

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇELİK YAPILARIN FARKLI STANDARTLARA GÖRE KARŞILAŞTIRMALI
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Muhammed Çağrı ÜNAL

HAZİRAN 2015

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK YAPILARIN FARKLI STANDARTLARA GÖRE KARŞILAŞTIRMALI TASARIMI

Muhammed Çağrı ÜNAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 / 05 / 2015

Tezin Savunma Tarihi : 17 / 06 / 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Süleyman ADANUR

Trabzon 2015

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Muhammed Çağrı ÜNAL tarafından hazırlanan**

ÇELİK YAPILARIN FARKLI STANDARTLARA GÖRE KARŞILAŞTIRMALI TASARIMI

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 26 / 05 / 2015 gün ve 1604 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Süleyman ADANUR

.....

Üye : Doç. Dr. Ahmet Can ALTUNIŞIK

.....

Üye : Doç. Dr. Barış SEVİM

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Çelik Yapıların Farklı Standartlara Göre Karşılaştırmalı Tasarımı” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Gelişen ekonomimizde her geçen gün kendine daha fazla yer bulan çelik yapılar konusunda, farklı farklı standartların kullanılması istenen proje ve uygulamalarda çalışan inşaat mühendislerine yararlı olmak arzusundayım.

Bilimsel düşünce disiplini aşılıp ufkumu açan, paylaşmaktan ve yol göstermekten asla kaçmayan Yönetici Hocam Sayın Doç. Dr. Süleyman ADANUR’a minnet ve şükranlarımı sunmayı her zaman için bir borç bilirim.

Manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşime ve aileme, ayrıca öğrenim hayatım boyunca emeği geçen tüm hocalarıma minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Muhammed Çağrı ÜNAL

Trabzon 2015

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çelik Yapıların Farklı Standartlara Göre Karşılaştırmalı Tasarımı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Süleyman ADANUR’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili programlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 25/05/2015

Muhammed Çağrı ÜNAL

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Çelik Yapıların Tarihçesi ve Günümüzde Çelik Yapılar.....	1
1.2. Yapı Malzemesi Olarak Çelik	2
1.3. Yapı Çeliğinin Avantajları ve Dezavantajları	3
1.4. Çelik Yapı Taşıyıcı Sistemlerin Uygulama Alanları.....	4
1.4.1. Sanayi Tipi Çelik Yapılar	4
1.4.2. Çok Katlı Çelik Yapılar	6
1.5. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	8
1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	10
1.7. Çelik Yapı Tasarımının Temel İlkeleri.....	11
1.7.1. Yapısal Tasarım.....	11
1.7.2. Tasarım Felsefeleri	11
1.8. Eurocode 3'ün Genel Tasarım İlkeleri	12
1.8.1. Eurocode 3 Hakkında Genel Bilgi.....	12
1.8.2. Sınır Durum Tasarımı	12
1.8.3. Genel Kabuller.....	12
1.8.4. Yapı Malzemelerinin Hesap Değerleri	14
1.8.5. Çerçvelerin Yapısal Stabilitesi.....	14
1.8.6. Kesit Dayanımları.....	16
1.8.6.1. Çekme Dayanımı	16
1.8.6.2. Basınç Dayanımı.....	16

1.8.6.3.	Sadece Eğilmeye Çalışan Elemanlar	16
1.8.6.4.	Kesme Dayanımı	17
1.8.6.5.	Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Dayanımı.....	17
1.8.7.	Kullanılabilirlik Sehim Durumunda Maksimum Kiriş Sehimi.....	18
1.8.8.	Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet	18
1.8.9.	Eğilme Momenti, Kesme Kuvveti ve Normal Kuvvet	19
1.8.10.	Moment ve Basınç Kuvveti Etkisi	19
1.8.11.	Burkulma Dayanımı.....	20
1.8.12.	Burkulma Eğrisi.....	21
1.8.13.	Yanal Burulmalı Burkulma Dayanımı.....	22
1.8.14.	Moment ve Basınç Etkisi Altında Burkulma Kapasitesi	24
1.9.	Yük Dayanım Faktörü Tasarımı Şartnamesi (LRFD) Genel Tasarım İlkeleri .	26
1.9.1.	LRFD Hakkında Genel Bilgi	26
1.9.2.	Yapı Malzemelerinin Hesap Değerleri	26
1.9.3.	Kısmi Güvenlik Katsayıları	27
1.9.4.	Kesitlerin Sınıflandırılması	28
1.9.5.	Kesit Dayanımlarının Hesaplanması	28
1.9.5.1.	Çekme Dayanımı	28
1.9.5.2.	Basınç Dayanımı.....	29
1.9.5.2.1.	Narin Olmayan Elemanlarda Eğilmeli Basınç Dayanımı.....	29
1.9.5.2.2.	Narin Olmayan Elemanlarda Burulmalı Burkulma Dayanımı	30
1.9.5.3.	Eğilme Elemanlarının Dayanımı	31
1.9.5.3.1.	Akma Durumu	31
1.9.5.3.2.	Yanal Burkulma Durumu	32
1.9.5.3.3.	Kesme Dayanımı	34
1.9.5.4.	Elemanın Birleşik Kuvvetler ve Burulma Etkisindeki Dayanımı	34
1.9.5.4.1.	Eğilme ve Eksenel Yük Etkisindeki Dayanımı	34
1.9.5.4.2.	Burulma, Kesme, Eksenel Kuvvet Eğilme Etkisindeki Dayanım	35
1.10.	Türk Çelik Yapılar Standartı TS648 Genel Tasarım İlkeleri	35
1.10.1.	TS 648 Hakkında Genel Bilgi	35
1.10.2.	Yük Kabulleri ve Yükleme Durumları	36
1.10.3.	Malzeme Özellikleri	36
1.10.4.	Sehim Değerleri.....	37

1.10.5.	Emniyet Gerilmeleri Yöntemi	37
1.10.6.	Yapılacak Tahkikler	37
1.10.7.	Kesit Dayanımları.....	38
1.10.7.1.	Çekme Dayanımı	38
1.10.7.2.	Merkezi Basınca Çalışan Çubuklar	38
1.10.7.3.	Burkulma Katsayısı ile Basınç Gerilmesi Tahkiki	40
1.10.7.4.	Narinlik Etkisinde Burkulma Gerilmesi Tahkiki	42
1.10.7.5.	Eksenel Basınç ve Eğilmeye Çalışan Çubuklar.....	43
1.10.7.6.	Yanal Burkulma Emniyet Gerilmesi	45
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	46
2.1.	Giriş	46
2.2.	Tek Açıklıklı Sanayi Yapısı.....	46
2.2.1.	Yapı Sisteminin Tanıtılması	46
2.2.2.	Yük Durumları.....	50
2.2.2.1.	Çatı Yükleri	50
2.2.2.2.	Kar Yükleri	50
2.2.2.3.	Rüzgâr Yükleri.....	50
2.2.2.4.	Deprem Parametreleri	52
2.2.3.	Yük Durumları ve Kombinasyonlar	54
2.2.3.1.	Yük Durumları.....	54
2.2.3.2.	Yapı Analizi ve Boyutlandırması İçin Yük Kombinasyonları	55
2.2.3.2.1.	TS 648'e Göre Yük Kombinasyonları.....	55
2.2.3.2.2.	Eurocode 3'e Göre Yük Kombinasyonları	56
2.2.3.2.3.	LRFD'ye Göre Yük Kombinasyonları	57
2.2.4.	Analiz Sonuçları	58
2.2.4.1.	Eurocode 3 Kombinasyonlarına Göre Analiz Sonuçları	58
2.2.4.2.	LRFD Kombinasyonlarına Göre Analiz Sonuçları.....	60
2.2.4.3.	TS 648 Kombinasyonlarına Göre Analiz Sonuçları	62
2.3.	Çok Katlı Kiriş-Kolon Çerçeve Sistem	65
2.3.1.	Yük Durumları.....	68
2.3.1.1.	Çatı Katı Yükleri.....	68
2.3.1.2.	Ara Kat Yükleri	68
2.3.1.3.	Cephe Zati Yükleri	68

2.3.1.4.	Hareketli Yükler	69
2.3.1.5.	Kar Yükleri	69
2.3.1.6.	Rüzgâr Yükleri.....	70
2.3.1.7.	Deprem Parametreleri	72
2.3.2.	Yük Durumları ve Kombinasyonları	73
2.3.2.1.	Yük Durumları.....	73
2.3.2.2.	Yapı Analizi ve Boyutlandırması İçin Yük Kombinasyonları	74
2.3.2.2.1.	TS 648'e Göre Yük Kombinasyonları	74
2.3.2.2.2.	Eurocode 3'e Göre Yük Kombinasyonları	75
2.3.2.2.3.	LRFD'ye Göre Yük Kombinasyonları	76
2.3.3.	Analiz Sonuçları	77
2.3.3.1.	Eurocode 3'e Göre Analiz Sonuçları	77
2.3.3.2.	LRFD'ye Göre Analiz Sonuçları	81
2.3.3.3.	TS 648'e Göre Analiz Sonuçları	85
2.3.4.	Görelî Kat Ötelemeleri	89
2.3.4.1.	Kat Deplasmanları	89
2.3.4.2.	Düzensizlik Kontrolleri	90
2.3.4.3.	Yapı Düzensizlik Kontrolleri.....	91
2.3.4.4.	Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolleri	92
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER	94
3.1.	Yapıların Eurocode 3, TS 648 ve LRFD Yönetmeliklerine Göre Boyutlandırılması	94
3.2.	Sanayi Tipi Yapının Boyutlandırılması	94
3.3.	Çok Katlı Çelik Yapının Boyutlandırılması	98
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109
5.	KAYNAKLAR	111
6.	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ÇELİK YAPILARIN FARKLI STANDARTLARA GÖRE KARŞILAŞTIRMALI
TASARIMI

Muhammed Çağrı ÜNAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Süleyman ADANUR
2015, 112 Sayfa

Son yıllarda ülkemizde çelik yapıların kullanım alanları ve sıklığının arttığı görülmektedir. Bu yapıların, üretim ve uygulama standartlarına bağlı olarak tasarım yönetmeliklerinin farklı yönetmeliklerden olması söz konusudur.

Bu tez çalışmasında, farklı ülke yönetmeliklerinin ekonomi yönünden kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk bölümde çelik yapı tipleri ve tez konusu olan Eurocode 3, LRFD (Load and Resistance Factor Design) ve TS 648 yönetmeliklerinin genel tasarım ilkeleri açıklanmıştır.

İkinci bölümde, yaygın tercih edilen iki farklı tipteki çelik yapı da Eurocode, LRFD ve TS648'e göre ayrı ayrı boyutlandırılmıştır. Tek açıklıklı dolu gövdeli sanayi tipi çelik yapı ile kompozit döşemeleri olan çok katlı bir çelik büro yapısı, önce sistem geometrileri programa tanımlanmış, TS 498 ve DBYBHY 2007 yönetmelikleri uyarınca statik analizleri yapılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, bu iki yapı sisteminin farklı standartlar altında yapılan tasarımı sonucunda elde edilen kesitler ve bu yapı elemanlarının kapasite kullanımları karşılaştırılmıştır.

Son bölümde bu karşılaştırmalar sonucu elde edilen bulgular verilmiş, ekonomi yönünden irdelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çelik yapılar, Eurocode 3, LRFD, çelik yapı tasarımı, boyutlandırma.

Master Thesis

SUMMARY

COMPRATIVE DESIGN OF STEEL STRUCTURES ACCORDING TO THE
DIFFERENT STANDARDS

Muhammed Çağrı ÜNAL

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Süleyman ADANUR
2015, 112 Pages

In recent years, the frequency of use of steel structures increased. Related to the manufacturing and installation standards of these structures, structural design regulations and codes needs to be different country regulations as well.

In this thesis, aimed to comparatively analyze steel structures according to the different country code and regulations in an economic point of view. For this purpose, at the first chapter of the thesis, the types of steel structures and general design parameters of Eurocode 3, LRFD and TS648 are described.

At the second chapter of the thesis, two types of steel structures which are generally preferred recently, analyzed according to the Eurocode, LRFD and TS 648 separately. A single span, an industrial type of steel structure and a multi storey office building with composite floor decks was modeled at the structural analysis software and then analyzed according to the TS498 and DBYBHY 2007 regulations.

At the third chapter of the thesis, with the analysis results, section verifications have been calculated according to the European, LRFD and TS 648 regulations and compared the capacity ratios.

At the last chapter, the results obtained from analysis and design according to the mentioned three code and regulations, have compared in an economic point of view and suggestions have been made.

Key Words: Steel structures, composite slabs steel beams.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1.	Londra’da inşa edilen Coalbrookdale Köprüsü 1
Şekil 1.2.	Çeliğin gerilme şekil değiştirme grafiği 3
Şekil 1.3.	Sanayi tipi bir çelik yapının üç boyutlu model örneği..... 5
Şekil 1.4.	Çelik taşıyıcı sisteme sahip uçak hangarı 5
Şekil 1.5.	Kompozit döşemeli çok katlı çelik bir ofis binası 6
Şekil 1.6.	Çok katlı çelik yapı inşaatı örneği 7
Şekil 1.7.	Kompozit döşeme sistemi gösterimi 8
Şekil 1.8.	Narinlik – Azaltma Faktörü Grafiği..... 23
Şekil 1.9.	Basınç başlığının tutulmamış uzunluğunun fonksiyonu 33
Şekil 1.10.	Yatay ötelenmesi önlenmiş kolonlarda burkulma katsayısı..... 39
Şekil 1.11.	Yatay ötelenmesi önlenmiş kolonlarda burkulma katsayısı..... 40
Şekil 1.12.	Mesnet koşullarına göre ψ değerleri 44
Şekil 2.1.	Tek açıklıklı sanayi yapısının üç boyutlu gösterimi 47
Şekil 2.2.	Yapının, ölçülendirilmiş tipik kesit görünüşü..... 47
Şekil 2.3.	Yapının çapraz yerleşimi plan gösterimi. 48
Şekil 2.4.	Yapının aşık yerleşimini gösteren çatı planı 49
Şekil 2.5.	Yapılarda rüzgar yükünün taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımı..... 51
Şekil 2.6.	B – C – D – E Aksı yandan rüzgar yüklemesi 52
Şekil 2.7.	Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı 58
Şekil 2.8.	Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı. 59
Şekil 2.9.	Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre moment diyagramı 59
Şekil 2.10.	Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre şekil değiştirme diyagramı 60
Şekil 2.11.	LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı. .. 60
Şekil 2.12.	LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı ... 61
Şekil 2.13.	LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre moment diyagramı 61
Şekil 2.14.	LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre şekil değiştirme diyagramı . 62
Şekil 2.15.	TS 648, G + Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı 62
Şekil 2.16.	TS 648, G + Q kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı 63

Şekil 2.17.	TS 648, G + Q kombinasyonuna göre moment diyagramı	63
Şekil 2.18.	TS 648, G + Q kombinasyonuna göre şekil değiştirme diyagramı.....	64
Şekil 2.19.	Çok katlı yapının üç boyutlu görünüşü.	65
Şekil 2.20.	Yapının Y doğrultusu A, B, C, D, E aksları ölçülendirilmiş kesit görünüşü.....	66
Şekil 2.21.	Yapının X doğrultusu 1, 4 aksları ölçülendirilmiş kesit görünüşü	66
Şekil 2.22.	Yapının X doğrultusu 2, 3 aksları ölçülendirilmiş kesit görünüşü	67
Şekil 2.23.	Yapıdaki döşeme, nervür yerleşim gösterimi	67
Şekil 2.24.	Yapıdaki döşeme hareketli yüklerinin gösterimi	69
Şekil 2.25.	Yapıya 1 ve 4 aksı X doğrultusunda rüzgâr yüklemesi	70
Şekil 2.26.	Yapıya 2 ve 3 aksı X doğrultusunda rüzgâr yüklemesi	71
Şekil 2.27.	Yapıya A ve E aksı Y doğrultusunda rüzgâr yüklemesi	71
Şekil 2.28.	Yapıya B, C ve D aksı Y doğrultusunda rüzgâr yüklemesi	72
Şekil 2.29.	Eurocode, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı	77
Şekil 2.30.	Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı	78
Şekil 2.31.	Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre moment diyagramı	79
Şekil 2.32.	Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre moment diyagramı	80
Şekil 2.33.	Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre deplasman gösterimi	80
Şekil 2.34.	LRFD, 1.2G+1.6Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı	81
Şekil 2.35.	LRFD, 1.2G+Q+EXN+0.3EYP kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı	82
Şekil 2.36.	LRFD, 1.2G+1.6Q kombinasyonuna göre moment diyagramı.....	83
Şekil 2.37.	LRFD, 1.2G+Q+EXN+0.3EYP kombinasyonuna göre moment diyagramı	84
Şekil 2.38.	LRFD, 1.2G+Q+EXN+0.3EYP kombinasyonuna göre deplasman gösterimi	84
Şekil 2.39.	TS 648, G+Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı	85
Şekil 2.40.	TS 648, G+Q+EYP+ 0.3EXP kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı	86
Şekil 2.41.	TS 648, G+Q+EYP+0.3EXP kombinasyonuna göre moment diyagramı ...	87
Şekil 2.42.	TS 648, G+Q kombinasyonuna göre moment diyagramı	88
Şekil 2.43.	TS 648, G+Q+EYP+0.3EXP kombinasyonuna göre deplasman gösterimi	88
Şekil 2.44.	Kat ötelemelerinin sembolik kat planları gösterimi.....	89
Şekil 2.45.	Deprem doğrultusunda kolon-kiriş eğilme moment kapasiteleri.....	92

Şekil 3.1.	Yapı elemanlarının Eurocode 3 yönetmeliğine göre kapasite kullanımları .	95
Şekil 3.2.	Çerçeve elemanlarının Eurocode 3 yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	96
Şekil 3.3.	Yapı elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	96
Şekil 3.4.	Çerçeve elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları....	97
Şekil 3.5.	Yapı elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları	97
Şekil 3.6.	Çerçeve elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları	98
Şekil 3.7.	B aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	100
Şekil 3.8.	D aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	101
Şekil 3.9.	1 aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	102
Şekil 3.10.	2 aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	102
Şekil 3.11.	B aksındaki çerçeve elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	103
Şekil 3.12.	D aksındaki çerçeve elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	104
Şekil 3.13.	1 aksındaki çerçeve elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	105
Şekil 3.14.	2 aksındaki çerçeve elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları	105
Şekil 3.15.	B aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları	106
Şekil 3.16.	D aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları	107
Şekil 3.17.	1 aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları	108
Şekil 3.18.	2 aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları	108

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1.	En kesit sınıflarına göre kısmi faktörler 13
Tablo 1.2.	Profillerin akma ve kopma nominal değerleri 14
Tablo 1.3.	Profillerin Basınca Maruz Enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları .. 15
Tablo 1.4.	Sehim sınır değerleri..... 18
Tablo 1.5.	Burkulma eğrisi kusurluluk faktörleri 21
Tablo 1.6.	Profil kesit tipine göre burkulma eğrisi seçimi..... 23
Tablo 1.7.	Moment dağıtım parametreleri 24
Tablo 1.8.	Profillerin akma ve kopma nominal değerleri 26
Tablo 1.9.	Dayanım azaltma katsayıları 27
Tablo 1.10.	Yapı çeliklerinin mekanik özellikleri 36
Tablo 1.11.	Yükleme durumlarına göre yapı çeliklerinin emniyet gerilmeleri 37
Tablo 1.12.	Basınç çubuklarında önerilen burkulma boyları..... 38
Tablo 1.13.	ST37 çeliği ω burkulma katsayısı..... 41
Tablo 1.14.	ST52 çeliği ω burkulma katsayısı..... 42
Tablo 2.1.	Yükseklığe göre rüzgar basınç kuvvetleri 50
Tablo 2.2.	Yükseklığe göre rüzgar basınç kuvvetleri 70
Tablo 2.3.	DBYBHY 2007, hareketli yük katılım katsayıları 73
Tablo 2.4.	Görelî kat ötelenmelerinin sınırlandırılması, DBYBHY 2007 91
Tablo 3.1.	Tasarımda kullanılan yapı elamanları, kesitler ve en elverişsiz yüklemeler 94
Tablo 3.2.	Yönetmeliklere göre boyutlandırma sonucu yapı elamanlarının kapasite kullanımları..... 95
Tablo 3.3.	Tasarımda kullanılan yapı elamanları, kesitler ve en elverişsiz yüklemeler 99
Tablo 3.4.	Yönetmeliklere göre boyutlandırma sonucu yapı elamanlarının kapasite kullanımları..... 99

SEMBOLLER DİZİNİ

A	Enkesit alanı
A_k	Kesme alanı
A_0	Etkin yer ivme katsayısı
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
b	Profil başlık genişliği
c	Profil başlık genişliğinin yarısı
C_1	Yanal burkulmalı burulma sabiti
d_i	i'inci katta azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yer değiştirme
d	Kolon ve kiriş kesitinin gövde yüksekliği
E	Elastisite modülü
E_x	X doğrultusundaki deprem kuvveti
E_y	Y doğrultusundaki deprem kuvveti
G	Sabit yük
f_y	Akma gerilmesi
f_u	Çekme dayanımı
G	Sabit yük
H_i	Kat yüksekliği
h	Profil en kesitinin yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
I_y	Kuvvetli eksen atalet momenti
I_z	Zayıf eksen atalet momenti
\dot{I}_y	Kuvvetli eksen atalet yarıçapı
\dot{I}_z	Zayıf eksen atalet yarıçapı
k	Etkili boy katsayısı
M_d	Tasarım eğilme momenti
M_p	Eğilme momenti kapasitesi
$M_{y,sd}$	Eğilme momenti tasarım değeri
$N_{c,sd}$	Basınç kuvveti tasarım değeri

N_d	Eksenel kuvvet
$N_{pl,Rd}$	Enkesitin eksenel kuvvet plastik kapasitesi
P_k	Kar yükü
Q	Hareketli yük
R	Taşıyıcı sistemin davranış katsayısı
R_d	Mukavemetin tasarım değeri
S_{kx}	Kuvvetli eksendeki burkulma boyu
$S(T)$	Spektrum katsayısı
S_d	Etkilerin tasarım değeri
t	Kalınlık
t_f	Profilin başlık kalınlığı
t_w	Profilin gövde kalınlığı
$W_{el,y}$	Kuvvetli eksen elastik mukavemet momenti
$W_{el,z}$	Zayıf eksen elastik mukavemet momenti
$W_{pl,y}$	Kuvvetli eksen plastik mukavemet momenti
$W_{pl,z}$	Zayıf eksen plastik mukavemet momenti
W_x	X yönü rüzgar yüklemesi
W_y	Y yönü rüzgar yüklemesi
V_d	Yatay yükler etkisindeki kesme kuvveti değeri
V_{sd}	Tasarım kesme kuvveti değeri
Δ_i	Binanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi
γ_{M0}	Kısmî güvenlik katsayısı
λ_{LT}	Yanal burkulmalı burulma geometrik narinliği
λ_z	Zayıf eksene göre basınç elemanı narinlik değeri
λ_z	Zayıf eksene göre basınç elemanı narinlik değeri
λ_1	Kıyas narinlik değeri
δ	Kirişte meydana gelen sehîm değeri
χ	Burkulma dayanımı indirgeme katsayısı
χ_{LT}	Yanal burkulmalı burulma indirgeme katsayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Çelik Yapıların Tarihçesi ve Günümüzde Çelik Yapılar

Demir ve çelik 5000 yıldır kullanılmakla beraber, iki yüzyıl öncesine kadar yalnızca silah ve eşya yapımında yer almışlardır. Ancak, 18. yüzyılda İngiltere’de ham demir üretiminin başlamasıyla birlikte demir yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Demir kullanılarak inşa edilen ilk yapılar köprülerdir. İngiltere’de 31 m açıklıklı, font kullanılarak imal edilen ilk köprü yaklaşık 1778 yılında tamamlandığı tahmin edilen Severn nehri üzerindeki Coalbrookdale Köprüsü'dür (Şekil 1.1.). (Font: Ham demire yaklaşık % 4-5 kadar Karbon ilave edilmesi ile edilen yüksek dayanımlı gevrek alaşımdır). Fontun basınç mukavemetinin yüksek olmasının yanı sıra çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle, köprüler genellikle kâgir köprüler gibi kemer şeklinde imal edilmiştir (Deren vd., 2008).



Şekil 1.1. Londra’da inşa edilen Coalbrookdale Köprüsü.

Çelik, diğer malzemelere göre çevre ve sağlık için zararı en az olan, tamamen geri dönüşebilen, çevreye atık bırakmayan ve kirlilik üretmeyen bir yapı malzemesidir. Sökülen bir çelik yapı yeniden kurulabilir, kullanılabilir veya eritilerek yeniden çelik üretilmektedir. Hafif olması ile birlikte yarattığı taşıma ve enerji kazançları sayesinde çok büyük ekonomik değer sağlamaktadır.

Betonarmeye göre nispeten daha pahalı bir malzeme olmasına karşın, inşa süresi ve üretim teknolojisindeki kesinlik açısından çelik yapılar, son yıllarda tercih edilen bir yapı

ürünü olmaktadır. Hafif olması ile birlikte yarattığı taşıma ve enerji kazançları sayesinde çok büyük ekonomik kazanç sağlamaktadır.

Aynı zamanda, kolonsuz geçilebilen mesafe, taşıdığı yatay ve düşey yüklere karşın betonarme kesitlere göre daha küçük bir alan kaplaması, bunun bir sonucu olarak betonarmeye göre öz ağırlığının azalması ve binaya gelen yüklerin de azalması demek olacaktır. Ülkemizde çelik yapılar, genellikle endüstriyel tesisler veya çok katlı teknolojik binalarda kullanılmaktadır.

İlerleyen teknolojik atılımlar ve serbest mimari form çalışmaları, çelik yapılar ile daha kolay uygulanabilir hale gelmiştir. Yapı tasarım metotları ve bilgisayar destekli yapı analiz programları ile karmaşık strüktüre sahip yapılar kolayca çözümlenebilmekte ve üretilebilmektedir. İlerleyen uygulama teknolojilerinin de yardımı ile daha yüksek ve değişik formlarda yapılar artık daha hızlı inşa edilebilmektedir.

