007'ye göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı sistemler için gerekli tasarım kurallarından detaylı olarak bahsedilmiştir.

AISC ve DBYBHY'e göre bir karşılaştırma yapacak olursak:

Süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı sistemlerin çaprazları için narinlik sınırı AISC'de de DBYBHY'de de $\lambda \le 4\sqrt{E_s/\sigma_a}$ olarak verilmiştir. Eğilme ve eksenel basınca çalışan kirişlerin enkesit koşulları için her iki yönetmelikte de $b/t \le 0{,}3\sqrt{E_s/\sigma_a}$ koşulu,eksenel basınç etkisindeki kolonların enkesit koşulları için ise DBYBHY'de $\left|N_d/\sigma_a\ A\right| \le 0{,}10$ için $h/t_w \le 3{,}2\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(1-1{,}7\left|\frac{N_d}{\sigma_a A}\right|\right)$, $\left|N_d/\sigma_a\ A\right| > 0.10$ için $h/t_w \le 1{,}33\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(2{,}1-\left|\frac{N_d}{\sigma_a A}\right|\right)$ olarak verilmişken, AISC'de $\left|N_d/\sigma_a\ A\right| \le 0{,}125$ için $h/t_w \le 3{,}14\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(1-1{,}54\left|\frac{N_d}{\sigma_a A}\right|\right)$ ve $\left|N_d/\sigma_a\ A\right| > 0{,}125$ için $h/t_w \le 1{,}12\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(2{,}33\left|\frac{N_d}{\sigma_a A}\right|\right)$ olarak verilmiştir. Kare kutu kesitli çaprazların enkesit koşulu olarak ise DBYBHY'de $b/t \le 0{,}7\sqrt{E_s/\sigma_a}$ olarak verilmişken AISC'de $b/t \le 0{,}64\sqrt{E_s/\sigma_a}$ olarak verilmiştir. Görüldüğü gibi her iki yönetmelikte de süneklik düzeyi yüksek çelik çaprazlı sistemler için belirtilmiş kurallar benzerdir.

Ülkemizde yapısal çeliğin kullanımında son yıllarda gözlenen hızlı gelişimin aksine tasarım stardartlarında hiç bir iyileştirme yapılmadığı açıktır. Bilindiği gibi ülkemizin büyük bir bölümü 1. ve 2. deprem bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Depreme dayanıklı yapısal çelik tasarımını da içeren koşulların yer aldığı yönetmelik DBYBHY 2007'de kesinleşerek uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. Bu yönetmelik ile çelik binalar ile ilgili koşullar günümüz mühendislik gereksinimlerini karşılayabilecek seviyeye getirilmeye çalışılmış; ancak çelik yapıların tasarımı ile ilgili mevcut TS 648 standartdındaki koşullar günümüz mühendislik gereksinimlerini karşılayamayacak düzeyde kalmıştır.

Özellikle sünek davranışın sağlanabilmesi için DBYBHY 2007'de yer alan yeni kavramların (malzeme koşulları, kapasite tasarımı, kesitlerin sınıflandırılması v.b.) TS 648'deki koşullar ile uygulanabilmesi imkansızdır.

TS 498 "Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri" ve TS 648 "Çelik Yapıların Hesap Ve Yapım Kuralları" nda boyutlandırmada öngörülen yük kombinasyonları emniyet gerilmeleri ile değerlendirildiğinde sabit yük değerinin azaltıldığı görülmektedir. Bu değer, rüzgar etkilerini içeren kombinasyonlarda 0.87D iken deprem etkileri içeren kombinasyonlarda 0.75D olmaktadır. Bu durum ise tasarımda değeri hemen hemen gerçeğe yakın olarak öngörülebilen sabit yüklerin 0.15 ile 0.25 oranında azaltılmasına karşı gelmektedir. Dolayısıyla, ASCE/SEI 7-05'de öngörülen yük kombinasyonları ile karşılaştırıldığında çağdaş standartlarda öngörülen güvenlik seviyesinin altında bir güvenlik ile tasarım yapıldığı söylenebilir.