1.2. Yapı Malzemesi Olarak Çelik

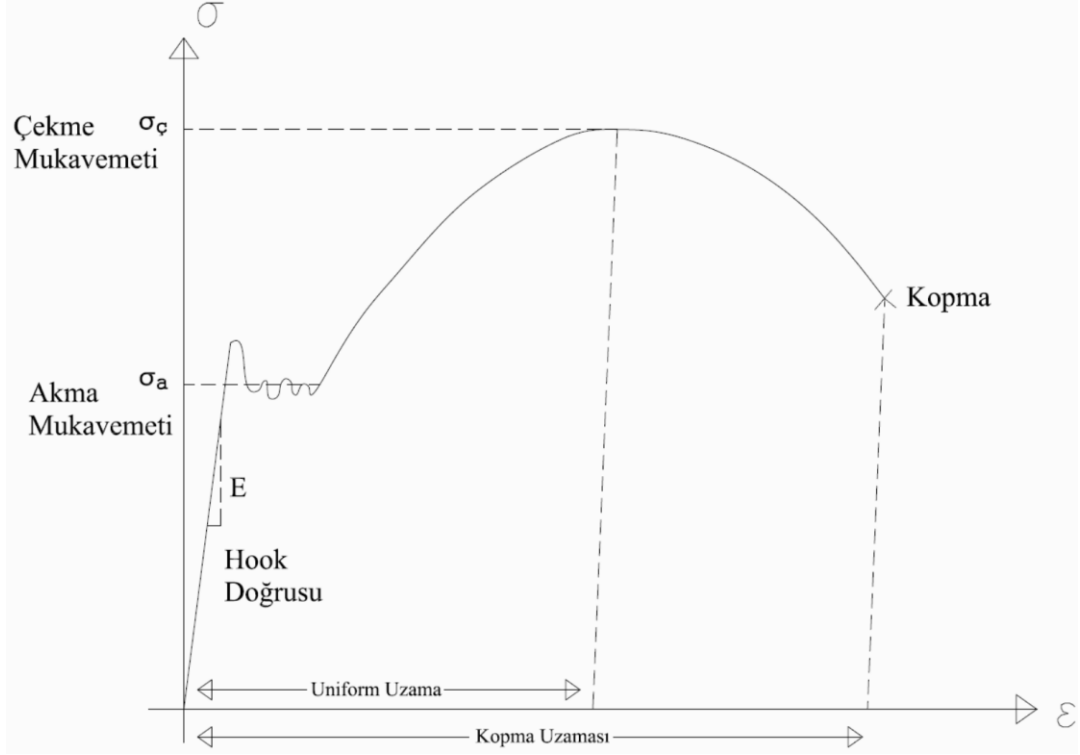
Çelik, dövülerek, preslenerek, haddeden geçirilerek mekanik olarak işlenebilen demir alaşımıdır. Başka bir deyişle, az miktarda karbonla birleşmiş demirdir. Çelik, demirden çok daha sert ve daha hafif olup işlenebilir. (Odabaşı, 2000)

Yapısal çelik içeriğinde, karbon dışında alüminyum, bakır, krom, nikel, silisyum, manganez gibi elementler de bulunmaktadır. Çelikteki en önemli elementlerden bir olan karbonun miktarının artmasıyla mukavemet ve sertliği de artar. Bu artışın yanında işlenebilirliği de azalmaktadır. Kaynaklanabilme ve şekil değiştirme özelliklerindeki belirgin düşüş sebebiyle malzemenin içeriği standartlarca belirlenmiş aralıklarda olması istenmektedir. Yapı çeliklerindeki karbon miktarı %16 - %22 aralığında bulunmaktadır.

Kristalli bir malzeme olan yapı çeliğinin mekanik özelliklerini tanımlamak için akma sınırı çekme mukavemeti ve sertlik özelliklerinden yararlanılır. Akma sınırı ve çekme mukavemeti, çekme deneyi ile belirlenmektedir.

Çekme deneyinde çubuk şeklindeki numune yavaş yavaş ve giderek artan çekme kuvvetine maruz bırakılır ve bu sırada oluşan boy değişimi ölçülür. Başlangıç boyu esas alınarak ölçülen toplam boy değişiminin kuvvetle olan ilişkisi bir diyagram olarak verildiğinde, kuvvet uzama diyagramı elde edilir. Bu deneyde kopma uzaması, kopma aşamasında enkesitte meydana gelen büzülme ve kopmada oluşan kalıcı birim uzama gibi üç önemli şekil değiştirme özellikleri de belirlenmektedir. Doğrusal bölgedeki gerilme şekil

değiştirme ilişkisini veren doğrunun eğimi ise E , elastisite modülüne karşılık gelmektedir (Deren, 2008).



Şekil 1.2. Çeliğin gerilme şekil değiştirme grafiği.

1.3. Yapı Çeliğinin Avantajları ve Dezavantajları

Çelik malzemesinin yapıda kullanılmasında belirli avantaj ve dezavantajlardan bahsedilebilir.

Çelik malzemesinin avantajları aşağıdaki gibidir.

- Homojendir ve üretimi denetim altında olduğundan güvenlik katsayısı düşüktür.
- Yapısı itibarıyla mukavemet dayanımı ağırlığına göre yüksektir.
- Çekme ve basınç dayanımları eşittir. Çekme dayanımı daha düşük olan diğer yapı malzemeleri ile inşa edilemeyen form ve açıklıkları mümkün kılmaktadır.
- Malzeme zayıf oranı düşüktür.
- Üretim ve montaj süresi kısadır. Takviye ihtiyacına daha hızlı cevap vermektedir.
- Az kayıplarla söküm yapılarak taşınabilir ve tekrar montaj yapılabilir.

Çelik malzemesinin dezavantajları ise;

- Isıl iletkenliği yüksek olması sebebiyle yangına karşı dayanımı düşüktür.

- Yangın geciktirici boya ve benzeri uygulamalar ile önlem alınmaması durumunda dayanımda ani düşmeler ve buna bağlı olarak diğer yapı malzemelerine göre daha hızlı göçmeler görülmektedir.

- Su, kimyasal madde ve açık hava koşullarına karşı periyodik olarak bakım yapılmalıdır. Korozyona karşı önlem alınmaz ise yapı ömrü kısalmır (Odabaşı, 2000).

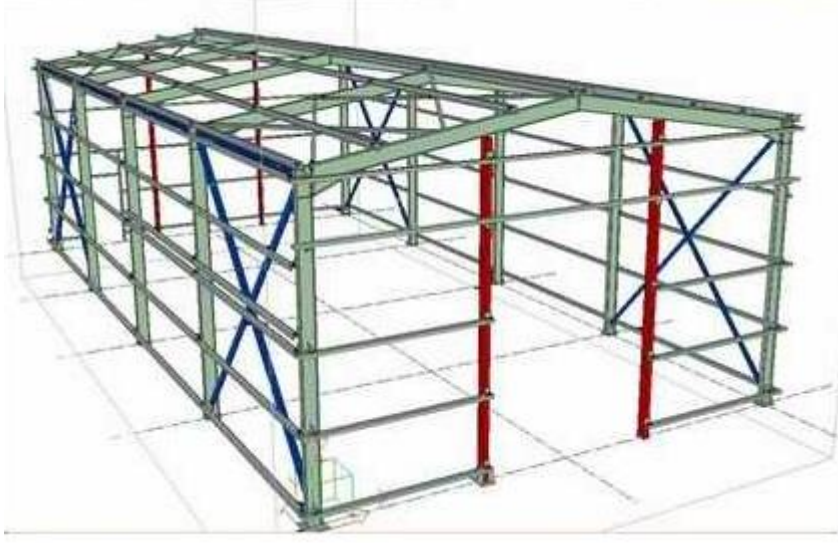
1.4. Çelik Yapı Taşıyıcı Sistemlerin Uygulama Alanları

Dünya genelinde ülkenin ekonomik refah artışına oranla çelik yapıların da kullanım oranının arttığı gözlenmektedir. Ülkemizde çelik yapıların toplam yapılara oranı %10'a ulaşmamaktadır. Sanayi tipi yapılarda bu oran %20'nin de üzerindedir. Ülke kalkınmasına oranla önümüzdeki yıllarda çelik yapıların daha sık görüleceği beklenmektedir. Ayrıca bu verilere bağlı olarak ihracat kalemlerinden bir tanesi haline gelmiştir.

Yapısal çeliğin uygulama alanları genel olarak sanayi tipi yapılar, köprüler, sosyal yapılar, çok katlı yapılar ve gökdelenler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde daha çok sanayi tipi ve çok katlı çelik yapılar bulunmaktadır.

1.4.1. Sanayi Tipi Çelik Yapılar

Yapısal çeliğin uygulama alanlarından bir tanesi olan sanayi tipi yapılar, ülkemizde genel olarak fabrika, hangar ve depo olarak kullanılmaktadır. Bu yapılarda ekonomi ön koşul olarak aranmaktadır. Özellikle inşaat sahalarında malzeme depolama ve geçici imalat sahası oluşturmak için kullanılır. Bu yapılarda iç mekân kullanım genişliğinin yarattığı avantaj ile kolay kurulup ve sökülmesi sebebiyle tercih edilmektedir.



Şekil 1.3. Sanayi tipi bir çelik yapının üç boyutlu model örneği.

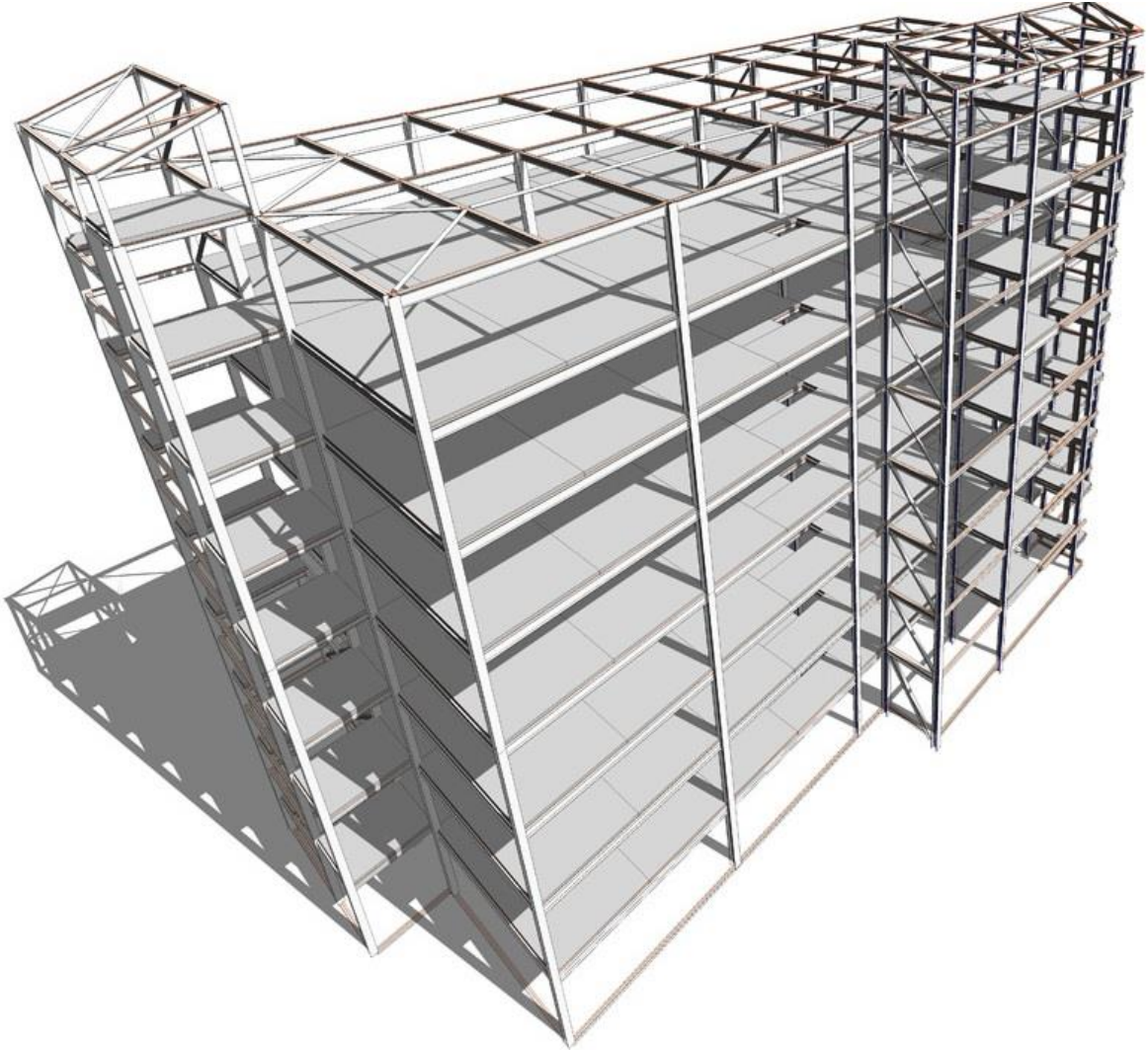
Sanayi tipi çelik yapılar, tek açıklıklı olabildiği gibi kullanım alanlarına göre çok açıklıklı da tasarlanabilmektedir. Yapı eni daha çok 8 m. ile 25 m. arasında değişmektedir. Yapı uzunluğu, ihtiyaca bağlı olarak değişmektedir. Genleşme derzleri bırakılarak uzatılabilmektedir. Bu tip yapılarda kullanım amacına bağlı olarak ısı yalıtımlı cephe kaplamaları veya tek kat trapez kaplama kullanılmaktadır.



Şekil 1.4. Çelik taşıyıcı sisteme sahip uçak hangarı.

1.4.2. Çok Katlı Çelik Yapılar

Çok katlı çelik yapılar, çeşitli kullanım ihtiyaçlarına izin vermektedir. Alış-veriş merkezleri, ofis binaları, hastaneler ve birçok yapının taşıyıcı sisteminin günümüzde çelik olarak tasarlandığını görmekteyiz. Bu tip yapılarda, çelik taşıyıcı yapı sisteminin, geniş kullanım alanlarına izin vermesi ve iç mekân dağılımlarının düşey taşıyıcılarla nispeten daha az sınırlandırılması, ayrıca çeliğin iç mimari ögesi haline gelmesi çeliğin yapıda tercih edilme sebeplerindedir.



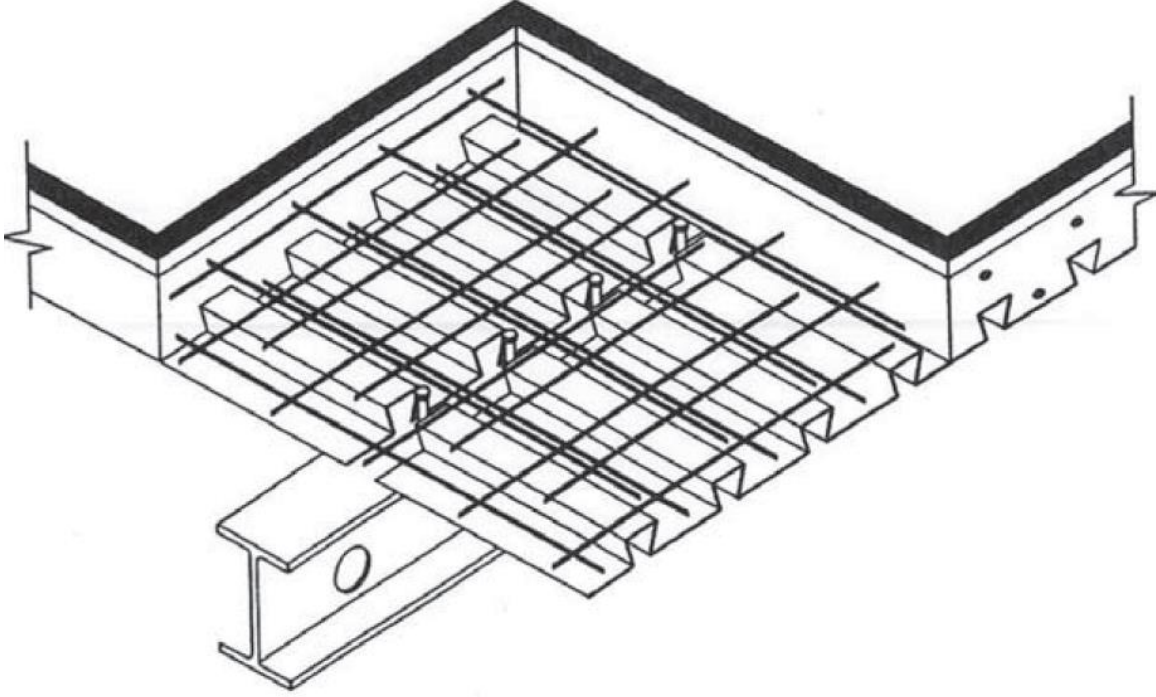
Şekil 1.5. Kompozit döşemeli çok katlı çelik bir ofis binası.

Bilindiği üzere ülkemiz, deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Çeliğin büyük şekil değiştirebilme özelliği, yapının aldığı enerjiyi sönümlemesini ve taşıyıcı özelliklerini kaybetmeden depremi minimum hasarla atlattırmasını sağlamaktadır. Çelik yapının deprem davranışlarının hesaplanabilir olması sayesinde depremde meydana gelebilecek hasarların kolonlar yerine kirişlerde oluşması sağlanarak, bu sayede deprem esnasında yapıda meydana gelebilecek hasarları azaltma veya oluşan hasarların hızlı onarılabilmesi olanağı sağlamaktadır. Tüm bu özellikler çelik yapıların depreme karşı güvenilirliğini artırmaktadır.



Şekil 1.6. Çok katlı çelik yapı inşaatı örneği.

Kompozit yapı elemanı, tanım olarak bir yapı elemanının kesitinin çelik ve beton gibi iki farklı malzeme ile oluşturulmasıdır. Bir kompozit kiriş, betonarme ve çelik kirişten meydana gelmektedir. Bina ve köprülerde birçok yerde bu tipte elemanlara rastlanılabilmektedir. Modern çelik binalarda şekil 1.5’te verilen kesite sahip kompozit döşeme sistemleri kullanılmaktadır.



Şekil 1.7. Kompozit döşeme sistemi gösterimi.

Kompozit döşemeleri oluşturan malzeme kalitelerindeki gelişmeler, deneyimler, tasarım yöntemlerindeki değişiklikler kompozit çelik sac-beton döşeme sistemlerindeki elemanların daha hafif ve ekonomik olmasını sağlamaktadır. Kompozit döşemelerde tasarım kadar yapım aşamasında da önemli olan ekonomi, inşaat sırasında ortaya çıkabilecek problemlere deneyimlerden de yararlanarak kolay ve ekonomik çözümler bulmaya bağlıdır. Çeşitli döşeme sistemlerinin kullanıldığı çok katlı çelik yapılarda, stabilite ve konfor sağlaması sebebiyle kompozit döşemeler tercih edilmektedir.

1.5. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Mühendisliğin temel kuralı olan gereksinim ve beklentileri karşılayacak ürünü, kısa zamanda, kaliteli ve daha ucuza mal etmek, çelik yapılar için uyarlandığında, en düşük maliyet, en az malzeme gereksinimini yapı güvenliğini sağlayarak elde etmek anlamına gelmektedir. Araştırmacılar bu konuda birçok akademik tez ve makaleler yayınlamışlardır.

Eurocode 3'ün anlaşılabilirliği, yorumlanabilirliği için Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN), üniversiteler ve mühendisler tarafından çeşitli yayınlar yapılmıştır. Ülkemizde de konu ile ilgili olarak yapılmış yüksek lisans tez çalışmaları mevcuttur.

Gardner, Nethercot, Bradford ve Trahair (2008) yaptıkları “The Behaviour and design of steel structures to EC3” adını taşıyan çalışmada çelik yapıların genel tasarım ilkelerini Eurocode 3 açısından yorumlayarak açıklamışlardır (Gardner, Nethercot, Bradford ve Trahair 2008).

ECCS (Avrupa Yapısal Çelik Konvansiyonu) “Examples to Eurocode 3” (1993) yaptıkları çalışmada Eurocode 3 ile ilgili olarak farklı tasarım durumları için örnek çözümler ve açıklamaları için bir kılavuz hazırlamışlardır (ECCS 1993).

Güçlü (2003) “Çok Katlı Bir Çelik Toplu Konut Binasının Karşılaştırmalı Tasarımı” adlı yüksek lisans tez çalışmasında 20 katlı bir çelik toplu konut binasının Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe göre deprem hesabını yapmış, Eurocode 3 ve TSE 648'e göre boyutlandırma yaparak değerlendirmiştir (Güçlü 2003).

Ceylan (2007) yaptığı “10 Katlı Çelik Bir Büro Binasının Eurocode 3'e Göre Karşılaştırmalı Boyutlandırılması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında, yüksek katlı bir yapıyı Eurocode 3'e göre boyutlandırmış, DBYBHY 2007'ye göre kontrollerini yapmıştır. Döşeme kirişlerinin farklı boyut ve tiplerde olması durumunda hangi kesitin ekonomi yönünden daha verimli olduğunu incelemiştir. (İTÜ, 2007).

Taşdemir (2007) yaptığı “Çok Katlı Çelik Bir Hastane Binasının Eurocode 3'e Göre Karşılaştırılmalı Boyutlandırılması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında, yüksek katlı bir yapıyı Eurocode 3'e göre boyutlandırmış, kullanılan döşeme kirişlerini ekonomi yönünden karşılaştırmıştır (İTÜ, 2007).

Balkan (2007) yaptığı “Türk, Amerikan ve Avrupa Çelik Şartnamelerinin İncelenmesi ve Kıyaslanması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında, TS 648, AISC-LRFD ve Eurocode 3 çelik standart ve şartnamelerini karşılaştırmıştır. Ülkeler arası tasarım farklarını inceleyerek ekonomi yönünden avantajlı olan şartnameyi ortaya koymayı amaçlamıştır. (ESOGÜ, 2007)

Zervent (2009), yaptığı “Evaluation Of Steel Building Design Metodologies TS648, LRFD and Eurocode 3” (Çelik Yapıların Tasarım Metodlarının Değerlendirilmesi TS648, LRFD ve Eurocode 3) adlı yüksek lisans tez çalışmasında, farklı ülkelerin tasarım metodlarının yönetmelik koşullarının incelemelerini yapmıştır. Her bir durum için hesap yöntemlerini üç farklı yönetmeliğe göre açıklamıştır (ODTÜ, 2009).

Ar (2009) ise, “Çelik Yapıların Tasarım Metodları ve Bunların Karşılaştırılması” yüksek lisans tezinde, çok katlı bir yapıyı Eurocode 3 ve TS-648’e boyutlandırmıştır. Bu boyutlandırma sonucunda kesit gereksinimlerini karşılaştırarak ekonomi yönünden elverişli olan çelik yapı yönetmeliğini tespit etmiştir (2009, DEÜ).

Bingöl (2014), yaptığı “Ağır Sanayi Yapısının AISC 360-10 ve TS-648 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırmalı Boyutlandırılması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında, Amerikan çelik yapı yönetmelikleri ASD ve LRFD ile TS-648’i karşılaştırmıştır. Tasarımını yaptığı yapıya gelen yüklemeleri sabit tutarak, farklı yönetmeliklerin yük birleşim gereksinimlerine göre hesapları tekrar ederek üç farklı yönetmeliğe göre boyutlandırma yapmıştır (İTÜ, 2014).

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, çelik yapıların tasarım metotları irdelenmiş, Türk Çelik Yapı Standartı TS 648, Amerikan Yük ve Dayanım Faktörü Tasarımı Şartnamesi LRFD ve Avrupa Çelik Yapı Tasarımı Şartnamesi Eurocode 3 genel tasarım esasları incelenmiştir. Ülkemizde daha sık rastlanılan iki farklı tipte yapıda, farklı ülke yönetmeliklerine göre hesaplar yapılmış, birbirine göre ekonomi yönünden avantajları karşılaştırılması amaçlanmıştır. Yapıların ülkemiz yük şartnamesi TS 498 ve deprem yönetmeliği DBYBHY 2007’e göre iç kuvvetleri bulunmuş, SAP2000 programı kullanılarak TS 648, LRFD ve Eurocode 3’e göre yapısal elemanların kapasite hesapları yapılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde, çelik yapıların tarihi ve yapısal çelik malzemesi hakkında bilgi verilmiştir. Çelik yapıların tipleri ve ülkemizde daha sık rastlanılan ve bu tezde de kullanılmış iki yapı tipine ait bilgiler verilmiştir. Tasarım metodları irdelenmiş, Eurocode 3, LRFD ve TS 648’in sırasıyla genel tasarım ilkeleri anlatılmıştır.

İkinci bölümde ise, birinci bölümde tanıtılan iki örnek yapı seçilmiş ve bu yapıların özellikleri, yapıldığı yer ve bu yere bağlı yük koşulları verilmiştir. Bu yapıların kendi yükleri, kullanım yükleri, rüzgar ve kar yükleri, deprem yükleri altında, üç farklı yönetmeliğin koşulları olan yük birleşimlerine göre ayrı ayrı analizleri yapılmış, bu analiz sonuçları verilmiştir.

Üçüncü bölümde ise yapıların, bu üç yönetmelik gereksinimlerine göre ayrı ayrı boyutlandırmaları yapılmıştır. Bu boyutlandırmaların sonucu olarak elde edilen kesit gereksinimleri, en elverişsiz yük birleşimleri ve kapasite kullanım oranları karşılaştırılmıştır.

Son bölümde bu karşılaştırmalar sonucu elde edilen bulgular verilmiş, ekonomi yönünden irdelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

1.7. Çelik Yapı Tasarımının Temel İlkeleri

1.7.1 Yapısal Tasarım

Mühendis, yapının davranışını, statik, dinamik, mekanik ve yapısal analiz prensiplerinden yararlanarak ve yaratıcılığını kullanarak incelemeli ve işlevlerine hizmet verebilecek güvenli ve ekonomik bir yapı yaratabilmelidir. (Emniyet, ekonomi, estetik.) Tasarımın başarılı olması, tasarımcıların sanatsal yetenekleri ve sezgilerini geliştirilmiş hesap yöntemleriyle birlikte kullanması ile gerçekleştirilebilir (Yardımcı, 2005).

Yapısal tasarım tarihinin ilk aşamalarında, önsezi ve denem yanılma metotları ile yapılan boyutlandırma çalışmaları bulunmaktadır. Teknolojik gelişmelerin ve yapı malzemelerinde yapılan çalışmaların artmasıyla yapısal davranışlar sorgulanmaya başlanmıştır.

Tasarım, en uygun çözümün elde edilmesini sağlayan işlemler bütünüdür. İşlevsel tasarım ve taşıyıcı sistem tasarımı olarak ayrılmaktadır. İşlevsel tasarım, kullanım kolaylığı ve amaçları irdelerken aynı zamanda estetik kaygılar taşır. Taşıyıcı sistem tasarımı ise, kullanım yüklerini güvenle taşıma ve performans anında can güvenliği koşullarını sağlama kaygılarını taşımaktadır.

1.7.2 Tasarım Felsefeleri

Yapıların ve onların yük taşıyıcı elemanlarının hizmet süresi içinde kendilerinden beklenen fonksiyonu gösterebilmeleri için yeterli mukavemet ve rijitliğe sahip olmaları gerekir. Boyutlandırma sırasında yapılara servis yüklerini taşıyabilmeleri için gerekenin üstünde bir miktar rezerv mukavemet sağlanmalıdır. Yani yapı ve elemanları aşırı yüklemelere karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır (Deren ve diğer., 2002).

Bir yapıda aranan en önemli özellik, yapının öngörülen yüklerin olası en elverişsiz etkiye durumunda geçmeden ayakta kalabilmesi ve kullanım (servis) yükleri altında yapı elemanlarında aşırı deformasyon, çatlama ve titreşim oluşmamasıdır (Ersoy, 2001).

Hâlihazırda yapıların boyutlandırılmasında kullanılan iki temel ilke vardır. İlki emniyet faktörü ilkesi, ikincisi ise taşıma gücü ilkesidir (Deren, Uzgider, 2002). Emniyet faktörü ilkesi, son yüzyılın genelinde kullanılmış boyutlandırma ilkesidir. Bunun dışında son 30 yıldır daha sık kullanılmakta olan taşıma gücü ilkesi bulunmaktadır. Daha rasyonel ve olasılık teorisine dayanan bir ilkedir.

1.8. Eurocode 3'ün Genel Tasarım İlkeleri

1.8.1. Eurocode 3'ün Hakkında Genel Bilgi

Eurocode'lar, binalar ve inşaat mühendisliği yapılarının tasarımı için uyumlu hale getirilmiş, bir dizi Avrupa Standartlarıdır. Yapısal tasarım, yapılar üzerinde eylemler, beton tasarımı, çelik ve kompozit çelik ve beton, kereste, tuğla ve alüminyum konstrüksiyon, jeoteknik tasarım ve depreme dayanıklı yapıların tasarımını kapsayan, 58 parçaya ayrılmış, 10 adet Eurocode bulunmaktadır (ICE,2012).

Eurocode'ların temel amacı, yapısal tasarımların güvenli, emniyetli ve ekonomik bir şekilde yapılmasını sağlamaktır.

1.8.2. Sınır Durum Tasarımı

Limit sınır durumu, yapısal davranışa ve kullanma yüklerine göre tespit edilen sınır durumlara göre hesap yapılmasını sağlar. Yapısal elemanların maksimum yük ve deformasyonların altında, belirli limitler içinde kaldığını göstermek yeterli olmaktadır. Bazı koşulların sağlanması durumunda, diğer koşulların incelememekte veya incelenmesine gerek olmadığını göstermektedir.

1.8.3. Genel Kabuller

Yapı elemanlarının boyutlandırılması, etkiler başlığı altında verilen yüklere karşılık yapı kullanma süresince olabilecek etkiler altında boyutlandırmaktır. Bunlar, ölü yükler, kar yükleri, rüzgâr yükleri, deprem yükleri, hareketli yükler, çarpışma, patlama ve yangın yükleri gibi etkilerdir. En elverişsiz durumlara göre değerlendirilmelidir.

Mukavemet tasarım değerinin etkilerin öngörülen değeri ile aşağıdaki gibi karşılaştırılırlar;

$$S_d \leq R_d \quad (1.1)$$

Burada S_d etkilerin tasarım değerleri ve R_d ise mukavemetin tasarım değeridir. En elverişsiz hareketli yük etkisi durumunda ise;

$$S_d = \sum \gamma_G \times G_{ki} + \sum \gamma_Q \times Q_{kl} \quad (1.2)$$

$$\gamma_G = 1.35 , \gamma_Q = 1.5 \quad (1.3)$$

Yapıda tüm elverişsiz hareketli etkilerin alınması durumunda ise;

$$S_d = \sum \gamma_G \times G_{ki} + \sum \gamma_Q \times Q_{kl} \quad (1.4)$$

$$\gamma_G = \gamma_Q = 1.35 \quad (1.5)$$

Yalnız en elverişsiz hareketli etkilerin göz önüne alınması durumunda;

$$S_d = \sum G_{ki} + \sum Q_{kl} \quad (1.6)$$

Tüm elverişsiz hareketli etkilerin alınması durumunda;

$$S_d = \sum G_{ki} + 0.9 \times \sum Q_{kl} \quad (1.7)$$

Dayanım hesaplarırken kullanılacak malzeme güvenlik katsayıları aşağıdaki gibidir.

Tablo 1.1. En kesit sınıflarına göre kısmi faktörler. (TS EN1993 – 1 - 1, 2005)

EN KESİT SINIFI	Kısmi Güvenlik
1, 2 ve 3 sınıf en kesitlerde	$\gamma_M = 1.10$
4.sınıf en kesitler ve burkulma dayanımında	$\gamma_M = 1.10$
Çekme dayanımında	$\gamma_M = 1.25$

1.8.4. Yapı Malzemelerinin Hesap Değerleri

Eurocode 3'te belirtilen malzeme değerleri aşağıdaki gibidir.

Elastisite modülü (E) = 210000 N/mm²

Kayma modülü (G) = 81000 N/mm²

Isı genleşme katsayısı (α) = 12×10^{-6} 1/K

Yoğunluk (ρ) = 78,50 kN/m³

Tablo 1.2: Profilin akma ve kopma nominal değerleri. (TS EN 10025 – 2, 2006)

Nominal Çelik kalitesi	Kalınlık t (mm)			
	$t \geq 40$ mm		$40 \leq t < 100$ mm	
	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)	f_u (N/mm ²)
S235	235	360	215	340
S275	275	430	255	410
S355	355	510	355	490

Yukarıdaki tabloda verilen bilgilerdeki ifadeler aşağıdaki gibi tarif edilmiştir.

t : Yapı elemanının nominal kalınlığıdır.

Hadde profillerinde başlık kalınlığıdır.

Kaynaklı yapı elemanlarında münferit elemanların kalınlığıdır (başlık ve gövde).

f_y : Akma gerilmesi

f_u : Çekme Dayanımı

1.8.5. Çerçevelerin Yapısal Stabilitesi

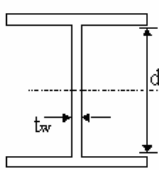
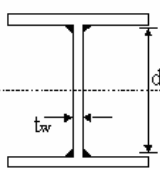
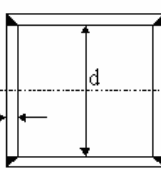
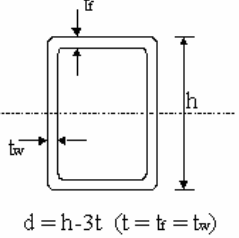
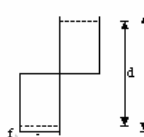
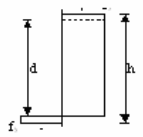
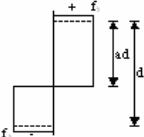
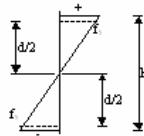
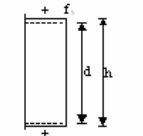
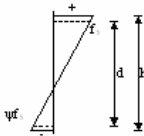
Yanal deplasmanı önlenmiş çerçeve hesaplarında ve yanal deplasmanın ihmal edilebileceği düşünülen çerçeve sistemlerinde birinci mertebe global analiz kullanılarak hesap yapılabilir. 2. Mertebe global analiz yöntemi bütün hallerde kullanılabilir. Elastik global analizde kesit etkileri, malzemenin gerilme ile deformasyon davranışının lineer olduğu kabul edilerek hesaplanırken, kesit dayanımları plastik hesaba göre hesaplanır.

Elastoplastik analiz yöntemi, en sık kullanılan yöntemdir. En dıştaki lif akana kadar kesit elastik kabul edilerek, adım adım artırma veya duruma göre uygun yaklaşım yöntemi kullanılarak tasarım yükü hesaplanır.

Burada en kesitler, Eurocode 3'e göre dört farklı en kesit sınıfında toplanmıştır.

1. Sınıf Enkesitler: Bu sınıftaki enkesitler dirençlerinde bir azalma olmadan plastik analizin gerektirdiği rotasyon kapasitesi ile plastik mafsal oluşturabilirler
2. Sınıf Enkesitler: Bu sınıftaki enkesitler plastik moment direnci geliştirebilirler ancak yerel burkulma nedeniyle sınırlı rotasyon kapasitesine sahiptirler.
3. Sınıf Enkesitler: Bu sınıftaki enkesitler çelik elemanın en dış basınç lifinde gerilmelerin elastik dağılımı varsayılarak akma dayanımına ulaşabildiği ancak yerel burkulma nedeniyle plastik moment direnci geliştiremezler.
4. Sınıf Enkesitler: Bu sınıftaki enkesitlerde akma dayanımına ulaşılmadan enkesitin bir veya daha fazla kısmında yerel burkulma ortaya çıkar.

Tablo 1.3: Profillerin Basınca Maruz Enkesit kısımlarında maksimum b/t oranları.
(TS EN1993 – 1 - 1, 2005)

Sınıf	Eğilmeye maruz gövde levhası	Basınca maruz gövde levhası	Eğilme ve Basınca Maruz Gövde Levhası
			
			
	Eğilme Eksenini		
			$d = h - 3t \quad (t = t_r = t_w)$
Enkesitte Gerilme Dağılışı (Basınç Pozitif)			
1	$d/t_w \leq 72\varepsilon$	$d/t_w \leq 33\varepsilon$	eğer $\alpha > 0,5$: $396\varepsilon/(13\alpha-1)$ eğer $\alpha < 0,5$: $36\varepsilon/\alpha$
2	$d/t_w \leq 83\varepsilon$	$d/t_w \leq 38\varepsilon$	eğer $\alpha > 0,5$: $456\varepsilon/(13\alpha-1)$ eğer $\alpha < 0,5$: $41,5\varepsilon/\alpha$
Enkesitte Gerilme Dağılışı (Basınç Pozitif)			

1.8.6. Kesit Dayanımları

1.8.6.1. Çekme Dayanımı

$N_{pl,Rd}$ olarak ifade edilen plastik çekme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.8)$$

1.8.6.2. Basınç Dayanımı

N_{Ed} olarak ifade edilen yapı elemanına etkiyen eksenel kuvvetin kesit dayanımına oranıdır. Aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (1.9)$$

Kesitin eksenel basınç dayanımı $N_{c,Rd}$, 1,2 ve 3. Sınıf en kesitlerde aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.10)$$

4. sınıf en kesite sahip elemanlarda efektif alan üzerinden hesap yapılmalıdır.

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.11)$$

1.8.6.3. Sadece Eğilmeye Çalışan Elemanlar

Yapı elemanına etkiyen eğilme momentinin (M_{Ed}), tasarım dayanım momentine ($M_{c,Rd}$) oranıdır.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (1.12)$$

1. ve 2. sınıf en kesite sahip elemanlarda hesap, aşağıdaki gibidir.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.13)$$

3. sınıf en kesite sahip elemanlarda elastik hesap yapılmalıdır.

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.14)$$

4. sınıf en kesite sahip elemanlarda efektif kesit ile hesap yapılmalıdır.

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.15)$$

1.8.6.4. Kesme Dayanımı

Yapı elemanına etkiyen kesme kuvvetinin (V_{Ed}), tasarım kesme dayanımına ($V_{c,Rd}$) oranıdır.

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0 \quad (1.16)$$

1. ve 2. sınıf en kesite sahip elemanlarda hesap, aşağıdaki gibidir.

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} \quad (1.17)$$

1.8.6.5. Eğilme Momenti ve Kesme Kuvveti Dayanımı

Kesite etkiyen kesme kuvveti, kesitin plastik kesme dayanımının yarısından küçük olduğunda, moment dayanımında indirgemeye gitmeye gerek yoktur. Aşağıdaki koşula göre dayanım denetlenir.

$$M_{v,Rd} = \left[W_{pl} - \frac{\rho A_v}{4t_w} \right] \times \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \leq M_{c,Rd} , \quad \rho = \left[2 \times \frac{V_{sd}}{V_{pl,rd}} \right]^2 \quad (1.17)$$

1.8.7. Kullanılabilirlik Sehim Durumunda Maksimum Kiriş Sehimi

Tablo 1.4: Sehim sınır değerleri. (TS EN1993 – 1 - 1, 2005).

Koşullar	δ_{max}	δ_2
Genel olarak çatılar	L / 200	L / 250
Bakım dışında, sıkça insanların bulunduğu çatılar	L / 250	L / 300
Genel olarak döşemeler	L / 250	L / 300
Malzeme ve bölme duvar taşıyan döşeme ve çatılar	L / 250	L / 350
Kolonların mesnetlendiği döşemeler	L / 400	L / 500
δ_{max} 'ın yapı görüntüsünü bozduğu yerlerde	L / 250	

1.8.8. Eğilme Momenti ve Normal Kuvvet

Eğilme momentinin ve normal kuvvetin beraber etki ettiği koşullarda yapılacak kontroller aşağıdaki gibidir.

1. ve 2. sınıf en kesitler için;

$$\frac{N_{sd}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,sd}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,sd}}{M_{z,pl,Rd}} \leq 1 \quad (1.18)$$

3. sınıf en kesitler için;

$$\frac{N_{sd}}{A f_y} + \frac{M_{y,sd}}{W_{y,el} f_y} + \frac{M_{z,sd}}{W_{z,el} f_y} \leq 1 \quad (1.19)$$

4. sınıf en kesitler için;

$$\frac{N_{sd}}{A_{eff} f_y} + \frac{M_{y,sd}}{W_{y,eff} f_y} + \frac{M_{z,sd}}{W_{y,eff} f_y} \leq 1 \quad (1.20)$$

1.8.9. Eğilme Momenti, Kesme Kuvveti ve Normal Kuvvet

Kesme kuvveti, enkesitin plastik kesme dayanım değerini % 50 aştığı takdirde, plastik moment dayanımı kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri nedeniyle indirgenir.

$$V_{sd} \leq 0,50 V_{pl,Rd} \quad (1.21)$$

ise, herhangi bir indirgeme yapılmaz kuvvet etkisi ihmal edilebilir

$$V_{sd} > 0,50 V_{pl,Rd} \quad (1.22)$$

ise, etkili kayma alanı için indirgenmiş bir akma gerilmesi $(1 - \rho) \times f_y$ esas alınır.

$$\rho = \left[2 \times \frac{V_{sd}}{V_{pl,rd}} - 1 \right]^2 \quad (1.23)$$

1.8.10. Moment ve Basınç Kuvveti Etkisi

1. ve 2. kesit sınıfı elemanlarında, $M_{ED} \leq M_{N,Rd}$ olmalıdır. Simetrik flanşlı I ve H kesitli profiller ile diğer flanşlı kesitlerde aşağıdaki gibidir.

$$N_{ED} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.24)$$

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad (1.25)$$

Yukarıdaki koşulların sağlanması durumunda basınç etkisinin moment dayanımına etkisi ihmal edilebilir. Sağlanmadığı durumlarda ise aşağıdaki gibi kontrol edilecektir.

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \leq \frac{(1-n)}{(1-0,5a)} \quad (1.26)$$

$M_{N,y,Rd} \leq M_{pl,y,Rd}$ koşulu sağlanmalıdır.

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}, \quad a = \frac{A - b t_f}{A}, \quad a \leq 0,5 \text{ olmalıdır.} \quad (1.27)$$

$$n < a \quad \text{ise} \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \quad (1.28)$$

$$n > a \quad \text{ise} \quad M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[1 - \left(\frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad (1.29)$$

3. kesit sınıfı elemanlarda ise kontroller aşağıdaki gibidir.

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{koşulu sağlanmalıdır.} \quad (1.30)$$

4. kesit sınıfı elemanlarda;

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{koşulu sağlanmalıdır.} \quad (1.30)$$

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,eff} f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{y,eff} f_y / \gamma_{M0}} \leq 1 \quad \text{koşulu sağlanmalıdır.} \quad (1.30)$$

1.8.11. Burkulma Dayanımı

1., 2. ve 3. kesit sınıfı elemanlarda aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M0}} \quad (1.30)$$

4. kesit sınıfı elemanlarda ise hesaplar aşağıdaki gibidir.

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}} \quad \text{koşulu sağlanacaktır.} \quad (1.30)$$

1.8.12. Burkulma Eğrisi

Basınç dayanımını azaltma katsayısı (χ) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \quad \chi \leq 1 \quad \text{olmalıdır.} \quad (1.31)$$

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (1.32)$$

1., 2. ve 3. kesit sınıfı elemanlarda aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad (1.33)$$

4. kesit sınıfı elemanlarda ise $\bar{\lambda}$ aşağıdaki gibidir.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} \quad (1.34)$$

Elastik kritik burkulma kuvveti ise aşağıdaki denklemden bulunur.

$$N_{cr} = \frac{\Pi^2 EI}{L_{cr}^2} \quad (1.35)$$

Tablo 1.5. Burkulma eğrisi kusurluluk faktörleri. (TS EN1993 – 1 - 1, 2005).

Burkulma Eğrisi	a_0	a	b	c	d
Hata Faktörü	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Aşağıda verilen denklik sağlanıyorsa burkulma etkisi ihmal edilebilir.

$$\bar{\lambda} \leq 0,2 \text{ veya } \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0,04 \quad (1.36)$$

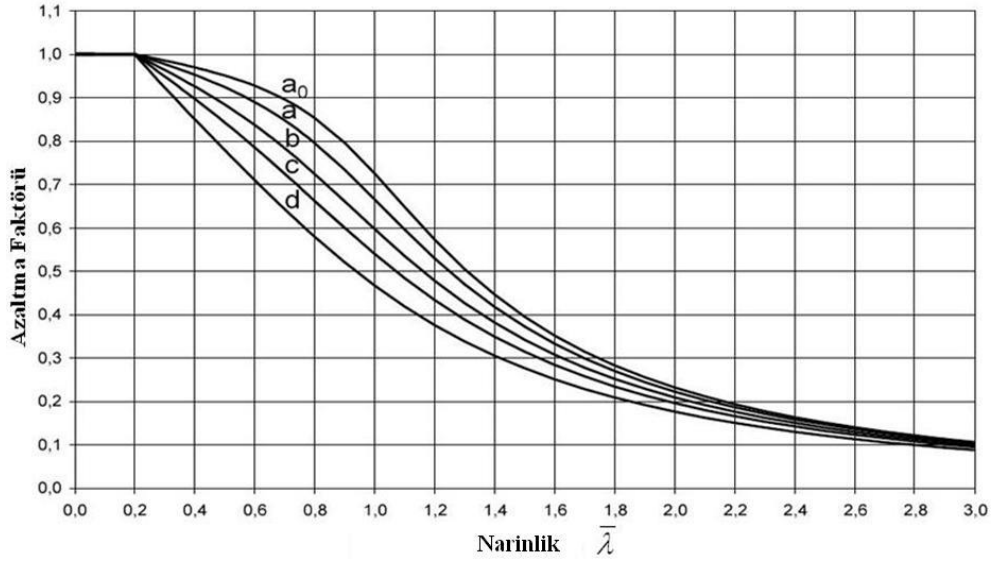
Eğer aşıyorsa, aşağıdaki dayanım hesabı yapılmalıdır.

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times W_y \times \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (1.37)$$

1.8.13. Yanal Burulmalı Burkulma Dayanımı

Yanal burulmalı burkulma aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}, \quad \chi \leq 1 \text{ olmalıdır.} \quad (1.38)$$



Şekil 1.8. Narinlik – Azaltma Faktörü Grafiği. (TS EN1993 – 1 - 1, 2005).

$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (1.39)$$

Yanal burulmalı burkulma narinlik değeri ($\bar{\lambda}$) bulunur.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0} \quad (1.40)$$

I ve H profiller için kritik moment ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr}^2} \left(\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 G I_T}{\pi E I_z} \right)^{0,5} \quad (1.41)$$

Tablo 1.6. Profil kesit tipine göre burkulma eğrisi seçimi. (TS EN1993 – 1 - 1, 2005).

Kesit Tipi	Sınırlar	Eğri Seçimi
Sıcak Hadde I Kesit	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Yapma I Kesit	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Diğer Kesitler	-	d

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \beta \bar{\lambda}^2}}, \quad \chi_{LT} \leq 1 \text{ ve } \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}} \text{ olmalıdır.} \quad (1.42)$$


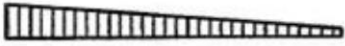






$$\phi = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \quad (1.43)$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (maksimum değer)} \quad (1.44)$$

$$\beta = 0,75 \text{ (minimum değer)} \quad (1.45)$$

1.8.14. Moment ve Basınç Etkisi Altında Burkulma Kapasitesi

Tablo 1.7. Moment dağıtım parametreleri. (TS EN1993 – 1 - 1, 2005).

Moment Dağılımı	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82

Gerekli dayanım şartının sağlanabilmesi için aşağıdaki kontroller yapılacaktır.

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{y,pl} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{z,pl} f_{yd} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad \text{koşulu sağlanmalıdır. (1.46)}$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{Sd}}{\chi_y A f_y} \leq 1,5, \quad k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{Sd}}{\chi_z A f_y} \leq 1,5 \quad \text{koşulu sağlanmalıdır. (1.47)}$$

$$\mu_y = \lambda_y^{-x} (2x\beta_{My} - 4) + \left(\frac{W_{y,pl} - W_{y,el}}{W_{y,el}} \right) \leq 0,90 \quad (1.48)$$

$$\mu_z = \lambda_z^- x (2x\beta_{Mz} - 4) + \left(\frac{W_{z,pl} - W_{z,el}}{W_{z,el}} \right) \leq 0,90 \quad (1.49)$$

1. ve 2. kesit sınıfı elemanlarında, eğilmeli burkulmaya göre kontrol;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{y,pl} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{z,pl} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (1.50)$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{Sd}}{\chi_z A f_y} \leq 1 \quad (1.51)$$

$$\mu_{LT} = 0,15x\lambda_z^- x \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,90 \quad (1.52)$$

3. kesit sınıfı elemanlarında, eğilmeli burkulmaya göre kontrol;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y M_{y,Sd}}{W_{y,el} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{z,el} f_y / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (1.53)$$

3. kesit sınıfı elemanlarında, eğilmeli burulmalı burkulmaya göre kontrol;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} A f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{y,el} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,sd}}{W_{z,el} f_{yd} / \gamma_{M1}} \leq 1 \quad (1.54)$$

4. kesit sınıfı elemanlarında, eğilmeli burulmalı burkulmaya göre kontrol;

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z A_{eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} M_{y,Sd}}{\chi_{LT} W_{y,eff} f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_z M_{z,sd} + N_{Sd} e_{z,N}}{W_{z,eff} f_{yd} / \gamma_{M1}} \leq 11 \quad (1.55)$$

1.9. Yük Dayanım Faktörü Tasarımı Şartnamesi (LRFD) Genel Tasarım İlkeleri

1.9.1. LRFD Hakkında Genel Bilgi

American Institute of Steel Construction (AISC) Amerikan çelik yapı şartnamesi olan Load and Resistance Factor Design, LRFD, yük ve dayanım katsayıları ile tasarım yöntemi, son yıllarda sık kullanılan bir tasarım yöntemi olmuştur.

Tasarım prensipleri açısından tıpkı Eurocode 3 gibi çelik yapı boyutlandırmasında limit durum prensiplerini ele almaktadır. Yapısal güvenliğin daha gerçek değerini bulabilmek için ortaya çıkabilecek göçme olasılıkları istatistiksel değerlendirmelere dayanan katsayılar ile tanımlanmaktadır.

1.9.2. Yapı Malzemelerinin Hesap Değerleri

Çelik malzemesinin kalitelerine göre sınır değerlerini içeren değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 1.8. Profillerin akma ve kopma nominal değerleri. (ASTM)

Nominal Çelik kalitesi	Akma Dayanımı f_y (N/mm ²)	Çekme Dayanımı f_y (N/mm ²)	Karbon Oranı (min)	Kopmada Uzama (%)
A36	250	400 – 550	0,26	20
A572 Gr42	290	415	0,21	20
A572 Gr50	345	450	0,23	18
A913 Gr50	345	450	0,12	18
A992	345-450	450	0,23	18

Elastisite modülü (E) = 210000 N/mm²

Kayma modülü (G) = 81000 N/mm²

Isı genleşme katsayısı (α) = 12x10⁻⁶ 1/C

Yoğunluk (ρ) = 78,50 kN/m³

1.9.3. Kısmi Güvenlik Katsayıları

Genel olarak yapısal güvenlik koşulu azaltılmış dayanımın yük etkisine eşit veya daha büyük olması koşuluna dayanmaktadır.

$$R = \phi \times R_n \quad (1.56)$$

R : Tasarım Dayanımı

ϕ : Belirsizlik etkilerini tanımlayan azaltma katsayısı

R_n : Karakteristik Dayanım

$$S_d \leq R_d \quad (1.57)$$

S_d : Etkilerin Tasarım Değeri

R_d : Mukavemet Tasarım Değeri

Tablo 1.9. Dayanım azaltma katsayıları. (AISC 360-05, 2005)

Sınır Dayanım		LRFD, Dayanım Azaltma Katsayıları (ϕ)
Çekme	Akma	0.90
	Kırılma	0.75
Basınç		0.90
Eğilme		0.90
Kayma		0.90
Eğilmeli Burkulma		0.90
Köşe Kaynak		0.75
Tam Nüfuziyetli Küt Kaynak		1.00
Kısmi Nüfuziyetli Küt Kaynak	Çekme	0.80
	Basınç	0.80
	Kayma	0.75
Bulonlar		0.75
Blok Kayma		0.75

1.9.4. Kesitlerin Sınıflandırılması

LRFD yönetmeliğine göre kesitlerin 3 sınıfta ele alındığı görülmektedir. Bunlar kompakt kesitler, kompakt olmayan kesitler ve narin enkesitlerdir.

Kompakt kesitler, enkesitte yerel burkulma oluşmadan önce yeteri kadar plastik dayanım sağlayabilen enkesitlerdir.

Kompakt olmayan enkesitler ise, basınç etkisi altında kısmen plastikleşme durumuna geçilen, tamamen plastik gerilme dağılımına geçmeden burkulma gerçekleşen enkesitler için isimlendirilmiştir.

Narin enkesitlerde ise, basınç etkisi altında enkesitte plastikleşme oluşmadan elastik burkulma durumu gerçekleşir.

Sınıflandırılma için denklem 1.58'te verilen kontrol yapılarak enkesitin sınıfı belirlenir.

$$\lambda = t/b \quad (1.57)$$

$$\lambda_p \geq \lambda \quad \text{ise} \quad \text{Kompakt Eleman} \quad (1.58)$$

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \quad \text{ise} \quad \text{Kompakt Olmayan Eleman} \quad (1.59)$$

$$\lambda_r < \lambda \quad \text{ise} \quad \text{Narin Eleman} \quad (1.60)$$

Kontrollerde verilen yerel burkulma için eleman sınıfları aşağıdaki gibi adlandırılır.