Son yıllarda, yapısal güvenliğin daha gerçek değerini bulmak için çelik elemanda, birleşimde veya sistemde ortaya çıkabilecek göçme ve yükleme olasılıkları çeşitli istatiksel yöntemlerle incelenmiştir. Günümüzde gelişmiş ülkelerde çelik yapıların tasarımı ile ilgili olarak yürürlülükteki standartların koşulları tasarımda gözönüne alınacak yük ve dayanım değerlerinin her ikisi için de istatiksel verilere dayanmaktadır. Bu modern yaklaşım ile, yükler ve dayanımlardaki belirsizlikler hesaba olasılık teorisi kullanılarak katıldığından, çelik yapıların tasarımında tüm yapı için öngörülen güvenliğe ulaşılabilmektedir. Ülkemizde de çelik yapı tasarımında yük kombinasyonlarının gözden geçirilerek mühendislerin aynı kombinasyonları kullanılması sağlanmalıdır.

Sonuç olarak; TS 648 standardının yerine olası göçme sınır durumu için yapısal elemanların ve birleşimlerin kapasitelerine dayanan yeni bir çağdaş standart hazırlanması zorunlu hale gelmiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Özer,E.,** 2011. Depreme dayanıklı çelik bina tasarımında modern yaklaşımlar, 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı

[2] **V.Gioncu, F.M. Mazzolani,** 2002. *Ductility of Seismic Resistant Steel Structures*

[3] **Celep, Z. Ve Kumbasar, N.,** 2003. *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı,* Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.

[4] **Mazzolani, F. and V. Gioncu (eds),** 2000, *Seismic Resistant Steel Structures*, Springer Verlag

[5] **Vayas, I. and P. Thanopoulos**, 2005, Innovative Dissipative (INERD) Pin Connections for Seismic Resistant Braced Frames, *Steel Structures*, 2005.

[6] **Uang C., Bruneau M., Whittaker A. and Tsai K**., 2001. *The Seismic Design Handbook,* ch. 9, Ed. Naeim. F., Springer Press

[7] **Deren, H., Uzgider, E. ve Piroglu, F.,** 2002. *Çelik Yapılar*, Çaglayan Kitabevi, İstanbul.

[8] **Black, R.G., W.A. Wenger and E. P. Popov,** 1980, "Inelastic Buckling of Steel Struts under Cyclic Load Reversal", *Berkeley: Earthquake Engineering Research Center*, University of California.

[9] **Wakabayashi, M.,** 1986. *Design of Earthquake Resistant Buildings*, New York.

[10] **AISC,** 2005. Seismic provisions for structural steel buildings, American Institue of Steel Construction Inc., Chicao.

[11] **TS-648,** 1980. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[12] **TS-498,** 1987. Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[13] **DBYBHY,** 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.

[14] **American Society of Civil Engineers (ASCE)**, 2006, Minimum design loads for buildings and other structures, SEI/ASCE 7-05, Virginia

[15] **Yorgun, C**., 2007. Çelik yapılar I ders notları, İ.T.Ü., İstanbul

[16] **Odabası, Y**., 1997. *Ahsap ve çelik yapı elemanları*, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.

[17] **Öztürk, Z.A.,** 2002. *Çelik yapılar kısa bilgi ve çözülmüş problemler*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

EK.A

A.1 Yükleme Kombinasyonu-1 Için Elemanların TS648 Ve TDY 2007 Yönetmeliğine Göre Boyutlandırılması

A.1.1 Kolonların boyutlandırılması

En elverişsiz yükleme olan düşey yükler + deprem yüklemesi (0,75(D+L- 0.3Ex + Ey)) yüklemesi için boyutlandırma yapılacaktır.

Seçilen kesit: HE 280 B (G=103 kg/m) , (St 37)

h = 28 cm	b = 28 cm	A = 131,40 cm^2
tf = 1,8 cm	tw = 1,05 cm	Wx = 1376 cm^3
Ix = 19270cm^4	ix = 12,11 cm	iy = 7,09 cm
Wy = 471 cm^3	F_b =28x1,8=50,4 cm^2	

Düşey ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden meydana gelen iç kuvvetler (kesit zorları)

N_G = -316.04 kN

N_Q = -93.55 kN

N_E = ±1191.18 kN

N_{maks} =N_d= -316.04-93.5-1191.18=-1600.77 kN

Enkesit Koşulları:

DBYBHY 2007 Madde 4.6.1.1'e göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin kolonları için Tablo 4.3'te verilen enkesit koşulları uyarınca , kolon enkesitinin başlık genişliği/gövde kalınlığı ve gövde yüksekliği / kalınlığı oranlarının verilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{b/2}{t} \le 0{,}3\sqrt{E_s/\sigma_a} \text{ ve } \left|\frac{N_d}{\sigma_a A}\right| > 0{,}10 \text{ için } \frac{h}{t_w} \le 1{,}33\sqrt{E_s/\sigma_a}\left(2{,}1-\frac{N_d}{\sigma_a A}\right)$$

şeklindedir.

$$\left|\frac{N_d}{\sigma_a A}\right| = \left|\frac{1600{,}77x10^3}{235x131{,}4x10^2}\right| = 0{,}518 > 0{,}10$$

St 37 yapı çeliği için $\sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{206182/235} = 29{,}62$

$$\frac{280/2}{18} = 7{,}77 \le 0{,}3x29{,}62 = 8{,}89$$

$$\frac{196}{10{,}5} = 18{,}67 \le 1{,}33x29{,}62x(2{,}1 - 0{,}518) = 62{,}32$$

İstenilen koşulları sağladığı görülmüştür.

Gerilme Kontrolleri:

DBYBHY 2007 Madde 4.3.1.2 uyarınca merkezi çapraz sisteminden aktarılan büyük eksenel kuvvetlerin etkisinde olan, buna karşılık eğilme momentleri küçük değerler alan bu kolonda,

$G + Q \pm \Omega_0 E = G + Q + 2.0 \times E$

$0.9\,G \pm \Omega_0 E = 0.9G + 2.0 \times E$

yüklemeleri altında elde edilen eksenel basınç ve çekme kuvvetleri için (eğilme momentleri gözönüne alınmaksızın) kesit hesabı daha elverişsiz sonuç vermektedir.

DBYBHY 2007 Madde 4.2.4 göre, yönetmeliğin gerekli gördüğü yerlerde, çelik yapı elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımında, arttırılmış deprem yüklemeleri gözönüne alınacaktır. Arttırılmış deprem yüklemelerinde, deprem etkilerinden oluşan iç kuvvetler Ω_0 büyütme katsayıları ile çarpılarak arttırılacaktır. Deprem Yönetmeliği Tablo 4.2'ye göre, süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdeler için büyütme katsayısı $\Omega_0 = 2.0$ değerini almaktadır.

Bu şekilde hesaplanan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri;

N_{G+Q+2E} =-316.04-93.5-2x1191.18 =-2791.90kN

$N_{0,9G+2E}$ = (-0.9x316.04)+(2x1191.18) =2097.92 kN

Kolon enkesitinin eksenel basınç ve çekme kuvveti kapasiteleri

$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}\, A$ **(Ek A.1)**

$N_{çp} = \sigma_a\, A_{net}$ **(Ek A.2)**

Bağlantıları ile hesaplanacaktır. Burada

σ_{bem} : kolonun $\lambda_x = s_{kx} / i_x$ ve $\lambda_y = s_{ky} / i_y$ narinliklerinden büyük olanına bağlı olarak , TS648 Standardı Çizelge 8'e göre belirlenen basınç emniyet gerilmesidir.

$\lambda_x = s_{kx} / i_x = 300/12.11 = 24.77$

$\lambda_y = s_{ky} / i_y = 300x0.85 / 7.09 = 35.96$

$\lambda_y = \lambda_{maks}$ için bulunan $\sigma_{bem} = 126.60$ N/mm^2

Kapasite Tahkiki:

$N_{bp} = 1.7x126.60x13140x10^{-3} = 2827.99$ kN > 2791.90 kN

$N_{çp} = 235x13140x10^{-3} = 3087.90$ kN > 2097.92 kN

İstenilen koşulları sağladığı görülmüştür.

A.1.2 Çaprazların boyutlandırılması

4 aksı çerçevesi 1 .kat çapraz elemanında en elverişsiz yükleme için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

Seçilen kesit : □ 180x180x10, (St 37)

h = 18 cm	b = 18 cm	A = 66.9 cm2
tf = 1.0 cm	tw = 1.0 cm	i= 6.91 cm

En elverişsiz yükleme olan (0,75(D-Ey+0.3Ex)) düşey yükler + deprem yüklemesine göre hesap yapılacaktır.