λ_p : Kompakt eleman sınır değeri

λ_r : Kompakt olmayan eleman sınır değeri

1.9.5. Kesit Dayanımlarının Hesaplanması

1.9.5.1. Çekme Dayanımı

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki elemanda P_a eksenel çekme kuvveti etkisi olmak üzere denklem 1.61'te belirtilen dayanım koşulu sağlanmalıdır.

$$\varphi_t P_n \geq P_a \quad (1.61)$$

Brüt kesitte akma hesabı için;

$$P_n = A_g F_y \quad (1.62)$$

$$\varphi_t P_n = 0.90 \times P_n \quad (1.63)$$

Net kesit alanında kırılma hesabı için;

$$P_n = A_e F_y \quad (1.64)$$

$$\varphi_t P_n = 0.75 \times P_n \quad (1.65)$$

1.9.5.2. Basınç Dayanımı

1.9.5.2.1. Narin Olmayan Elemanlarda Eğilmeli Basınç Dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanda P_c eksenel basınç kuvveti etkisi olmak üzere denklem 1.66'da belirtilen dayanım koşulu sağlanmalıdır.

$$\varphi_c P_n \leq P_c \quad (1.61)$$

Eksenel Basınç kapasitesi için; $P_n = A_g F_{cr} \quad (1.62)$

$$\lambda = \frac{K \times l}{r} \quad (1.63)$$

$$\lambda \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = \left(0.689 \frac{F_y}{F_e}\right) F_y \quad (1.64)$$

$$\lambda > 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = 0.877 F_e \quad (1.65)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{K \times l}{r}\right)^2} \quad (1.66)$$

1.9.5.2.2. Narin Olmayan Elemanlarda Burulmalı Burkulma Dayanımı

Kesitin aksenal basınç kuvveti kapasitesi yine 1.62'de belirtilen dayanım koşulu ile hesaplanmaktadır. Çift kollu korniyer ve T tipi kesitlerde ayrı diğer tüm elemanlarda ayrı hesaplanır.

Çift kollu korniyer tipi kesitlerde ve T tipi kesitlerde hesap aşağıdaki gibidir.

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 F_{cry} F_{crz} H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \quad (1.67)$$

$$F_{crz} = \frac{G J}{A_g r_0^2} \quad (1.68)$$

Diğer tüm kesitlerde ise hesap aşağıdaki gibidir.

$$\lambda \leq 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = (0.689 \frac{F_y}{F_e}) F_y \quad (1.69)$$

$$\lambda > 4.71 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{ise} \quad F_{cr} = 0.877 F_e \quad (1.70)$$

F_e kritik gerilme hesabı çift simetri eksenine sahip kesitlerde aşağıdaki gibidir.

$$F_e = \left[\frac{\pi E C_w}{(K_2 L)^2} + G J \right] \times \frac{1}{I_x + I_y} \quad (1.71)$$

Eleman zayıf eksenine göre simetrik kesitlerde ise hesap aşağıdaki gibi yapılır.

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \times \left[1 - \frac{4 F_{ey} F_{ez} H}{(F_{ey} + F_{ez})^2} \right] \quad (1.72)$$

Burkulma dayanım oranı aşağıdaki gibi kontrol edilir.

$$\varphi_c P_n \geq P_c \quad \varphi_c = 0.85 \quad (1.73)$$

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (1.74)$$

1.9.5.3. Eğilme Elemanlarının Dayanımı

M_n eğilme dayanımı, akma, yanal burkulma, başlık burkulması, gövde bölgesel burkulması sınır durumlarına göre en düşük değerdir.

Sadece yanal desteklenen kompakt kirişleri akma sınır durumu uygulanabilir. Kuşaklanmayan kompakt kirişler, kompakt olmayan T profiller ve çift korniyerler için sadece akma ve yanal burkulma sınır durumu uygulanabilir. Yanal burulma burkulması sınır durumu ikincil aksı etrafında eğilmeye maruz olan elemanlar ya da kare veya dairesel geometriye sahip elemanlara uygulanmaz.

1.9.5.3.1. Akma Durumu

M_n eğilme dayanımı, $\varphi_b M_n$ akma sınır durumu ile belirlenmektedir.

$$M_n = M_p = Z_x \times F_y \quad (1.76)$$

M_p : Plastik moment

Z_x : X eksen etrafında kesit plastik mukavemet momenti

1.9.5.3.2. Yanal Burkulma Durumu

Sınır durum şartları, yalnız esas eksen de eğilmeye maruz kalan elamanlarda uygulanabilmektedir. Eğilme dayanımı, $\phi_b M_n$ yanıl burkulma sınır durum koşullarına göre belirlenir.

$L_b \leq L_p$ ise yanıl burkulma ihmal edilir.

$L_p < L_b < L_r$ durumunda ise aşağıdaki hesap yapılır.

$$M_n = C_b \times \left[M_p - (M_p - 0.7 \times S_x \times F_y) - \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (1.75)$$

$L_b > L_r$ durumunda ise aşağıdaki hesap yapılır.

$$M_n = S_x \times F_{cr} \leq M_p \quad (1.76)$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \times \pi^2 \times E}{\frac{L_b}{r_t}} \sqrt{1 + \frac{J_c}{S_x H_0} \times \left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \quad (1.77)$$

L_b : Yanıl doğrultuda elemanın mesnetlenmemiş serbest boyu

C_b : 1.0

J : Burulma sabiti.

S_x : X eksenindeki kesit mukavemet momenti

$$C_b = \frac{1.25 M_{\max}}{2.5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (1.78)$$

M_{\max} : Tutulmamış parçada maksimum moment değeri

M_A : Tutulmamış parçanın 1/4 noktasındaki moment değeri

M_B : Tutulmamış parçanın merkezindeki moment değeri

M_C : Tutulmamış parçanın 1/3'ündeki moment değeri

Tutulu olmayan L_p 'nin sınır değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Hibrid kesit ve U profilleri içeren I profilleri için;

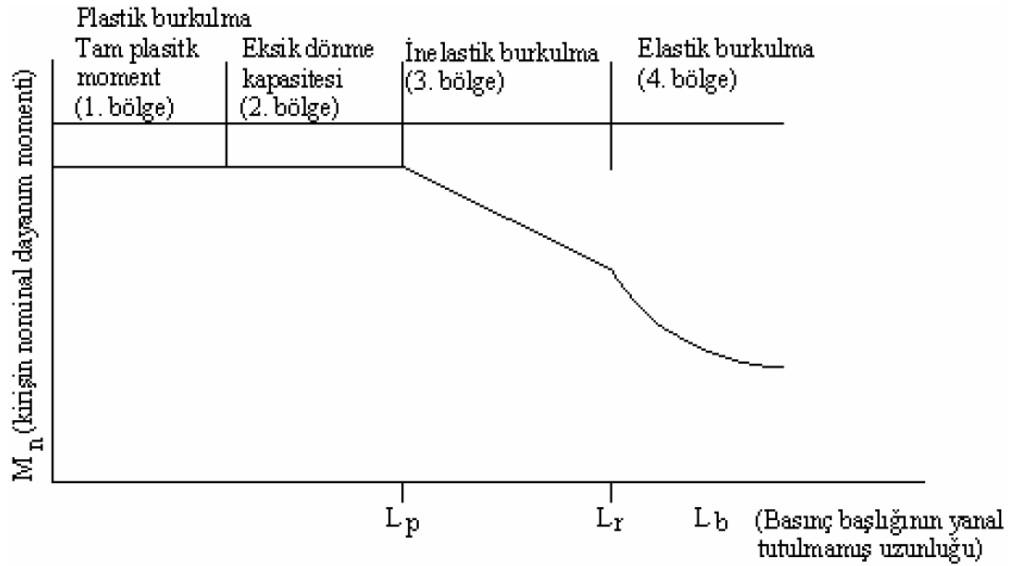
$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1.79)$$

Rijit dikdörtgen çubuklar ve kutu kesitleri için;

$$L_p = \frac{0.13 r_y}{M_p} \sqrt{JA} \quad (1.80)$$

L_r yanal tutulma sınırı uzunluğu aşağıdaki gibi belirlenir.

$$L_r = 1.95 \times r_{ts} \times \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J \times c}{S_x H_0}} \times \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \times \frac{0.7 F_y \times S_x H_0}{E \times J \times c}}} \quad (1.81)$$



Şekil 1.9. Basınç başlığının tutulmamış uzunluğunun fonksiyonu (Kuyucak, 1999)

1.9.5.3.3. Kesme Dayanımı

Bu bölüm rijit olmayan tek ya da çift simetrik kirişlerin gövdelerine, hibrit kirişler içeren gövdelere ve gövde düzleminde kesmeye maruz U kesitlerde uygulanır.

$$\phi_v V_n ; \quad \phi_v = 0.90 \quad (1.82)$$

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ değerini sağlayan kesitler için;} \quad (1.83)$$

$$V_n = 0.60 F_{yw} \times A_w \quad (1.84)$$

$$2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} < 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ değerini sağlayan kesitler için;} \quad (1.85)$$

$$V_n = 0.60 F_{yw} \times A_w \times \frac{2.45 \sqrt{E/F_y}}{h/t_w} \quad (1.86)$$

$$3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} < 260 \text{ değerini sağlayan kesitler için ise;} \quad (1.87)$$

$$V_n = \phi_v A_w \times \frac{4.52 E}{(h/t_w)^2} \text{ olarak hesaplanır.} \quad (1.88)$$

1.9.5.4. Elemanın Birleşik Kuvvetler ve Burulma Etkisindeki Dayanımı

1.9.5.4.1. Eğilme ve Eksenel Yük Etkisindeki Dayanımı

Yapı elemanına etkiyen eksenel kuvvet ve eksenel kuvvet dayanımına göre iki farklı eğilme dayanımı hesaplanır.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2 \text{ değerini sağlayan elemanlarda;} \quad (1.89)$$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{rc}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1.0 \quad \text{formülü ile hesaplanır.} \quad (1.90)$$

$$\frac{P_r}{P_c} < 0.2 \text{ değerini sağlayan elemanlarda ise;} \quad (1.91)$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{rc}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) < 1.0 \quad \text{formülü ile hesaplanır.} \quad (1.92)$$

$$P_c = \varphi_c P_n \quad (1.93)$$

$$M_c = \varphi_b M_n \quad (1.94)$$

φ_b : 0.90, Eğilme dayanımı azaltma katsayısı.

φ_b : 0.90, Basınç dayanımı azaltma katsayısı.

1.9.5.4.2. Burulma, Kesme, Eksenel Kuvvet Eğilme Etkisindeki Dayanım

Yapı elemanına etkiyen kuvvet dayanımları aşağıdaki şekilde bileşik olarak hesaplanır.

$$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c} \right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c} \right)^2 < 1.0 \quad \text{formülü ile hesaplanır.} \quad (1.95)$$

1.10. Türk Çelik Yapılar Standartı TS648 Genel Tasarım İlkeleri

1.10.1. TS 648 Hakkında Genel Bilgi

TS 648, elastik metodoloji tasarımı içeren bir standarttır. Kullanılan malzemeler tam elastik ve tam plastik olarak kabul edilir. İzin verilen dayanımlar, 1,67 ve 2.5 arasındaki güvenlik faktörlerine bölünerek hesaplanır.

1.10.2. Yük Kabulleri ve Yükleme Durumları

TS 648’de yükler, esas yükler ve tali yükler olarak ikiye ayrılır. Esas yükler, yapı öz ağırlığı, hareketli yükleri ve kar yükleridir. Tali veya bir başka deyişle ilave yükler ise, rüzgar etkileri, deprem yükleri, kren yükleri gibi etkileri kapsar.

Yükleme durumları da esas yükleme, esas ve ilave yükleme olarak ikiye ayrılmıştır. Esas yükleme (EY), esas yükler olarak adlandırılmış yüklerin toplamıyken, esas ve ilave yükleme (EIY) ise esas ve ilave yüklerin toplamıdır.

1.10.3. Malzeme Özellikleri

Uygulamada kullanılacak yapı çeliğine ait malzeme mekanik sınır değerleri tablo 1.10’da verilmiştir.

Tablo 1.10. Yapı çeliklerinin mekanik özellikleri. (TS 648)

Çelik Sınıfı	Kalınlık t (mm)					
	t ≤ 40 mm		16 ≤ t ≤ 40 mm		40 ≤ t ≤ 100 mm	
	σ _a (N/mm ²)	σ _d (N/mm ²)	σ _a (N/mm ²)	σ _d (N/mm ²)	σ _a (N/mm ²)	σ _d (N/mm ²)
ST37	370	235	360	225	350	215
ST44	412	255	402	245	392	235
ST52	510	353	500	343	490	333

Yukarıdaki tabloda σ_a yapı çeliği akma dayanımını ve σ_d ise kopma dayanımını göstermektedir.

$$\text{Elastisite modülü (E)} = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Kayma modülü (G)} = E/2(1+\nu)$$

$$\text{Poisson Oranı (} \nu \text{)} = 0.3$$

$$\text{Isı genleşme katsayısı (} \alpha \text{)} = 12 \times 10^{-6} \text{ 1/C}$$

$$\text{Yoğunluk (} \rho \text{)} = 78,50 \text{ kN/m}^3$$

1.10.4. Sehim Değerleri

TS 648 uyarınca yapılması gereken tahkiklerden biri de sehim denetimleridir. Öz yüklerle bağlı sehimlerin ters eğim vererek giderilebileceği öngörülmüştür. Bunun yanı sıra, açıklığı 5m'den fazla olan kiriş aşıklarının sehimleri, açıklığın 1/300'den, döşeme kirişlerinin sehim değerleri, 1/500'den konsol kirişlerin sehim uzunluğu, konsol kirişin 1/250'sinden fazla olmamalıdır.

1.10.5. Emniyet Gerilmeleri Yöntemi

TS 648'e göre, dış yükler herhangi bir faktör uyarınca artırılmaz. Yükleme durumlarına göre kullanılacak emniyet gerilmeleri ayrıca belirtilmiştir. Yaygın kullanılan iki yapısal çelik sınıfı için ayrı emniyet gerilmeleri tanımlanmıştır.

Tablo 1.11. Yükleme durumlarına göre yapı çeliklerinin emniyet gerilmeleri. (TS648)

Çelik Sınıfı	Çekme Emniyet Gerilmesi $\sigma_{çem}$ (N/mm ²)		Kayma Emniyet Gerilmesi τ_{em} (N/mm ²)	
	EY	EIY	EY	EIY
ST37	141	164	82	105
ST52	212	240	122	155

1.10.6. Yapılacak Tahkikler

TS 648'e göre, gerilme ve mesnet reaksiyonları her yükleme için ayrı ayrı belirlenmelidir. Elde edilen değerlerin en elverişsiz bileşik enkesitlerde, gerilmelerin en büyük değeri bulunarak ilgili emniyet gerilmesi ile karşılaştırılır. Gerilme, stabilite, devrilme ve deformasyon tahkikleri irdelenmelidir.

1.10.7. Kesit Dayanımları

1.10.7.1. Çekme Dayanımı

Çekme emniyet gerilmesi faydalı kesitte aşağıda gibi sınırlandırılmıştır.

$$\sigma_{\text{çem}} \leq 0.6 \sigma_a \quad (1.96)$$

Faydalı enkesit alanında çekme emniyet gerilmesi, çekme dayanımının yarısını aşmamalıdır.

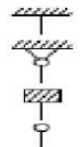
$$\sigma_{\text{çem}} \leq 0.5 \sigma_d \quad (1.97)$$

1.10.7.2. Merkezi Basınca Çalışan Çubuklar

Merkezi basınca çalışan iki ucu mafsallı çubukların burkulmaları incelenmiştir. Basınca çalışan çubukların narinlik değer aşağıdaki gibi sınırlandırılmıştır.

$$\lambda \leq 250 \quad (1.98)$$

Tablo 1.12. Basınç çubuklarında önerilen burkulma boyları. (TS648 - çizelge 3)

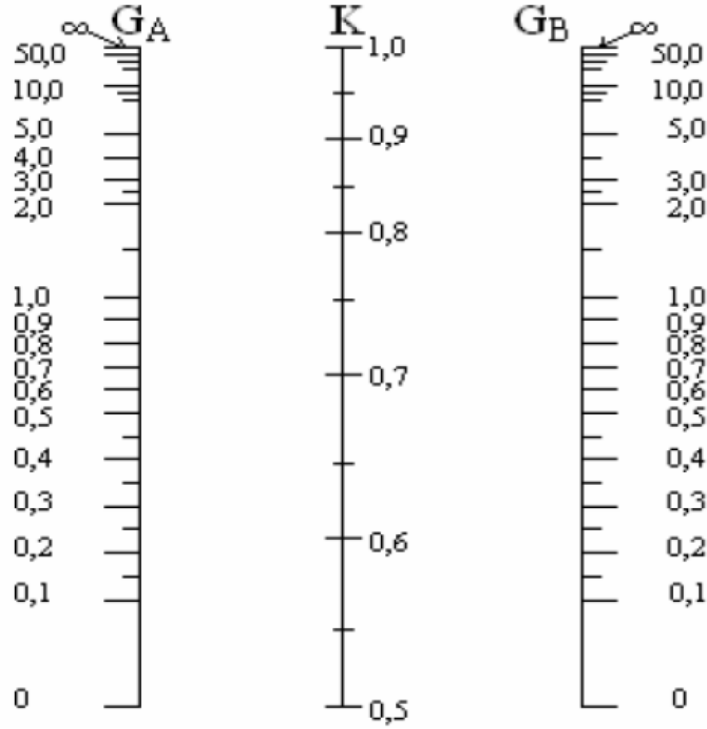
KESİKLİ ÇİZGİLERLE BASINÇ ÇUBUĞUNUN BURKULMA ŞEKLİ GÖSTERİLMİŞTİR.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
BİLGİ	 <p>Dönme ve ötelenmiş dönme Dönme serbest ötelenme önlenmiş Dönme önlenmiş, ötelenme serbest Dönme ve ötelenme serbest</p>					

Çerçevelerdeki basınç çubuğu katsayısı olan K değeri, yanal ötelenmesi engellenmiş olması veya olmaması durumlarına göre tablolardan okunur. Basınç çubuğunun uçlarında ayrı ayrı bulunan G değeri, formül 1.98'teki gibi hesaplanır.

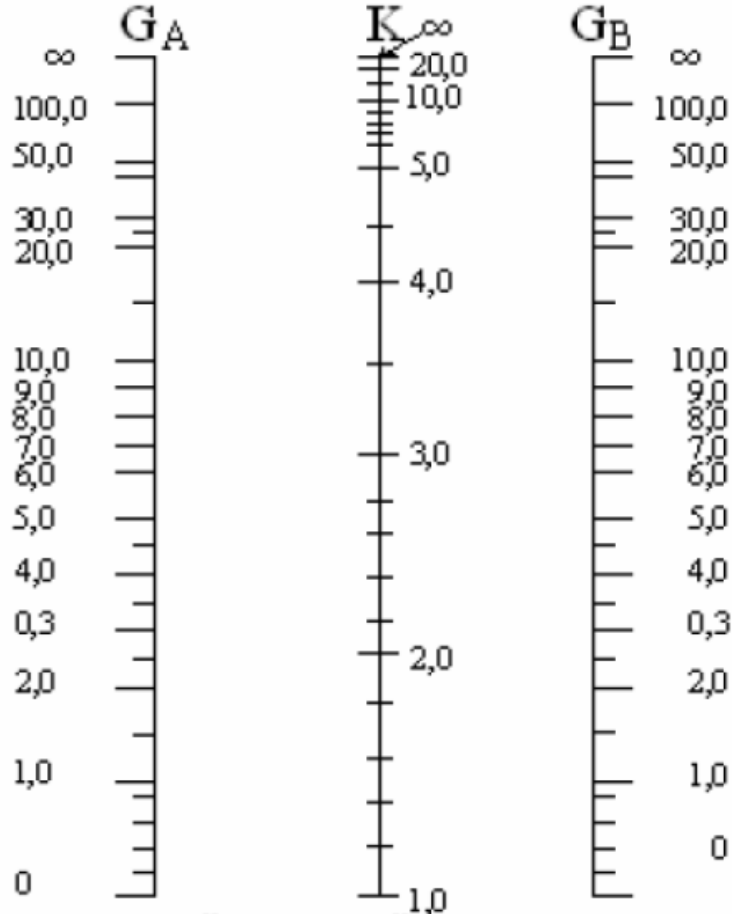
$$G = \frac{\sum \frac{I_c}{S_c}}{\sum \frac{I_g}{S_g}} \quad (1.96)$$

Zemine bağlantısı olan kolonlar için, kolon temele rijit bağlandı ise $G=1.0$ alınabilir. Kolon temele sürtünmesiz, tam anlamıyla dönebilir bir mafsalla bağlı ise $G=10.0$ alınmalıdır. Kolonun iki ucunda bulunan G_A ve G_B değerleri hesaplandıktan sonra, yatay ötelenme koşuluna bağlı olarak şekil 1.10'da verilen çizelgeden K burkulma katsayısı elde edilir. Burkulma boyu ise bu K değeri ile birlikte aşağıdaki bağıntıda verilen gibi hesaplanmalıdır.

$$S_k = K \times s \quad (1.96)$$



Şekil 1.10. Yatay ötelenmesi önlenmiş kolonlarda burkulma katsayısı. (TS648)



Şekil 1.11. Yatay ötelenmesi önlenmemiş kolonlarda burkulma katsayısı. (TS648)

1.10.7.3. Burkulma Katsayısı ile Basınç Gerilmesi Tahkiki

Tek parçalı basınç çubuklarının gerilme tahkikinde 1.97'de verilen eşitliğin sağlanması gerekmektedir.

$$\sigma_b = \omega \times \frac{P}{F} \leq \sigma_{\text{çem}} \quad (1.97)$$

Denklemdaki ω değeri, TS 648 çizelge 6 ve 7'de verilen çubuğun narinliği ve çelik sınıfı ile bağlantılı burkulma katsayısıdır.

$$\omega = \frac{\sigma_{\text{çem}}}{\sigma_{\text{bem}}} \quad (1.98)$$

Tablo 1.14. ST52 çeliği ω burkulma katsayısı. (TS 648 - çizelge 7)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04
20	1,05	1,06	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13
30	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,24
40	1,25	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36
50	1,37	1,39	1,40	1,41	1,43	1,44	1,46	1,47	1,49	1,50
60	1,52	1,54	1,55	1,57	1,59	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68
70	1,70	1,72	1,74	1,76	1,78	1,80	1,83	1,85	1,87	1,90
80	1,92	1,95	1,97	2,00	2,03	2,06	2,08	2,11	2,15	2,18
90	2,21	2,24	2,28	2,32	2,35	2,39	2,43	2,47	2,52	2,56
100	2,61	2,65	2,70	2,75	2,81	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10
110	3,15	3,21	3,27	3,33	3,39	3,45	3,51	3,57	3,63	3,69
120	3,75	3,81	3,88	3,94	4,01	4,07	4,14	4,20	4,27	4,34
130	4,40	4,47	4,54	4,61	4,68	4,75	4,82	4,89	4,96	5,03
140	5,11	5,18	5,285	5,33	5,40	5,48	5,55	5,63	5,71	5,78
150	5,86	5,94	6,02	6,10	6,18	6,26	6,34	6,42	6,50	6,59
160	6,67	6,75	6,84	6,92	7,01	7,09	7,18	7,27	7,35	7,44
170	7,53	6,72	7,71	7,80	7,89	7,98	8,07	8,16	8,25	8,35
180	8,44	8,54	8,63	8,73	8,82	8,92	9,01	9,11	9,21	9,31
190	9,41	9,50	9,60	9,70	9,81	9,91	10,01	10,11	10,21	10,32
200	10,42	10,53	10,63	10,74	10,84	10,95	11,06	11,16	11,27	11,38
210	11,49	11,60	11,71	11,82	11,93	12,04	12,16	12,27	12,38	12,50
220	12,61	12,73	12,84	12,96	13,07	13,19	13,31	13,43	13,54	13,66
230	13,78	13,90	14,05	14,14	14,27	14,39	14,51	14,63	14,76	14,88
240	15,01	15,13	15,26	15,38	15,51	15,64	15,77	15,90	16,02	16,15
250	16,28									

1.10.7.4. Narinlik Etkisinde Burkulma Gerilmesi Tahkiki

λ_p 'den küçük narinlik değerine sahip olan, aksenal basınca çalışan çubuklar için basınç emniyet gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - 0.5 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) \right] \times \sigma_a}{n} \quad (1.101)$$

TS 648'de, izin verilen basınca gerilmesi hesaplandıktan sonra aşağıdaki bağıntı ile λ_p kritik plastik narinlik sınırı hesaplanır.

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{\sigma_a}} \quad (1.102)$$

λ_p 'den büyük narinlik değerine sahip olan, aksenal basınca çalışan çubuklar için basınç emniyet gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_{bem} = \frac{2 \pi^2 E}{5 \lambda^2} \quad (1.103)$$

$$\sigma_{bem} = \frac{8290000}{\lambda^2} \quad (1.104)$$

1.10.7.5. Aksenal Basınç ve Eğilmeye Çalışan Çubuklar

TS 648'de, eksantrik veya merkezi bir basınç kuvveti ile beraber eğilme momenti etkileyen çubuklarda, önce burkulma etkileri göz önüne alınmadan eğilme tahkiki yapılır.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx} \sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}}\right) \sigma_{bx}} + \frac{C_{my} \sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}}\right) \sigma_{by}} \quad (1.105)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6 \sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \quad (1.106)$$

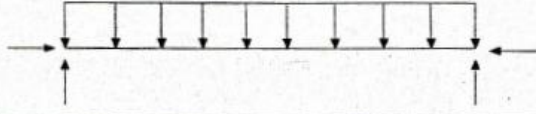
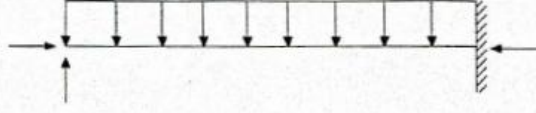
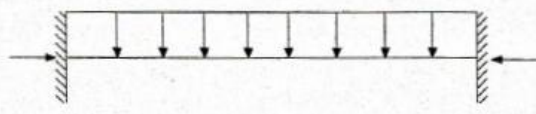
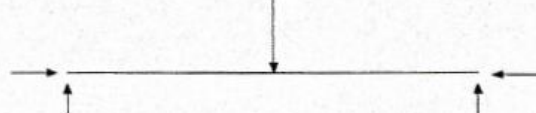
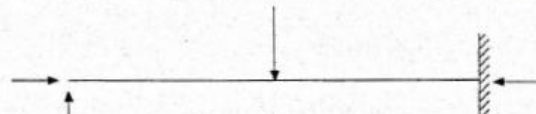
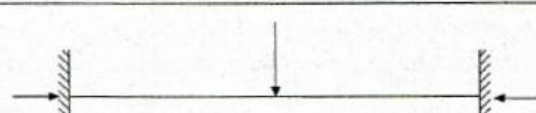
$$\sigma_e' = \frac{1}{2.5} \frac{\pi^2 E}{\left(K S_b / i_b\right)^2} \quad (1.107)$$

Yanal deplasmanın mümkün olduğu çerçevelerde $C_m = 0.85$ alınır. Yanal ötelenmenin tutulmuş olduğu çerçevelerin uçları bağlı ve eğilme düzlemine yanal yükü olmayan kolonlarda ise küçük eğilme momentinin büyüğüne oranı kullanılarak aşağıdaki gibi hesap yapılır.

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} \leq 0.40 \quad (1.108)$$

Yanal ötelenmenin tutulmuş olduğu üzerinde yanal yükü olan kolonlarda ise şekil 1.12'de belirtilen durumlar için aşağıdaki denklem kullanılır.

$$C_m = 1 + \psi \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_e'} \quad (1.109)$$

Durum	ψ	C_m
	0	1,0
	-0,3	$1-0,3 \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_e'}$
	-0,4	$1-0,4 \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_e'}$
	-0,2	$1-0,2 \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_e'}$
	-0,4	$1-0,4 \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_e'}$
	-0,6	$1-0,6 \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_e'}$

Şekil 1.12. Mesnet koşullarına göre ψ değerleri. (TS648 – çizelge 10)

$$\psi = \frac{\pi^2 EI \delta_0}{M_0 S^2} \quad (1.110)$$

1.10.7.6. Yanal Burkulma Emniyet Gerilmesi

Eksenel simetrisi olan ve gövde yönünde yüklenen kirişlerde ve büyük asal eksenine göre yüklenen U kirişlerde basınç emniyet gerilmesi daha kesin hesap yöntemleri ile belirlenmediği sürece aşağıdaki formüllerden elde edilen gerilmelerden büyüğü emniyet gerilmesi olarak alınır. Ancak bu değer $0.6\sigma_a$ değerini aşamaz (TS 648-1980).

$$\frac{S}{i_y} \leq \sqrt{\frac{30000000 \times C_0}{\sigma_a}} \quad (1.111)$$

Denklem 1.111 sağlanması durumunda, yanal burkulma emniyet gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$\sigma_B = \left[\frac{2}{3} - \frac{\sigma_a \left(\frac{S}{i_y} \right)^2}{90000000 \times C_0} \right] \times \sigma_a \leq 0.60 \sigma_a \quad (1.112)$$

Denklem 1.111 sağlanmaması durumunda, yanal burkulma emniyet gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$\sigma_B = \frac{10000000 \times C_0}{\left(\frac{S}{i_y} \right)^2} \quad (1.113)$$

Eğer basınç dolu ve yaklaşık olarak dikdörtgen enkesite sahip ve enkesitin çekme başlığı enkesitinden ufak değilse yanal burkulma emniyet gerilmesi hesabı aşağıdaki gibi olur. Yanal mesnetler arasındaki herhangi bir noktadaki moment uç momentlerden fazla ise C_b değeri 1.0 alınır.

$$\sigma_B = \frac{840000 \times C_b}{S_d / F_b} \quad (1.114)$$

$$C_b = 1.75 + 1.05 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) + 0.30 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)^2 \leq 2.30 \quad (1.115)$$

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Bu tez çalışmasında, iki farklı tipteki çelik yapı ele alınmıştır. Bu yapıların Ankara'da inşa edileceği varsayılarak tasarımları yapılmış, TS498 ve DBYBHY 2007'de belirtilen kar ve deprem koşulları sağlanmıştır. Ankara İli, TS 498'de II. derece kar yükü bölgesi olarak verilmiştir ve 3. derece deprem bölgesi'nde yer almaktadır.

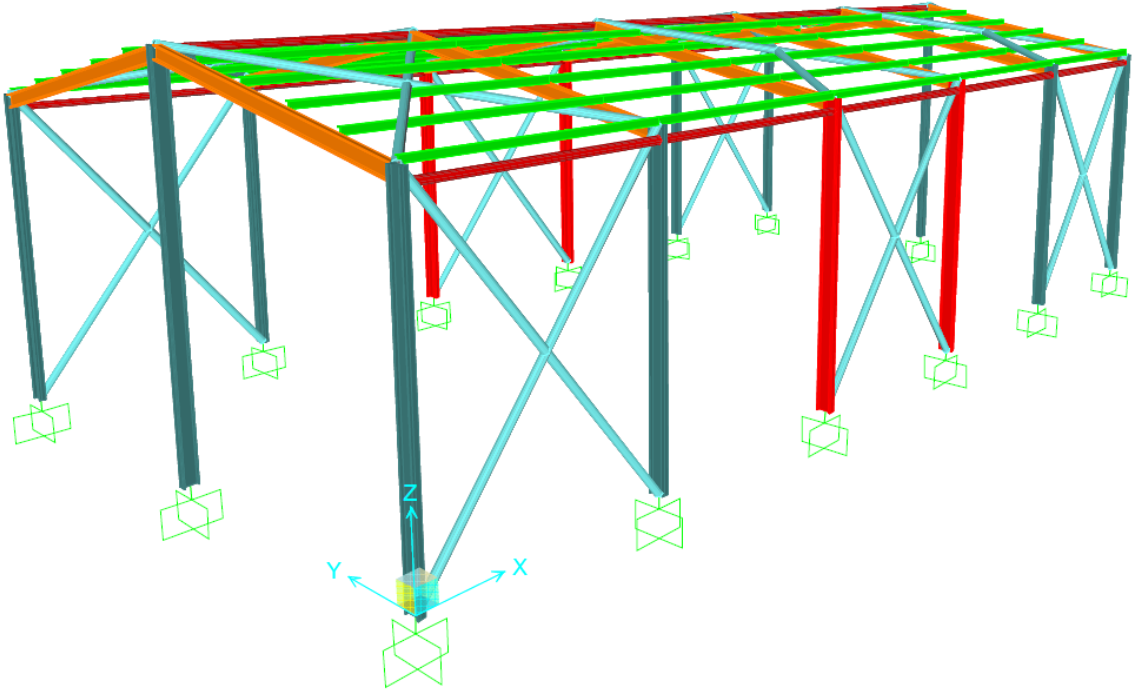
Analizi yapılan binalardan ilki olan tek açıklıklı sanayi yapısına gelen, kar, rüzgâr ve ölü yükleri TS498'e göre, deprem kuvvetleri ise DBYBHY 2007'e göre hesaplanmıştır. Yapı elemanlarında oluşan tasarım kuvvetleri ile Eurocode 3, TS 648 ve LRFD'ye göre boyutlandırılmaları yapılmıştır.

Ele alınan ikinci yapı ise, çok katlı çelik ofis binasıdır. Kompozit döşemeli 4 katlı çelik büro yapısında ise, öngörülen kullanım yükleri, ölü yükler, kar, rüzgâr yükleri TS98'e göre ve deprem kuvvetleri ise DBYBHY 2007'e göre hesaplanmıştır. Oluşan tasarım kuvvetlerine göre yapı elemanları yine yukarıda belirtilen üç yönetmeliğe göre boyutlandırılmaları yapılmıştır.

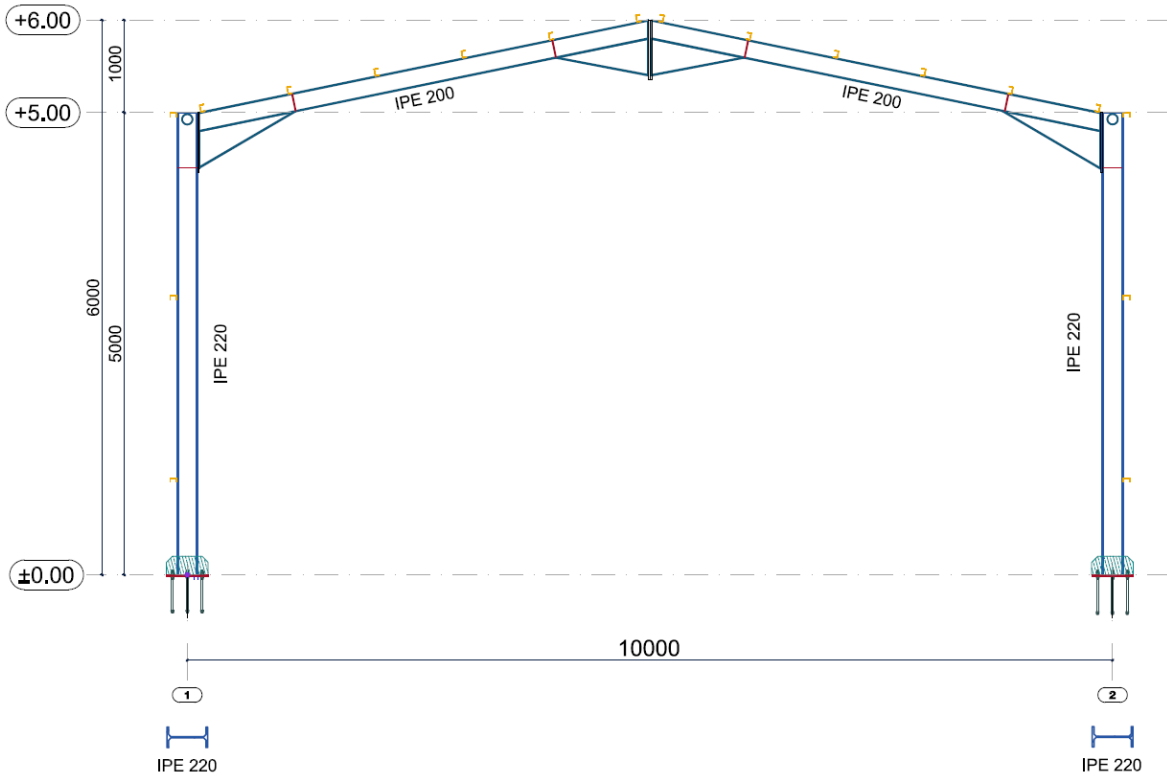
2.2 Tek Açıklıklı Sanayi Yapısı

2.2.1. Yapı Sisteminin Tanıtılması

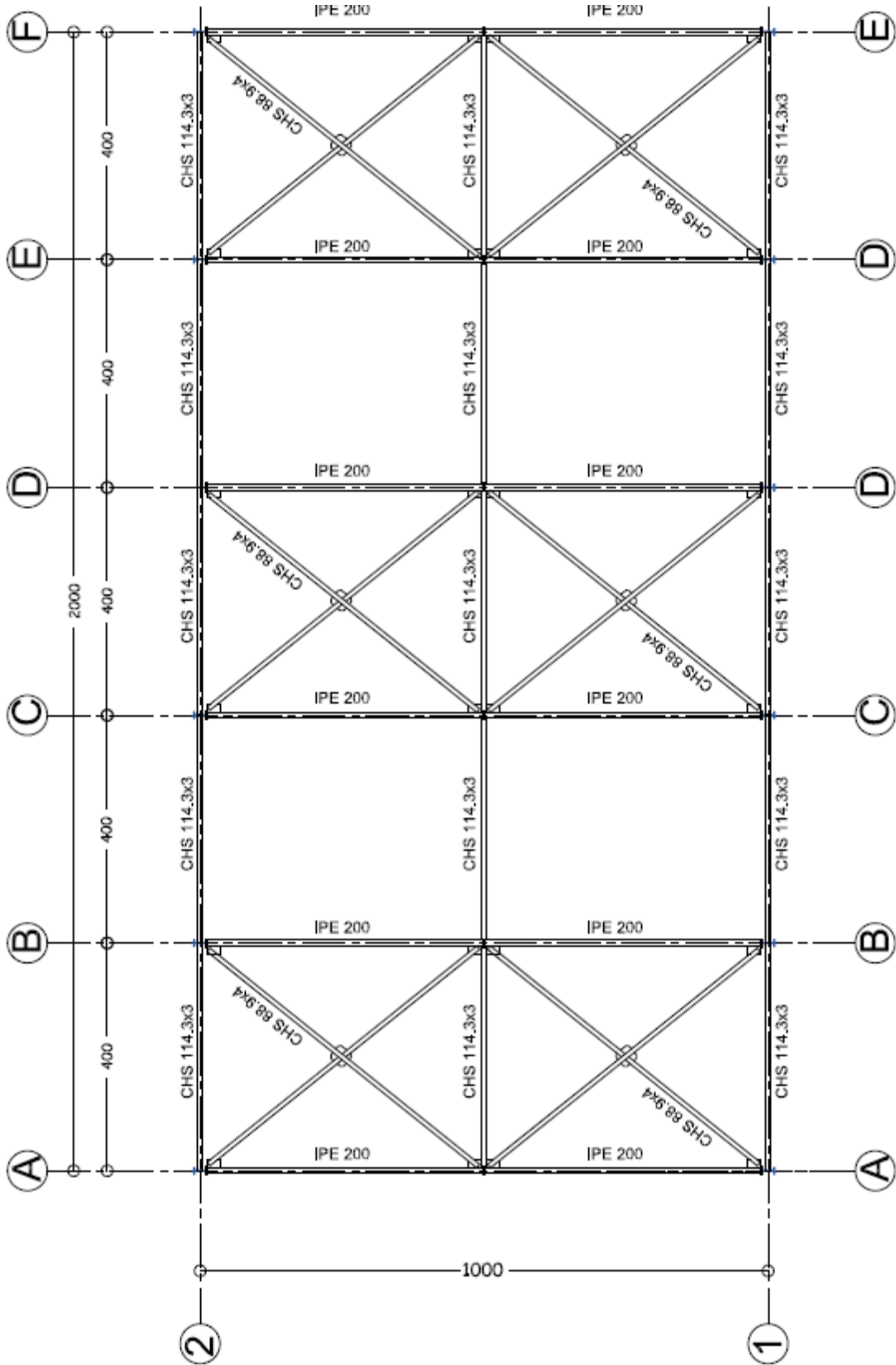
Bu bölümde sanayi tipi çelik yapının analiz ve tasarımı incelenmiştir. Yapının eni 10 m ve boyu ise 20 m uzunluğundadır. Yüksekliği 5 m olan yapı, dolu gövdeli tek açıklıklı bir çerçeve sisteme sahiptir. Aks aralıkları eşit ve 4 m olan bu sistemde, yanal ve çatı rüzgar stabilite çaprazları bulunmaktadır.



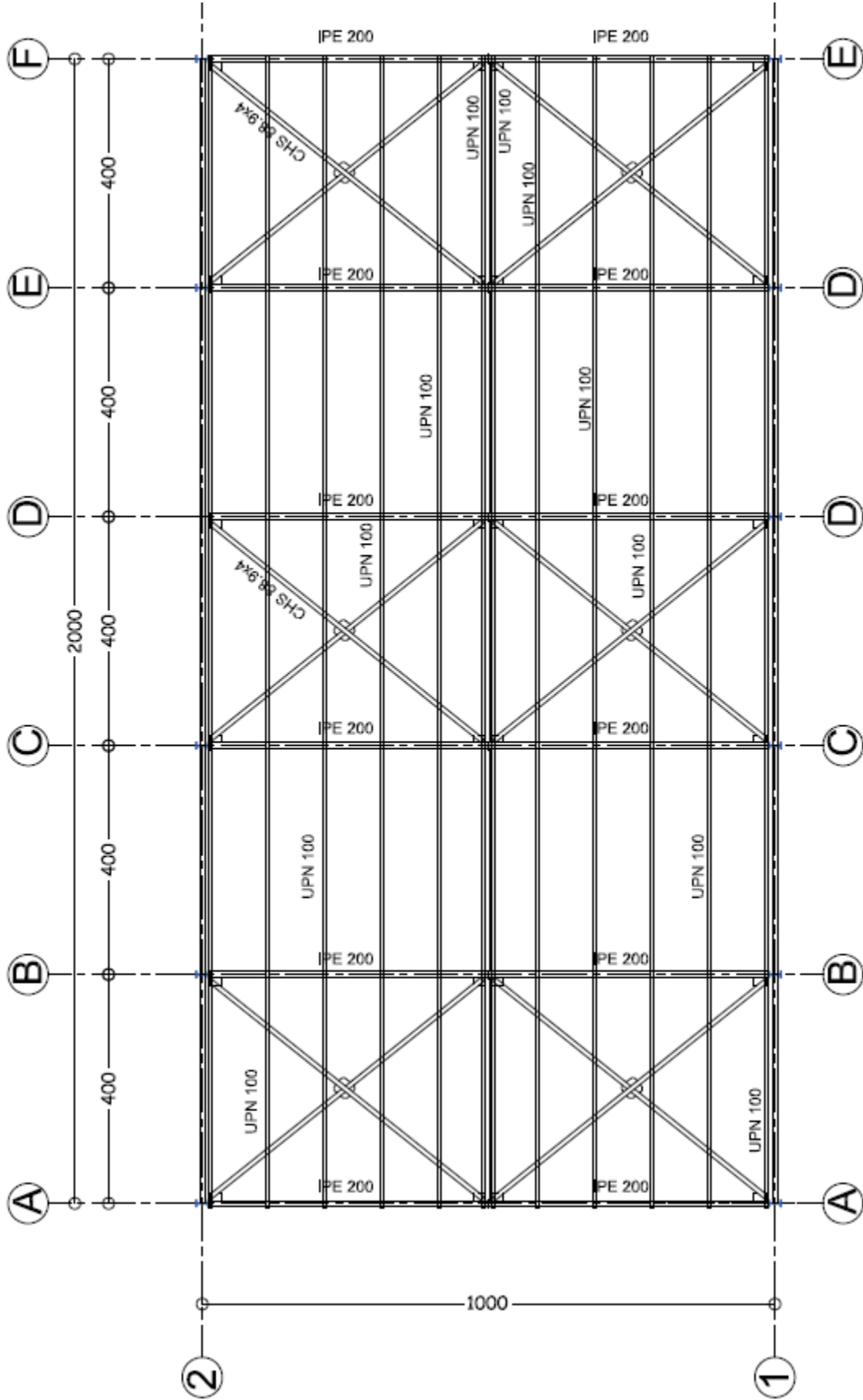
Şekil 2.1. Tek açıklıklı sanayi yapısının üç boyutlu gösterimi.



Şekil 2.2. Yapının, ölçülendirilmiş tipik kesit görünüşü.



Şekil 2.3. Yapının çatı çaprazlarının yerleşimi plan gösterimi.



Şekil 2.4. Yapının aşık yerleşimini gösteren çatı planı.

2.2.2. Yük Durumları

2.2.2.1. Çatı Yükleri

Çatı Kaplaması (Sandviç Panel)	0,15 kN/m ²
Aşık Ağırlığı	0,15 kN/m ²
Zati Bağlantılar	0,05 kN/m ²

2.2.2.2. Kar Yükleri

TS 498 yönetmeliğine göre, Ankara II. Derece kar yükü bölgesinde yer almaktadır.

$$P_k = m \times P_{k0}, \quad \alpha = 0, \quad m = 1, \quad \text{Rakım} = 870 \text{ m} \quad (2.1.)$$

$$P_{k0} = 0,85 \text{ kN/m}^2, \quad P_k = 1 \times 0,85 = 0,85 \text{ kN/m}^2 \quad (2.2)$$

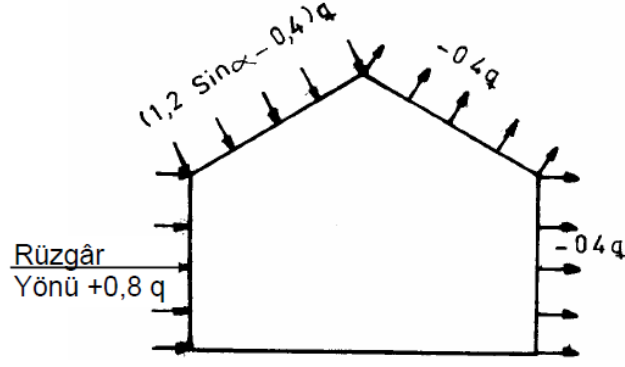
2.2.2.3. Rüzgar Yükleri

TS 498 yönetmeliğine göre, aşağıdaki değerler alınmıştır.

$$w = C_p \times q \quad (2.3)$$

Tablo 2.1. Yüksekliğe göre rüzgar basınç kuvvetleri. (TS 498)

Zeminden Yükseklik (m)	Rüzgar Hızı v (m/s)	Emme q (kN/m ²)
0 - 8	28	0.5
9 - 20	36	0.8
21 - 100	42	1.1
> 100	46	1.3



Şekil 2.5. Yapılarda rüzgar yükünün taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımını. (TS498)

$$q = 0,5 \text{ kN/m}^2 \quad (2.4.)$$

$$w = C_p \times q = 0.5 \times 0.8 = 0.40 \text{ kN/m}^2 \quad (2.5.)$$

Bir kolona gelen rüzgar yüklemesi aşağıdaki gibidir.

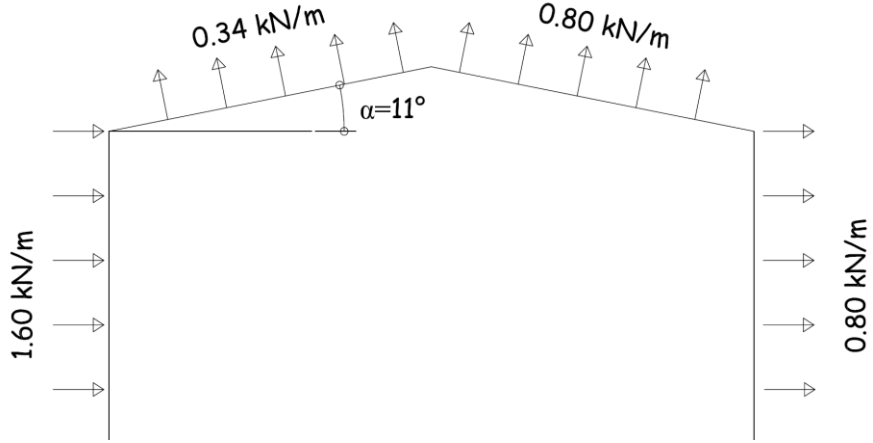
$$0.40 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 1.60 \text{ kN/m} \quad (2.6.)$$

$$w = C_p \times q = (1.2 \times \sin 11 - 0.40) \times 0.5 = -0.085 \text{ kN/m}^2 \quad (2.7.)$$

$$\text{Bir kirişe gelen rüzgar yüklemesi, } 0.085 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 0.34 \text{ kN/m} \quad (2.8.)$$

$$w = C_p \times q = 0.5 \times 0.4 = 0.20 \text{ kN/m}^2 \quad (2.9.)$$

$$\text{Bir kirişe gelen rüzgar yüklemesi, } 0.20 \text{ kN/m}^2 \times 4 \text{ m} = 0.80 \text{ kN/m} \quad (2.10.)$$



Şekil 2.6. B – C – D – E Aksı yandan rüzgar yüklemesi.

2.2.2.4. Deprem Parametreleri

Deprem Bölgesi	: 3. Derece
Yerel Zemin Sınıfı	: Z2
Spektrum Karakteristik Periyodu (T_A)	: 0.15
Spektrum Karakteristik Periyodu (T_B)	: 0.40
Bina Önem Katsayısı (I)	: 1.00
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	: 0.20
X Yönündeki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R_x)	: 4
Y Yönündeki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R_y)	: 4
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	: 0,30

$$S_{pa}(Tr) = [A(Tr) \times g] / [R_a(Tr)] \quad (2.11)$$

$$A(Tr) = A_0 \times I \times S(T) \quad (2.12)$$

$$S(T) = 1 + 1.5 (T / T_A) \quad [0 \leq T \leq T_A] \quad (2.13.)$$

$$S(T) = 2.5 \quad [T_A \leq T \leq T_B] \quad (2.14.)$$

$$S(T) = 2.5 \times (T_B / T)^{0.8} \quad [T > T_B] \quad (2.15.)$$

$$R_a(T) = 1.5 + [(R - 1.5) \times T] / T_A \quad [0 \leq T \leq T_A] \quad (2.16.)$$

$$R_a(T) = R \quad [T > T_A] \quad (2.17.)$$

$$S_{pa}(T_r) = (A_0 \times I \times S(T) \times g) / A_0 \times I \times S(T) \quad (2.18.)$$

$$= 0.2 \times 1 \times [S(T) / R(T)] \times 10 \quad (2.19.)$$

$$= 2 \times [S(T) / R(T)] \quad (2.20.)$$

Deprem yükleri, bu veriler tanımlanarak Sap2000 programı yardımıyla hesaplanmıştır.

$$T_{1x} = 0.50502 \text{ sn}, T_{1y} = 0.50441 \text{ sn} \quad (2.21.)$$

Yapıya etkiyen taban kesme kuvveti aşağıdaki denklemdeki gibi olmalıdır.

$$V_s = \frac{W \times A \times (T_1)}{R_a \times (T_1)} \geq 0.10 \times A_0 \times I \times W \quad (2.22)$$

Bu denklemdeki W katsayısını hesaplamak için toplam kat ağırlıklarını aşağıdaki tabloda verilen bina kullanım amacına göre bir n katsayısı ile çarparak hesaplanmalıdır.

$$W_i = g_i + n \times q_i \quad (2.23)$$

$$W_i = 245.16 + 0.30 \times 187.00 = 301.26 \text{ kN} \quad (2.24)$$

$$S(T_{1x}) = 2.5 \times (T_B / T)^{0.8} \quad [T_A = 0.15 \leq T_B = 0.40 \leq T = 0.50502] \quad (2.25.)$$

$$S(T_{1x}) = 2.5 \times (T_B / T)^{0.8} \quad [T_A = 0.15 \leq T_B = 0.40 \leq T = 0.50441] \quad (2.26.)$$

$$S(T_{1x}) = 2.5 \times (0.40 / 0.50502)^{0.8} = 2.0746 \quad (2.27.)$$

$$S(T_{1y}) = 2.5 \times (0.40 / 0.50441)^{0.8} = 2.0766 \quad (2.28.)$$

Toplam deprem yükleri, yukarıda hesaplanan Spektrum değerleri kullanılarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$V_T = C_i \times w \quad (2.29.)$$

$$C_{ix} = A_0 \times I \times S(T) / R = (0.20 \times 1.0 \times 2.0746) / 4 = 0.10373 \quad (2.30.)$$

$$C_{iy} = A_0 \times I \times S(T) / R = (0.20 \times 1.0 \times 2.0766) / 4 = 0.10383 \quad (2.31.)$$

$$V_{Tx} = 0.10373 \times 301.26 = 31.25 \text{ kN} \quad (2.32.)$$

$$V_{Ty} = 0.10383 \times 301.26 = 31.28 \text{ kN} \quad (2.33.)$$

2.2.3. Yük Durumları ve Kombinasyonlar

2.2.3.1. Yük Durumları

Yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerin, Eurocode, TS 648 ve LRFD için yapılan hesapta kullanılan kombinasyonların kısaltmaları ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

G	: Sabit Yükler
Q	: Hareketli Yükler
EXP	: Pozitif Durumda, +X yönü deprem yüklemesi
EXN	: Negatif Durumda, +X yönü deprem yüklemesi
EYP	: Pozitif Durumda, +Y yönü deprem yüklemesi
EYN	: Negatif Durumda, +Y yönü deprem yüklemesi
WXP	: + X Yönü Rüzgar yüklemesi
WXN	: - X Yönü Rüzgar yüklemesi
WYP	: + Y Yönü Rüzgar yüklemesi
WYN	: - Y Yönü Rüzgar yüklemesi