Bu elemanlarda, düşey sabit ve hareketli yükler ile deprem etkilerinden oluşan çubuk kuvvetleri ile toplam çubuk kuvvetleri:

$N_{maks} = \pm 616,278$

Enkesit Koşulları:

DBYBHY 2007 Madde 4.6.1.1'e göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çelik çaprazlı perdelerin elemanları verilen en kesit koşulları uyarınca , çapraz elemanların kenar uzunluğu/kalınlık oranının Tablo 4.3'te verilen koşulu sağlaması gerekmektedir.

$$\frac{h}{t_w} \le 0,7\sqrt{E_s / \sigma_a}$$

Denklem 1.14 ile çapraz elemanının enkesitinde yerel burkulmanın önlenmesini amaçlanmıştır.

St 37 yapı çeliği için $\sqrt{E_s / \sigma_a} = \sqrt{206182 / 235} = 29,62$

$$\frac{180-2x10}{10}=16\le 0,7x29,62=20,73$$

Koşulu sağladığı görülmüştür.

Gerilme Kontrolleri:

DBYBHY 2007 Madde 4.6.1.2'e göre, basınca çalışan elemanlarının narinlik oranı

$$4\sqrt{E_s/\sigma_a}=4x\sqrt{206182/235}=4x29,62=118$$

sınır değerini aşmayacaktır.

Çubuk boyu L=424.3 cm olan çapraz elemanlarda ,narinlik oranı

$$\lambda=\frac{424,3}{6,91}=61,40<118$$

Narinlik koşulu sağlanmaktadır.

$\lambda \cong 57$ değeri için TS 648 Çelik Yapılar Standardı Çizelge 8'den bulunan basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_{bem}=1047,94kg/cm^2=104,8MPa$$

$\sigma_{bem}=104,8x66,9x10^2=701,112kN>616,278kN$ kesit yeterlidir.

A.1.3 Ana kirişlerin boyutlandırılması

Merkezi çelik çapraz sisteminin diyagonal çubuklarının bağlandığı , 2. kat 1 aksı B-C aksları arası kirişi en elverişsiz yükleme olan (0,75(D+L+Ex-0.3Ey)) yüklemesi için gerilme kontrolleri yapılacaktır.

M_{G+Q+E} = 7.25 kNm

N_{G+Q+E} = ±70,28 kN

T_{G+Q+E} = 12,72 kN

Seçilen kesit: IPE 220: (G=26,2 kg/m) , (St 37)

h = 22 cm	b = 11 cm	A = 33,37 cm^2
t_f = 0,92 cm	t_w = 0,59 cm	W_x = 252 cm^3
I_x = 2772 cm^4	i_x = 9,11 cm	i_y = 2,48 cm
W_p = 285,4 cm^3		

Enkesit Koşulları:

DBYBHY 2007 Madde 4.6.1.1'de verilen Tablo 4.3'e göre süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı perdelerin kirişleri için kiriş enkesitinin başlık genişliği/kalınlığı ve gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarının aşağıda belirtilen koşulları sağlaması gerekmektedir.

Kiriş enkesitinde yanal burkulmanın önlenmesini amaçlayan bu koşullar ;

$$\frac{b/2}{t} \le 0{,}3\sqrt{E_s/\sigma_a} \quad \text{ve} \quad \frac{h}{t_w} \le 3{,}2\sqrt{E_s/\sigma_a}$$

şeklindedir.

St 37 yapı çeliği için $\sqrt{E_s/\sigma_a} = \sqrt{206182/235} = 29{,}62$

$$\frac{11/2}{0{,}92} = 5{,}98 \le 0{,}3x29{,}62 = 8{,}886 \qquad \text{ve} \qquad \frac{22}{0{,}92} = 23{,}91 \le 3{,}2x29{,}62 = 94{,}78$$

En kesit koşullarını sağladığı görülmüştür.

Gerilme Kontrolleri:

DBYBHY 2007 Madde 4.6.4.1(c) ve Madde 4.3.6.1 yatay yük taşıyıcı sistemin kirişlerinin üst ve alt başlıklarının yanal doğrultuda mesnetlenmesini ve mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklığın aşağıda belirtilen koşulu sağlamasını öngörmektedir.