2.2.3.2. Yapı Analizi ve Boyutlandırması İçin Yük Kombinasyonları

2.2.3.2.1. TS 648'e Göre Yük Kombinasyonları

$$1.0 G + 1.0 Q$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EXP \pm 0.3 EYP$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EYP \pm 0.3 EXP$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EXN \pm 0.3 EYN$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EYN \pm 0.3 EXN$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EXP \pm 0.3 EYN$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EXN \pm 0.3 EYP$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EYP \pm 0.3 EXN$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 EYN \pm 0.3 EXP$$

$$0.9 G \pm 1.0 EXP \pm 0.3 EYP$$

$$0.9 G \pm 1.0 EYP \pm 0.3 EXP$$

$$0.9 G \pm 1.0 EXN \pm 0.3 EYN$$

$$0.9 G \pm 1.0 EYN \pm 0.3 EXN$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 WXP$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 WXN$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 WYP$$

$$1.0 G + 1.0 Q \pm 1.0 WYN$$

$$0.9 G + 1.0 WXP$$

$$0.9 G - 1.0 WXP$$

$$0.9 G + 1.0 WYP$$

$$0.9 G - 1.0 WYP$$

$$0.9 G + 1.0 WXN$$

$$0.9 G - 1.0 WXN$$

$$0.9 G + 1.0 WYN$$

$$0.9 G - 1.0 WYN$$

2.2.3.2.2. Eurocode 3'e Göre Yük Kombinasyonları

1.35G+1.5Q

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EXP + 0.3 EYP

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EXN + 0.3 EYN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EXP + 0.3 EYN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EXN + 0.3 EYN

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYP + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYP + 0.3 EXN

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYN + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYN + 0.3 EXN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYP + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYP + 0.3 EXN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYN + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYN + 0.3 EXN

0.9 G + 1.0 EXP + 0.3 EYP

0.9 G + EXN + 0.3 EYP

0.9 G - EXP + 0.3 EYP

0.9 G - EXN + 0.3 EYP

0.9 G + EYP + 0.3 EXP

0.9 G + EYN + 0.3 EXP

0.9 G - EYP + 0.3 EXP

0.9 G - EYN + 0.3 EXP

1.35 G + 1.35 Q ± 1.35WXP

1.35 G + 1.35 Q ± 1.35WXN

1.35 G + 1.35 Q ± 1.35WYP

1.35 G + 1.35 Q ± 1.35WYN

1.35 G ± 1.5 WXP

1.35 G ± 1.5 WXN

1.35 G ± 1.5 WYP

1.35 G ± 1.5 WYN

2.2.3.2.3. LRFD'ye Göre Yük Kombinasyonları

1.4 G

1.2 G + 1.6 Q

1.2 G + 1.0 Q ± 1.6 WXP

1.2 G + 1.0 Q ± 1.6 WYP

1.2 G + 1.0 Q ± 1.6 WXN

1.2 G + 1.0 Q ± 1.6 WYN

1.2 G + 0.8 WXP

1.2 G - 0.8 WXP

1.2 G + 0.8 WYP

1.2 G - 0.8 WYP

1.2 G + 0.8 WXN

1.2 G - 0.8 WXN

1.2 G + 0.8 WYN

1.2 G - 0.8 WYN

0.9 G ± 1.6 WXP

0.9 G ± 1.6 WYP

0.9 G ± 1.6 WXN

0.9 G ± 1.6 WYN

1.2 G + 0.5 Q ± 1.0 EXP ± 0.3 EYP

1.2 G + 0.5 Q ± 1.0 EYP ± 0.3 EXP

1.2 G + 0.5 Q ± 1.0 EXN ± 0.3 EYN

1.2 G + 0.5 Q ± 1.0 EYN ± 0.3 EXN

1.2 G ± 1.0 EXP ± 0.3 EYP

1.2 G ± 1.0 EYP ± 0.3 EXP

1.2 G ± 1.0 EXN ± 0.3 EYN

0.9 G ± 1.0 EYN ± 0.3 EXN

0.9 G ± 1.0 EXP ± 0.3 EYP

0.9 G ± 1.0 EYP ± 0.3 EXP

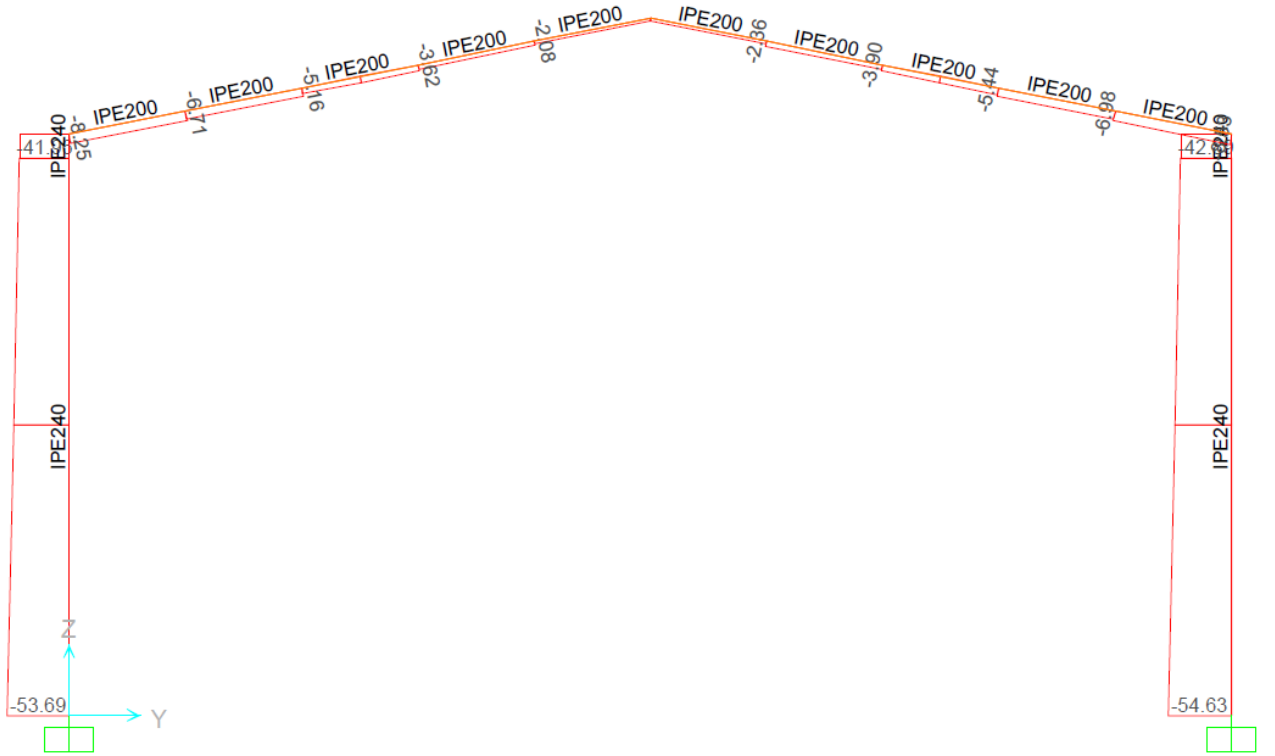
0.9 G ± 1.0 EXN ± 0.3 EYN

0.9 G ± 1.0 EYN ± 0.3 EXN

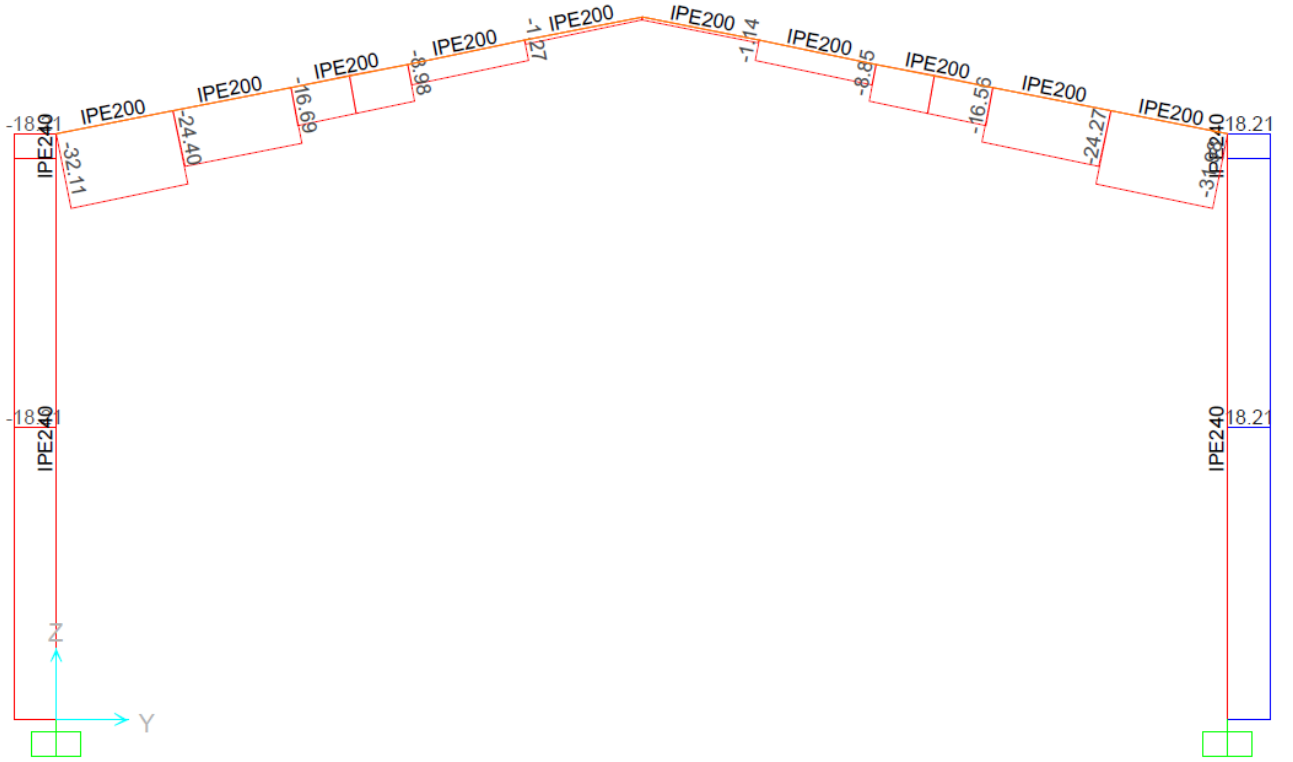
2.2.4. Analiz Sonuçları

Yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerin, Eurocode, TS 648 ve LRFD için yapılan hesaplarda kullanılan kombinasyonları kullanılarak SAP2000 programı ile yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

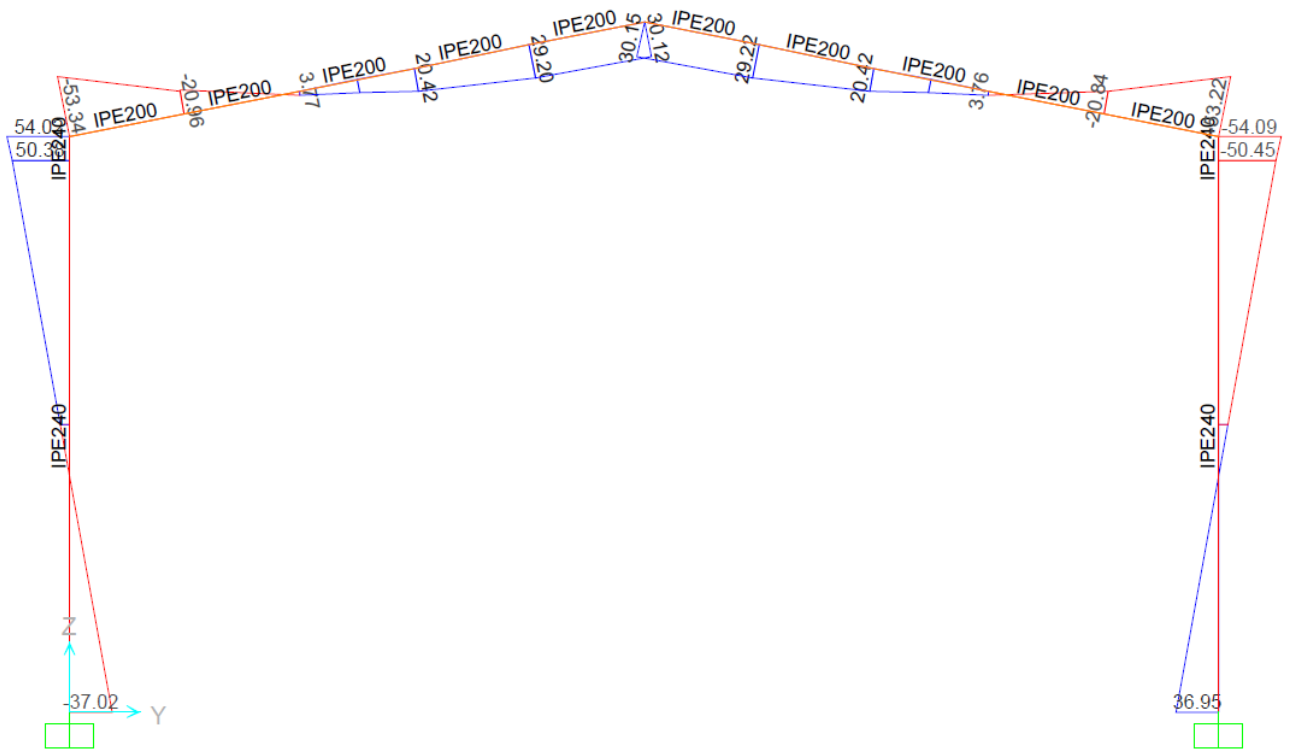
2.2.4.1. Eurocode 3'e Göre Analiz Sonuçları



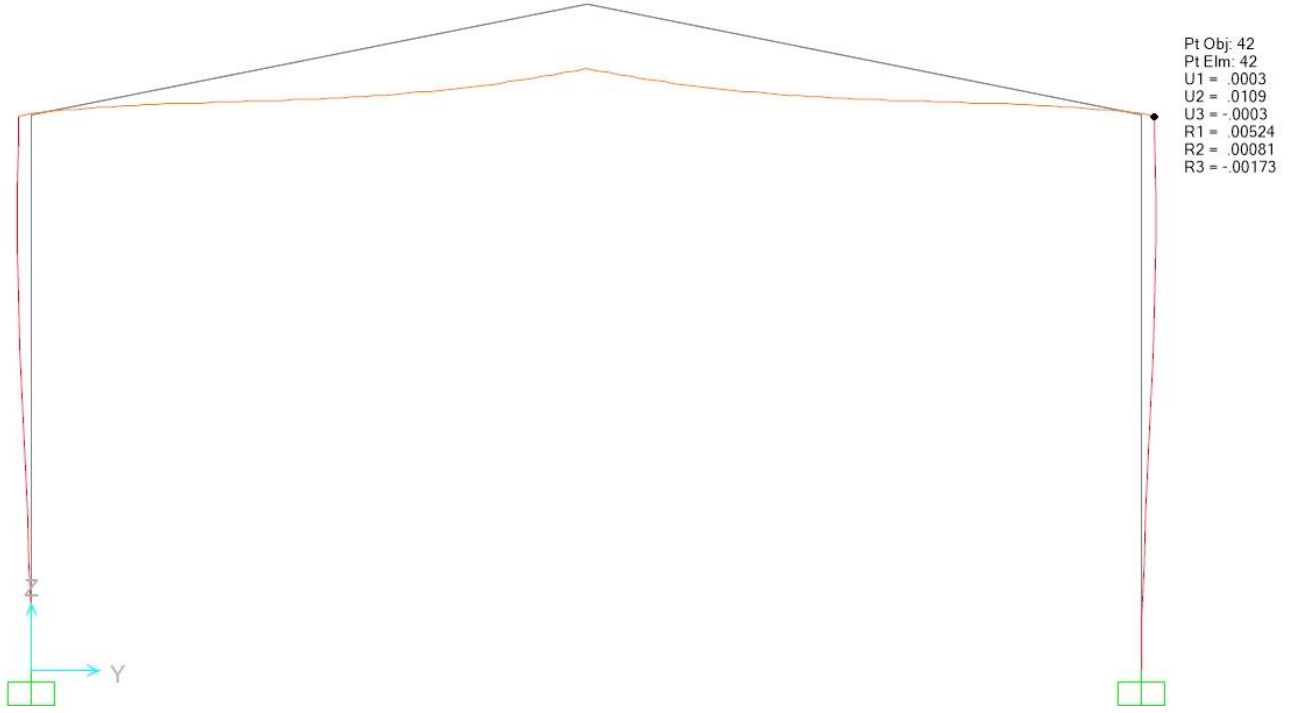
2.7. Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı.



Şekil 2.8. Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı.

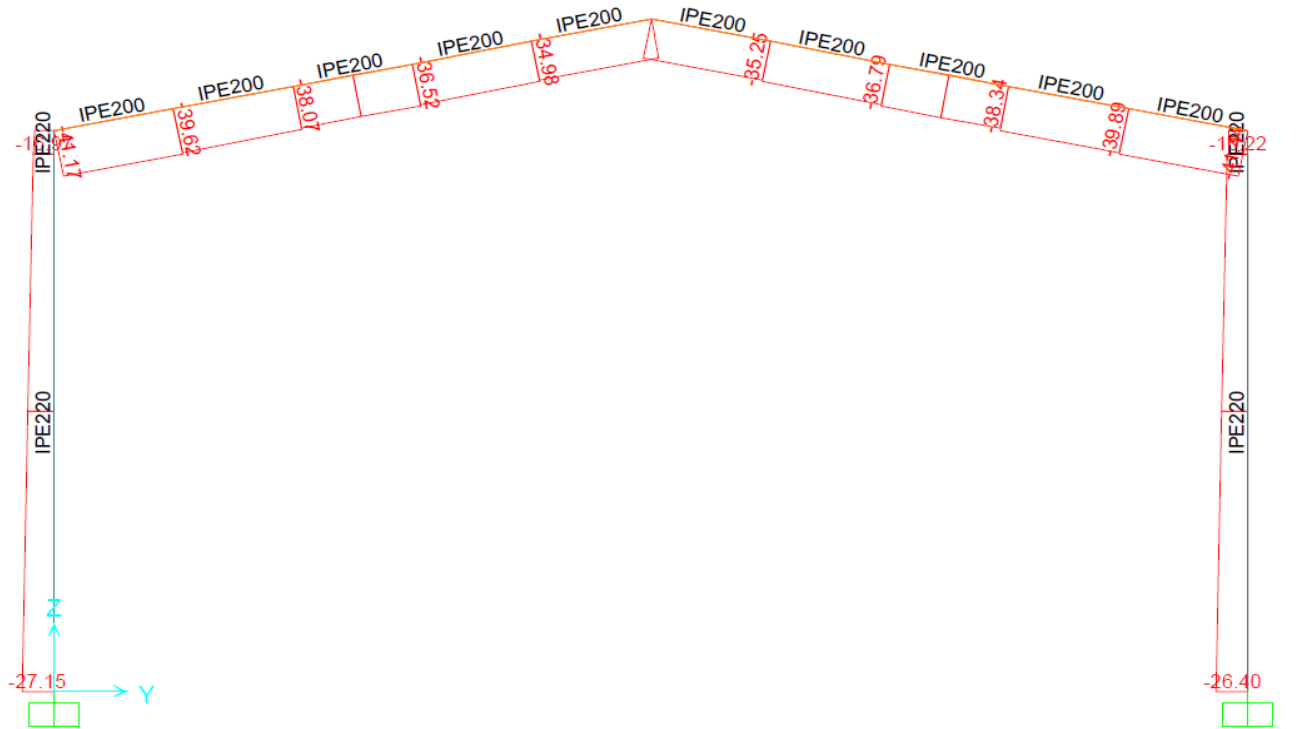


Şekil 2.9. Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre moment diyagramı.

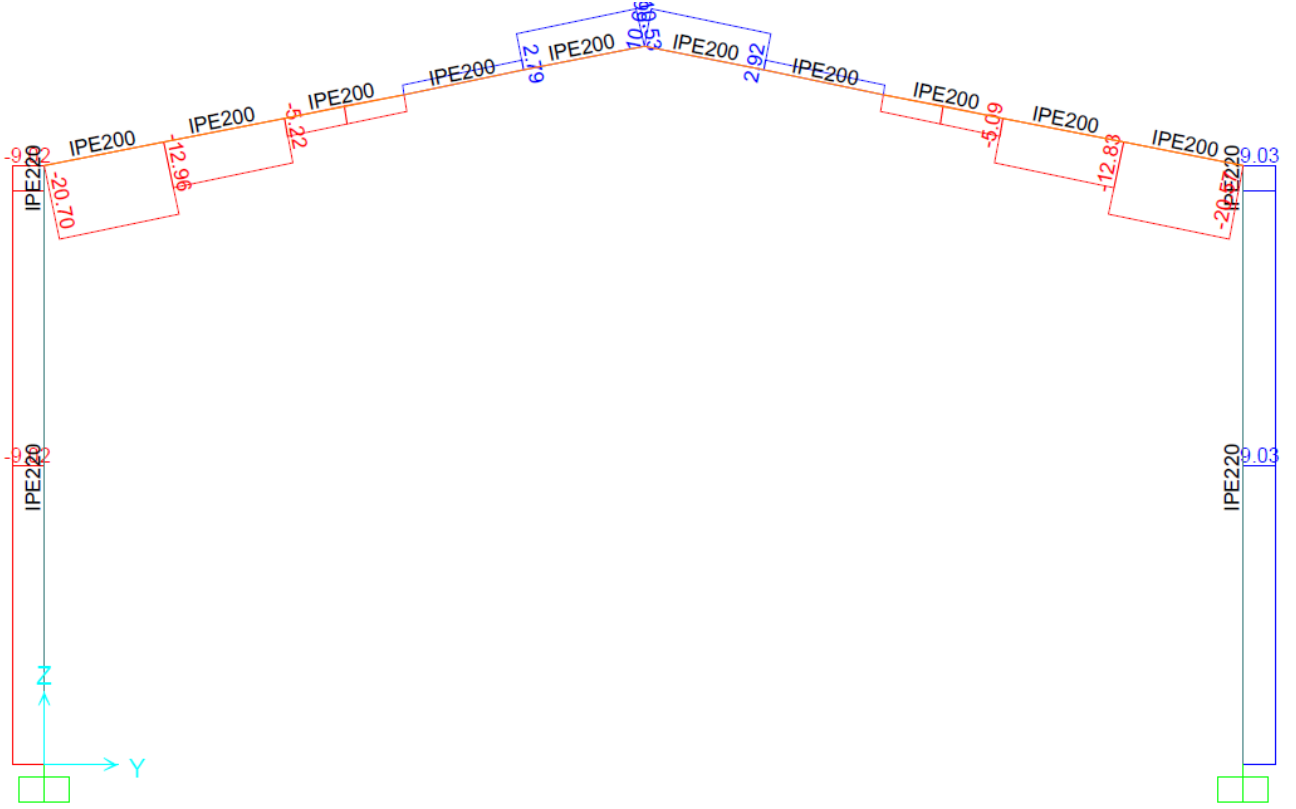


Şekil 2.10. Eurocode 3, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre şekil değıştirme diyagramı.

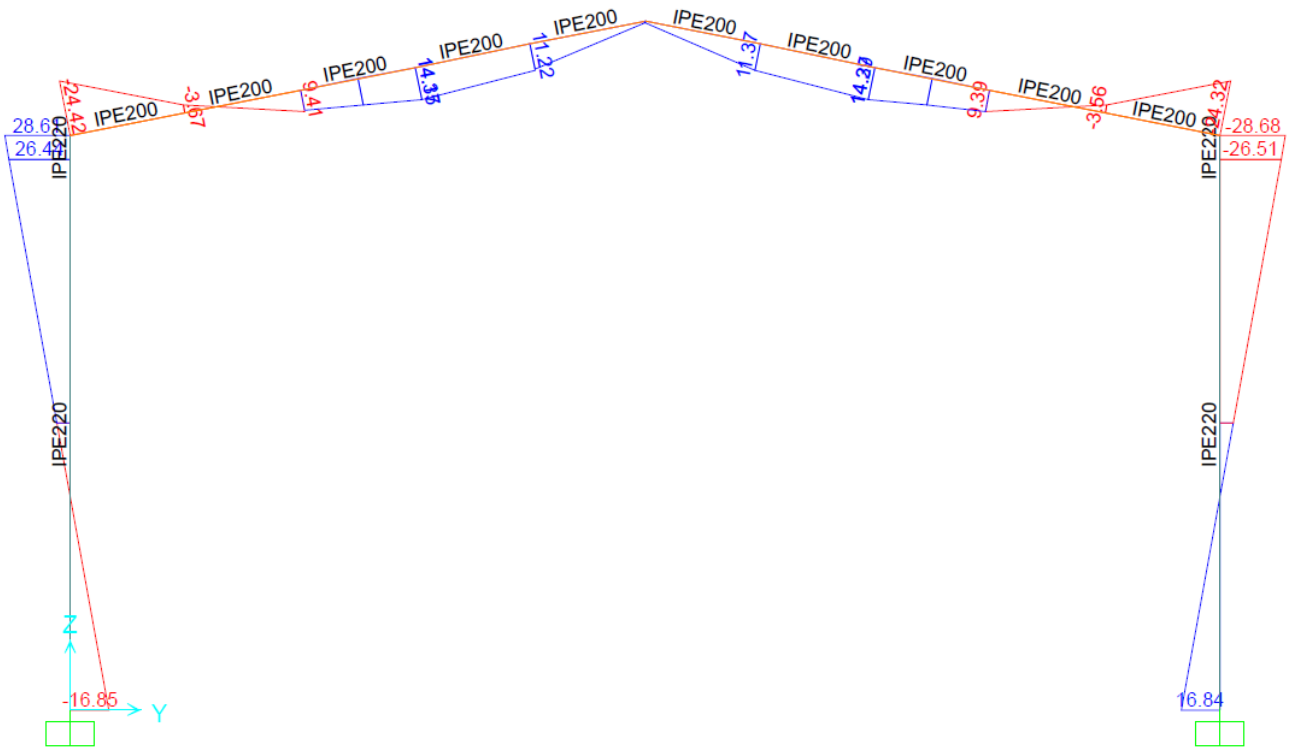
2.2.4.2. LRFD'ye Göre Analiz Sonuçları



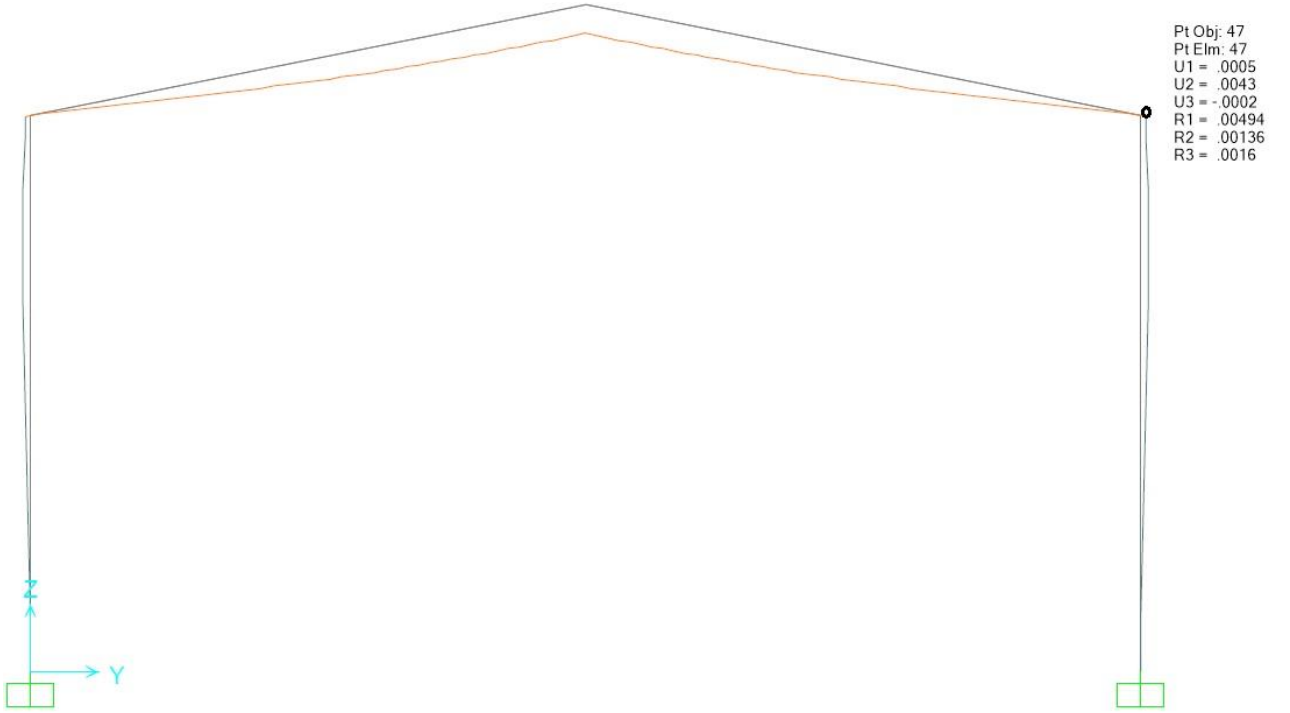
Şekil 2.11. LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı.