$$l_b = 150 \le 0{,}086\frac{r_y E_s}{\sigma_a} \qquad \textbf{(Ek A.3)}$$

r_y = Kiriş başlığının ve gövdenin basınç gerilmeleri etkisindeki bölümünün 1/5'inin yanal doğrultudaki atalet yarıçapı

$$l_b = 150 \le 0{,}086\frac{3{,}20x206182}{235} = 241{,}45cm$$

TS648 Standardı Madde 3.3.4.2'ye göre, basınç başlığının dolu dikdörtgen kesit olması ve enkesit alanının çekme başlığı enkesit alanından daha küçük olmaması halinde, basınç emniyet gerilmesi

$$\sigma_B = \frac{84000xc_b}{sx/F_b} \le 0{,}6x\sigma_a \qquad \textbf{(Ek A.4)}$$

denklemi ile hesaplanır. Burada

s : kirişin basınç başlığının yanal burkulmaya karşı mesnetlendiği noktalar arasındaki uzaklık, s = L = 150

$$C_b = 1{,}75 + 1{,}05\left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0{,}3\left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 \le 2{,}3 \qquad \textbf{(Ek A.5)}$$

denklemiyle hesaplanır. Fakat emniyetli yönde kalmak üzere, $M_1/M_2 = -1$ için hesaplanan $C_b = 1.00$ değeri yukarıdaki denklemde yerine konularak

$$\sigma_B = \frac{84000x1}{150x22/10{,}12} = 257{,}60MPa \rightarrow \sigma_b = 141MPa$$

elde edilir.

Normal Gerilme Tahkiki:

$$\sigma = \frac{M}{W} + \frac{N}{A} = \frac{7{,}25x10^6}{252x10^3} + \frac{70{,}28x10^3}{33{,}37x10^2} = 49{,}95MPa < \sigma_{em} = 141MPa$$

Kayma Gerilme Tahkiki:

$$\tau = \frac{TxS_x}{I_x x t_w} = \frac{12{,}72x10^3 x142{,}7x10^3}{2772x10^4 x5{,}9} = 11{,}10MPa < \tau_{em} = 82MPa$$

DBYBHY 2007 Madde 4.6.4.1 (a) ve (b) uyarınca , V ve ters ve şeklindeki çapraz sistemlerinde çaprazların bağlandığı kirişlerin sürekli olması ve çaprazların yok varsayılması durumunda kendi üzerindeki yükleri güvenle taşıması gerekmektedir.

Çaprazların yok varsayılması durumunda , söz konusu kirişte G + Q yüklemesinden dolayı meydana gelen kesit zorları

M_{G+Q} = 29.58 kNm

N_{G+Q} = 0.0 kN

T_{G+Q} = 13.15 kN

Değerlerini almaktadır. Bu kesit zorları için

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{29{,}58x10^6}{252x10^3} = 117{,}38MPa < \sigma_{em} = 141MPa$$

$$\tau = \frac{TxS_x}{I_x x t_w} = \frac{13{,}15x10^3 x142{,}7x10^3}{2772x10^4 x5{,}9} = 11{,}47MPa < \tau_{em} = 82MPa$$

şeklinde, normal ve kayma gerilmesi tahkiklerini sağlamaktadır

A.1.4 Tali kirişlerin boyutlandırılması

Ana çerçeve kirişlerine mafsallı olarak mesnetlenen ve deprem yükleri etkisinde olmayan normal kat ikincil döşeme kirişlerinin düşey yükler (G+Q) altında gerilme ve sehim kontrolleri yapılacaktır.

Seçilen kesit: IPE 220: (G=26,2 kg/m) , (St 37)

h = 22 cm	b = 11 cm	A = 33,37 cm2
t_f = 0,92 cm	t_w = 0,59 cm	W_x = 252 cm3
I_x = 2772 cm4	i_x = 9,11 cm	i_y = 2,48 cm
W_p = 285,4 cm3		

Düşey sabit ve hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler (kesit zorları)

M_{maks} =12,57 kNm

T_{maks} =19.07 kN

Normal Gerilme Tahkiki:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{12{,}57x10^6}{252x10^3} = 49{,}88MPa < \sigma_{em} = 141MPa$$

Kayma Gerilme Tahkiki :

$$\tau = \frac{TxS_x}{I_x x t_w} = \frac{19{,}07x10^3 x142{,}7x10^3}{2772x10^4 x5{,}9} = 16{,}64MPa < \tau_{em} = 82MPa$$

Sehim Tahkiki :

Analiz sonuçlarına göre, mesnetler arasındaki göreli düşey yer değiştirme

$f_{maks} = 1.27$ cm , L = 600 cm

$$\frac{f_{maks}}{L} = \frac{1{,}27}{600} = \frac{1}{473} < \frac{1}{300}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Bahar TOLAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Sinop 26.04.1985

Lisans Üniversite: Kocaeli Üniversitesi