Şekil 2.12. LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı.

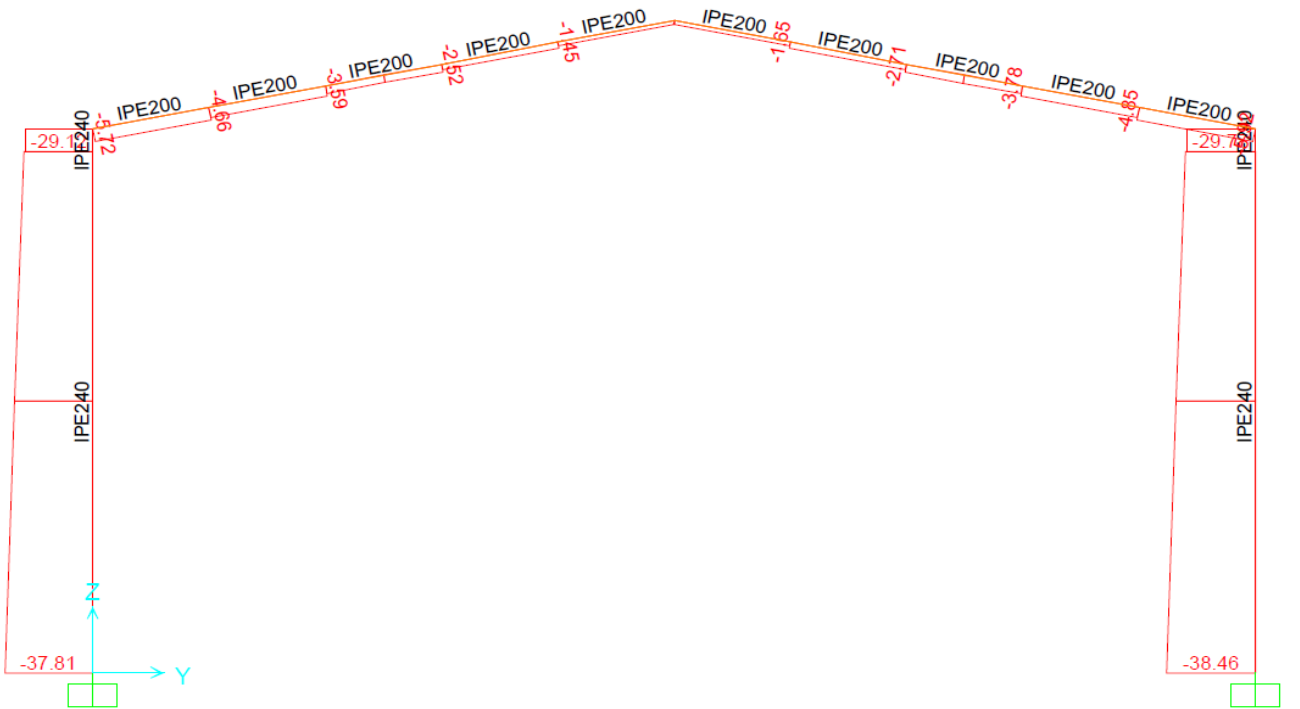


Şekil 2.13. LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre moment diyagramı.

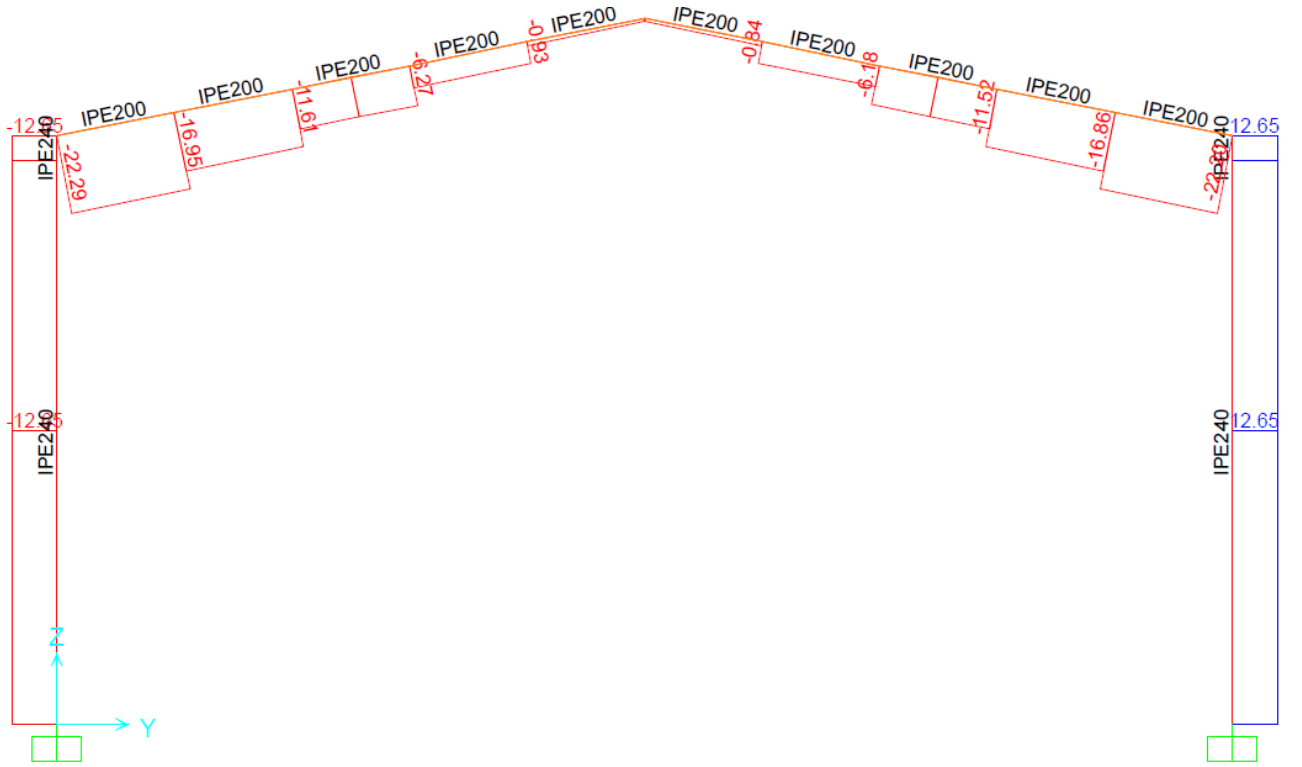


Şekil 2.14. LRFD, 1.25 G + 1.6 Q kombinasyonuna göre şekil değiştirme diyagramı.

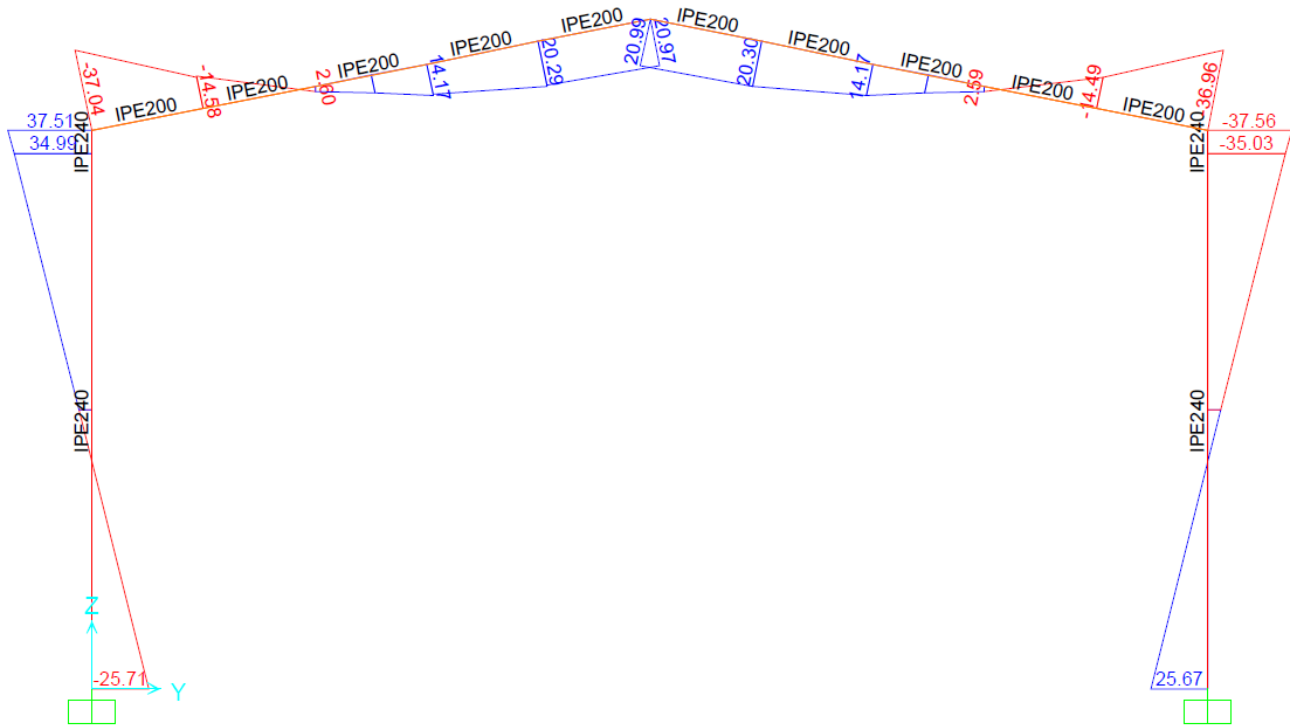
2.2.4.3. TS 648'e Göre Analiz Sonuçları



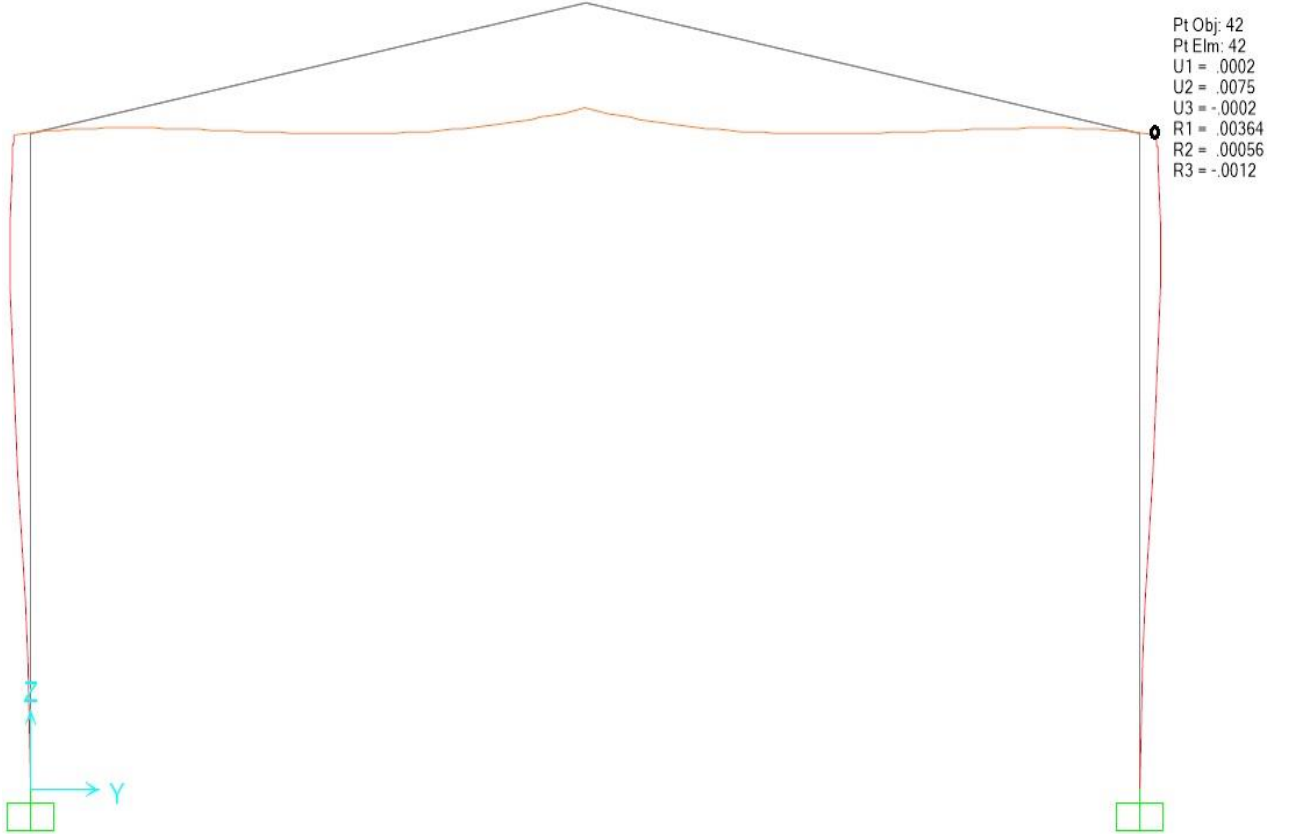
Şekil 2.15. TS 648, G + Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı.



Şekil 2.16. TS 648, G + Q kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı.



Şekil 2.17. TS 648, G + Q kombinasyonuna göre moment diyagramı.



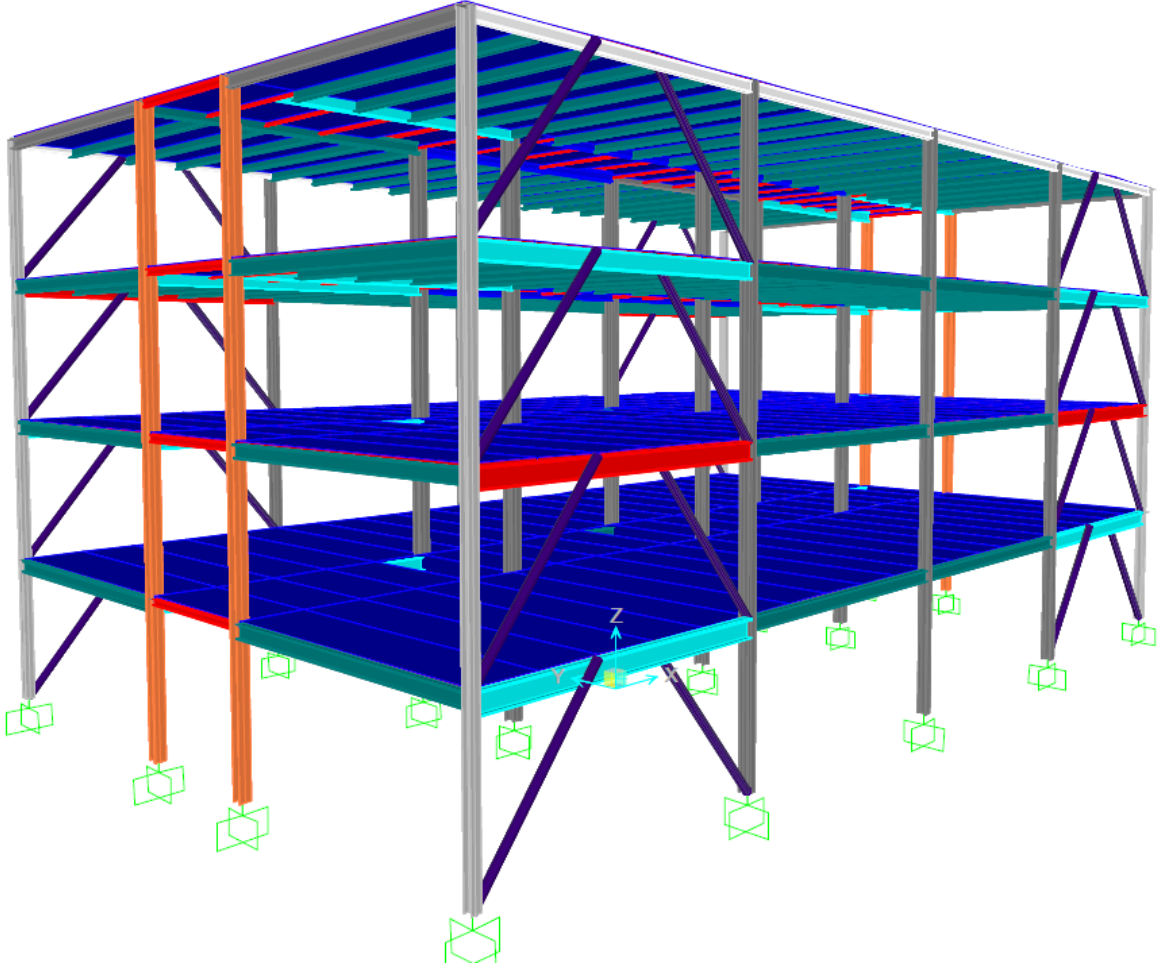
Şekil 2.18. TS 648, G + Q kombinasyonuna göre şekil değiştirme diyagramı.

Yapıya etkiyen yükler için yapılan hesaplarda, her bir yönetmelik ve standart için ayrı ayrı verilmiş kombinasyonlar kullanılmıştır. Bu yönetmelikler için yapılan boyutlandırmalarda ortaya çıkan en elverişsiz yüklemeler göz önüne alınarak, bu kombinasyonlara göre analiz sonuçları verilmiştir.

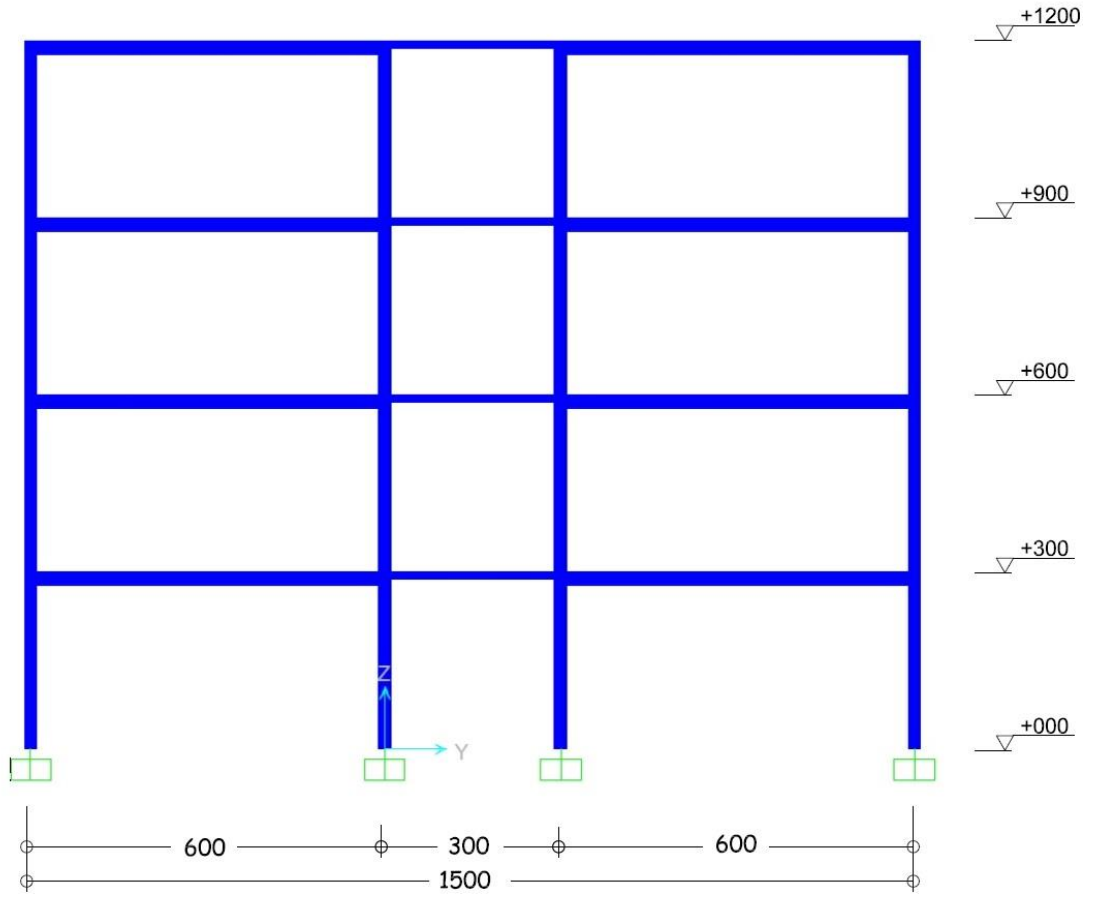
Yukarıda bahsedilen yük birleşimlerine ve yönetmeliklere göre verilen analiz sonuçları için, yine en elverişsiz kesit etkilerinin bulunduğu D aksı çerçevesi kullanılmıştır.

2.3. Çok Katlı Kiriş – Kolon Çerçeve Sistem

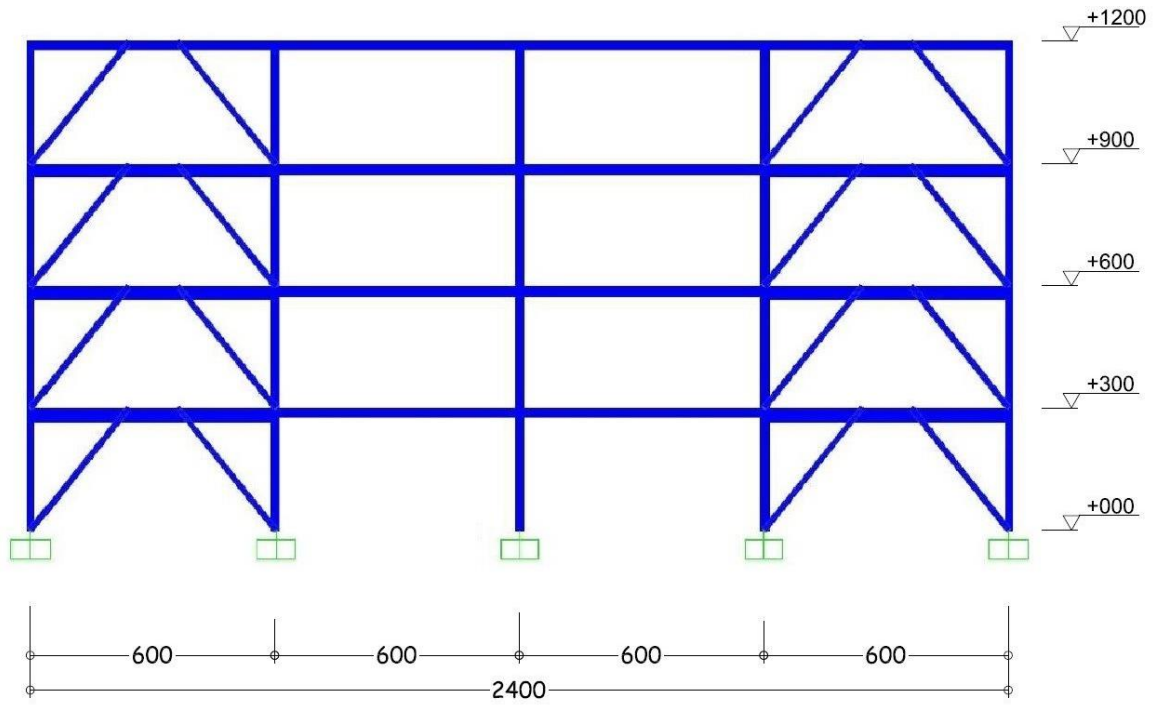
Bu bölümde 15 m genişliği, 24 m uzunluğu olan, 4 katlı bir çelik çerçeve çözülmüştür. Bina, x ekseninde 5 akstan (A, B, C, D, E), y ekseninde 3 akstan (1, 2, 3) meydana gelmektedir. X yönünde akslar arası mesafe eşit ve 6 m.'dir. Y yönünde ise iki adet 6 m.'lik ofis alanı için aks mesafesi ve aralarında koridor için 3 m.'lik aks mesafesi kullanılmıştır. Yapının uzun kenar doğrultusunda dış merkez çaprazları yerleştirilmiştir. Statik ve dinamik yükler altında analiz yapılmıştır.



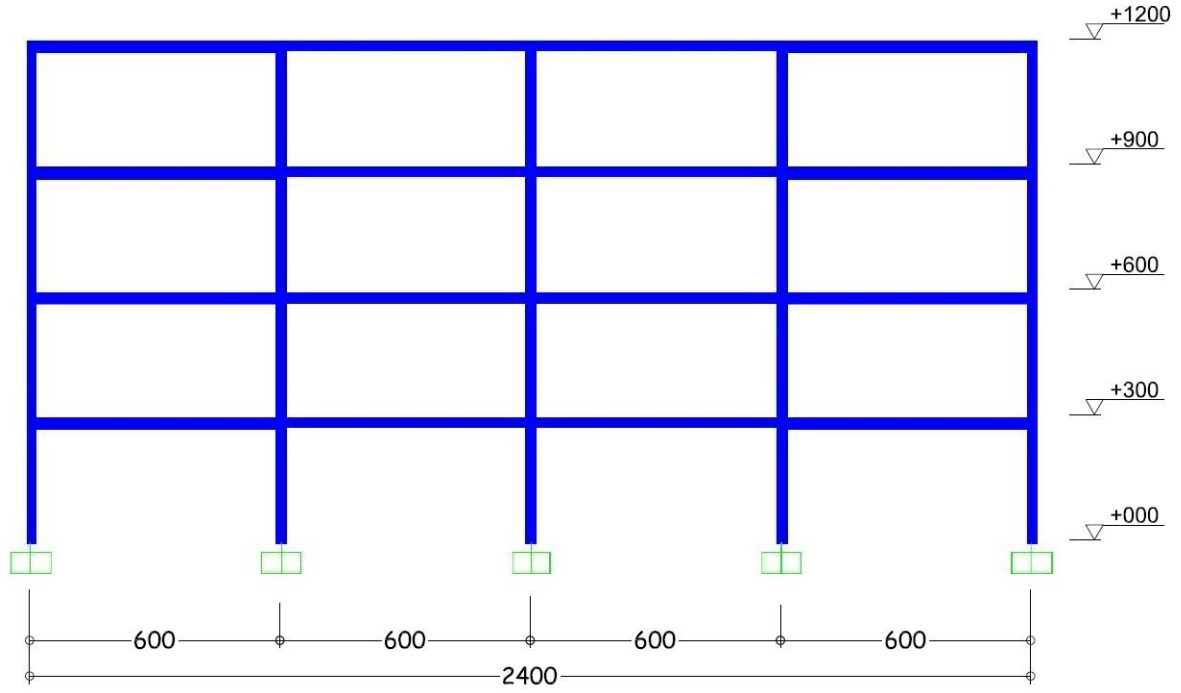
Şekil 2.19. Çok katlı yapının üç boyutlu görünüşü.



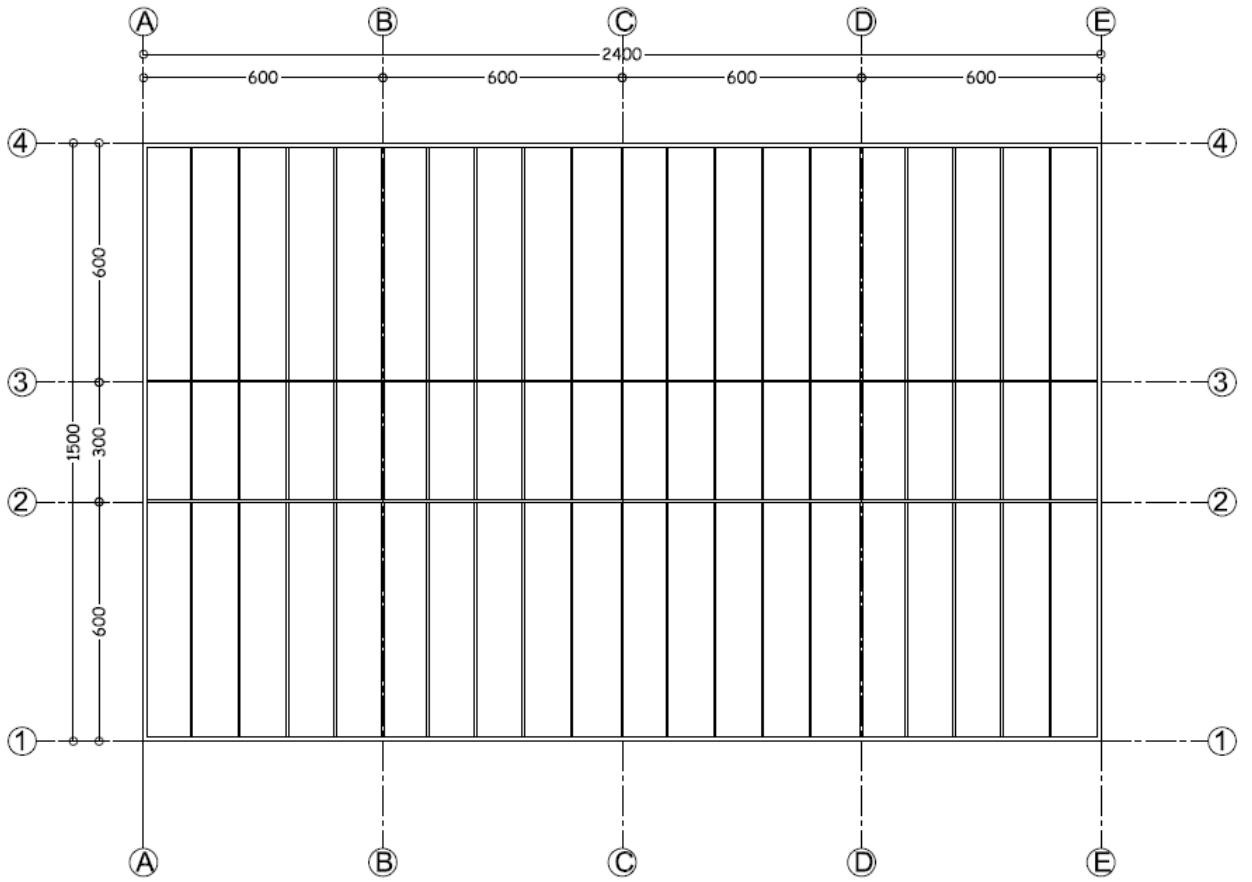
Şekil 2.20. Yapının Y doğrultusu A, B, C, D, E aksları ölçülendirilmiş kesit görünüşü.



Şekil 2.21. Yapının X doğrultusu 1, 4 aksları ölçülendirilmiş kesit görünüşü.



Şekil 2.22. Yapının X doğrultusu 2, 3 aksları ölçülandırılmış kesit görünüşü.



Şekil 2.23. Yapıdaki döşeme, nervür yerleşim gösterimi.

Yapıda döşeme sistemi olarak, 1.20 m aralıklarla teşkil edilen döşeme kirişlerinin üzerine, trapez sac ile betonarme kompozit döşeme bulunmaktadır. Döşeme nervür kirişleri çerçeve kirişlerine bağlanmaktadır. Kat düzlemi, betonarme döşeme, rijit bir diyaframı oluşturacak şekilde tasarlanmıştır.

2.3.1. Yük Durumları

2.3.1.1. Çatı Katı Yükleri

Kaplama (Karo)	0,25 kN/m ²
Kaplama Harcı	0,44 kN/m ²
Koruma ve Eğim Betonu (50 mm)	1,10 kN/m ²
Yalıtım	0,05 kN/m ²
Betonarme Döşeme	3,75 kN/m ²
Trapez Sac	0,15 kN/m ²
<u>Asma Tavan</u>	<u>0,10 kN/m²</u>
Toplam	5,84 kN/m ²

2.3.1.2. Ara Kat Yükleri

Kaplama (Karo)	0,25 kN/m ²
Kaplama Harcı	0,44 kN/m ²
Betonarme Döşeme	3,75 kN/m ²
Trapez Sac	0,15 kN/m ²
Asma Tavan	0,10 kN/m ²
<u>Bölme Duvar</u>	<u>1,00 kN/m²</u>
Toplam	5,69 kN/m ²

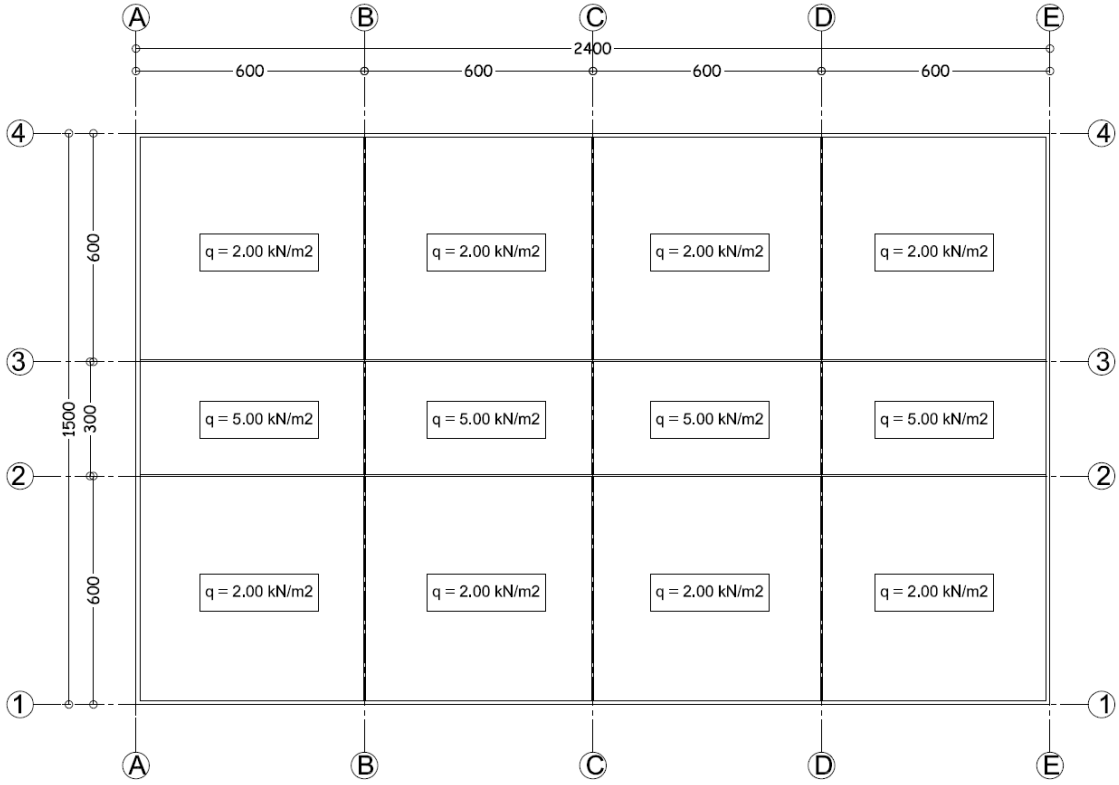
2.3.1.3. Cephe Zati Yükleri

Giydirme Cephe	1,10 kN/m ²
----------------	------------------------

2.3.1.4. Hareketli Yükler

TS 498 yönetmeliğine göre büro yapılarında aşağıdaki yükler dikkate alınmıştır.

Koridorlarda	5,00 kN/m ²
Odalarda	2,00 kN/m ²
Çatılarda	2,00 kN/m ²



Şekil 2.24. Yapıdaki döşeme hareketli yüklerinin gösterimi.

2.3.1.5. Kar Yükleri

TS 498 yönetmeliğine göre, Ankara II. Derece kar yükü bölgesinde yer almaktadır.

$$P_k = m \times P_{k0}, \quad \alpha = 0, \quad m = 1, \quad \text{Rakım} = 870 \text{ m} \quad (2.192)$$

$$P_{k0} = 0,85 \text{ kN/m}^2, \quad P_k = 1 \times 0,85 = 0,85 \text{ kN/m}^2, \quad (2.193)$$

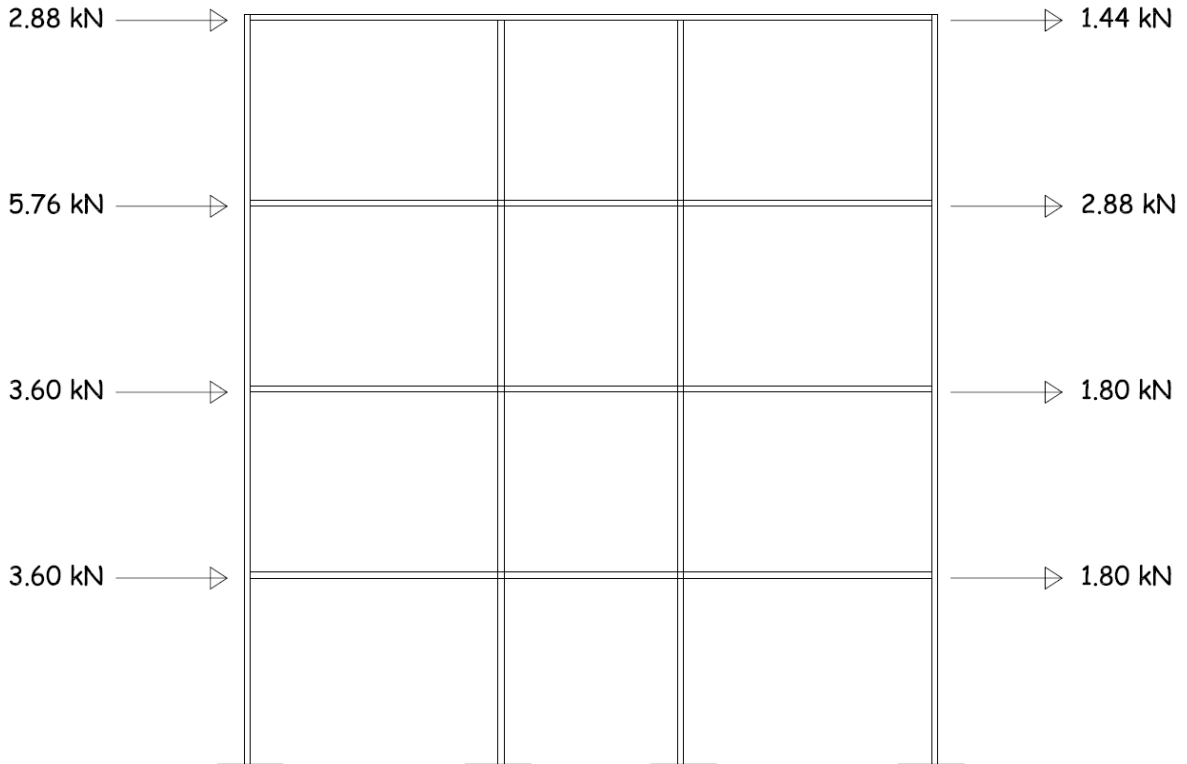
2.3.1.6. Rüzgâr Yükleri

TS 498 yönetmeliğine göre, aşağıdaki değerler alınmıştır.

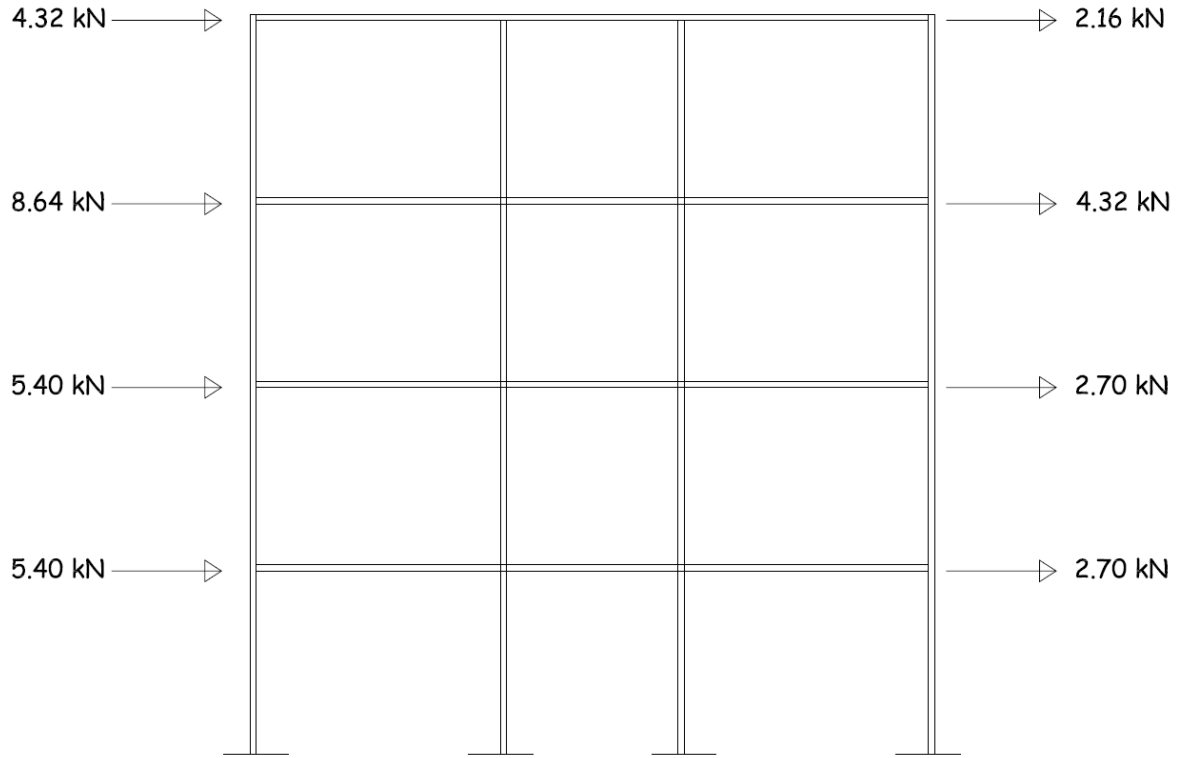
$$w = C_p \times q \quad (2.194)$$

Tablo 2.2. Yüksekliğe göre rüzgar basınç kuvvetleri, TS498.

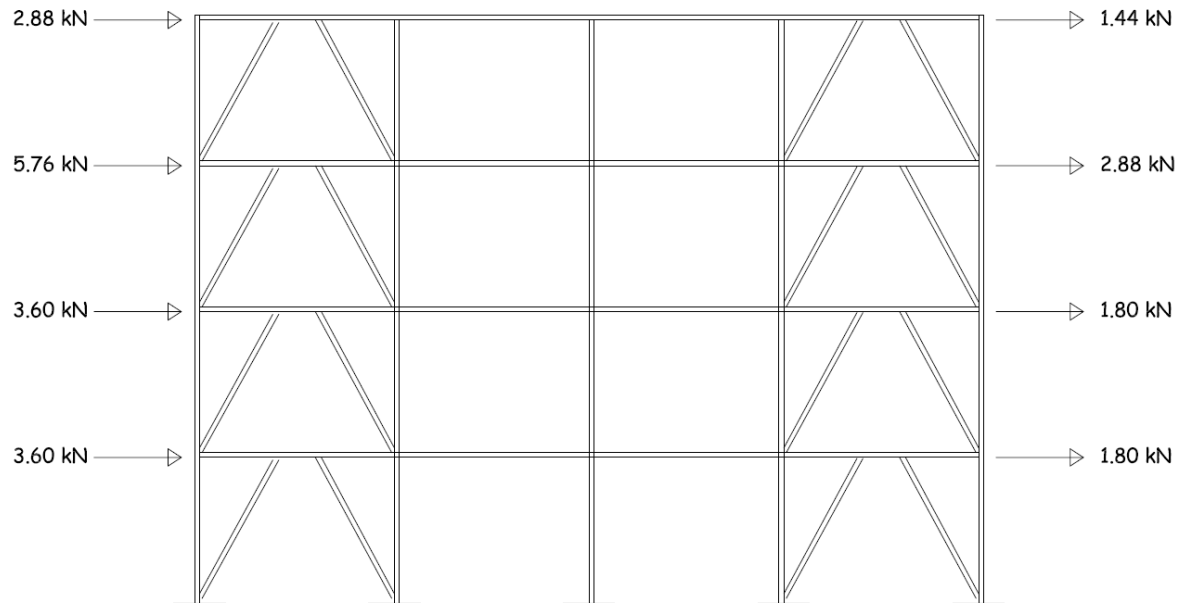
Zeminden Yükseklik m	Rüzgar Hızı v m/s	Emme q (kN/m ²)
0 - 8	28	0,5
9 - 20	36	0,8
21 - 100	42	1,1
> 100	46	1,3



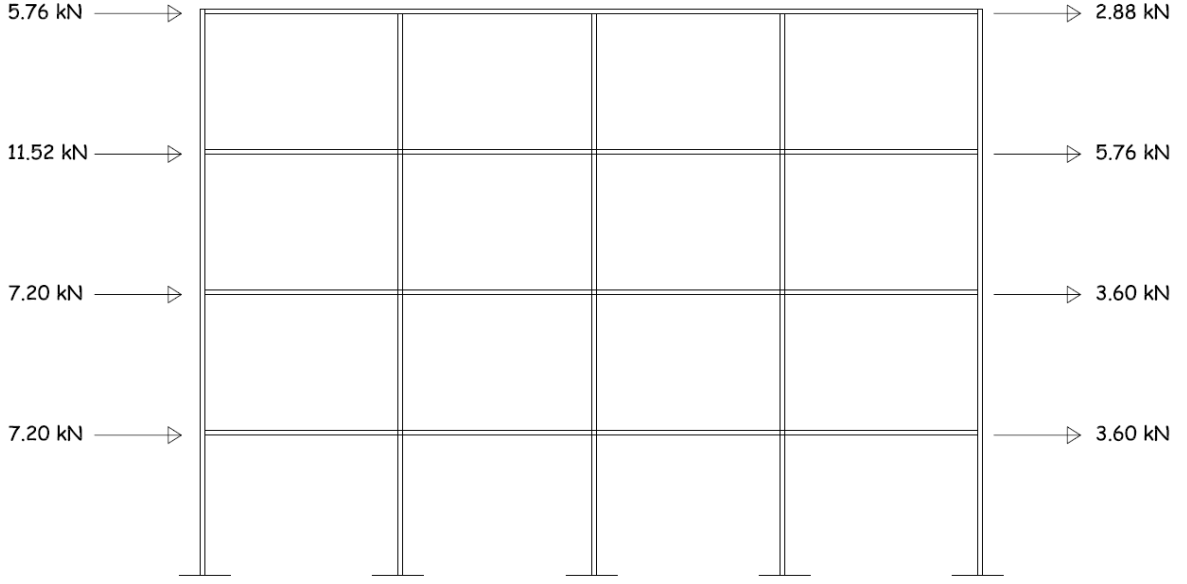
Şekil 2.25. Yapıya 1 ve 4 aksı X doğrultusunda rüzgâr yüklemesi.



Şekil 2.26. Yapıya 2 ve 3 aksı X doğrultusunda rüzgâr yüklemesi.



Şekil 2.27. Yapıya A ve E aksı Y doğrultusunda rüzgâr yüklemesi.



Şekil 2.28. Yapıya B, C ve D aksı Y doğrultusunda rüzgâr yüklemesi.

2.3.1.7. Deprem Parametreleri

Deprem Bölgesi	: 3. Derece
Yerel Zemin Sınıfı	: Z3
Spektrum Karakteristik Periyodu (T_A)	: 0.15
Spektrum Karakteristik Periyodu (T_B)	: 0.60
Bina Önem Katsayısı (I)	: 1.00
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	: 0.40
X Yönündeki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R_x)	: 8
Y Yönündeki Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R_y)	: 8
Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	: 0,30

$$S_p a(T_r) = [A(T_r) \times g] / [R_a(T_r)] \quad (2.195)$$

$$A(T_r) = A_0 \times I \times S(T) \quad (2.196)$$

$$S(T) = 1 + 1.5 (T / T_A) \quad [0 \leq T \leq T_A] \quad (2.197)$$

$$S(T) = 2.5 \quad [T_A \leq T \leq T_B] \quad (2.198)$$

$$S(T) = 2.5 \times (T_B / T)^{0.8} \quad [T > T_B] \quad (2.199)$$

$$R_a(T) = 1.5 + [(R - 1.5) \times T] / T_A \quad [0 \leq T \leq T_A] \quad (2.200)$$

$$R_a(T) = R \quad [T > T_A] \quad (2.201)$$

$$S_{pa}(T_r) = (A_0 \times I \times S(T) \times g) / A_0 \times I \times S(T) \quad (2.202)$$

$$= 0.2 \times 1 \times [S(T) / R(T)] \times 10 \quad (2.203)$$

$$= 2 \times [S(T) / R(T)] \quad (2.204)$$

Deprem yükleri, bu veriler tanımlanarak Sap2000 programı yardımıyla hesaplanmıştır.

Tablo 2.3. DBYBHY 2007, hareketli yük katılım katsayıları.

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

2.3.2. Yük Durumları ve Kombinasyonları

2.3.2.1. Yük Durumları

Yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerin, Eurocode, TS 648 ve LRFD için yapılan hesapta kullanılan kombinasyonların kısaltmaları ve açıklamaları aşağıdaki gibidir.

G	: Sabit Yükler
Q	: Hareketli Yükler
EXP	: Pozitif Durumda, +X yönü deprem yüklemesi
EXN	: Negatif Durumda, +X yönü deprem yüklemesi
EYP	: Pozitif Durumda, +Y yönü deprem yüklemesi

EYN	: Negatif Durumda, +Y yönü deprem yüklemesi
WXP	: + X Yönü Rüzgar yüklemesi
WXN	: - X Yönü Rüzgar yüklemesi
WYP	: + Y Yönü Rüzgar yüklemesi
WYN	: - Y Yönü Rüzgar yüklemesi

2.3.2.2. Yapı Analizi ve Boyutlandırması İçin Yük Kombinasyonları

2.3.2.2.1. TS 648'e Göre Yük Kombinasyonları

1.0 G + 1.0 Q
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EX + 0.3 EY
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EX - 0.3 EY
 1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EX + 0.3 EY
 1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EY - 0.3 EX
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EY + 0.3 EX
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EY - 0.3 EX
 1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EY + 0.3 EX
 1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EY - 0.3 EX
 1.0 G + 1.0 EY + 0.3 EX
 1.0 G + 1.0 EY - 0.3 EX
 1.0 G - 1.0 EY + 0.3 EX
 1.0 G - 1.0 EY - 0.3 EX
 0.9 G + 1.0 EX + 0.3 EY
 0.9 G + 1.0 EX - 0.3 EY
 0.9 G - 1.0 EX + 0.3 EY
 0.9 G - 1.0 EX - 0.3 EY
 0.9 G + 1.0 EX + 0.3 EY
 0.9 G + 1.0 EX - 0.3 EY
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 WXP
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 WXN
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 WYP
 1.0 G + 1.0 Q + 1.0 WYN

2.3.2.2.2. Eurocode 3'e Göre Yük Kombinasyonları

1.35G+1.5Q

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EXP + 0.3 EYP

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EXN + 0.3 EYN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EXP + 0.3 EYN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EXN + 0.3 EYN

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYP + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYP + 0.3 EXN

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYN + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q + 1.0 EYN + 0.3 EXN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYP + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYP + 0.3 EXN

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYN + 0.3 EXP

1.0 G + 1.0 Q - 1.0 EYN + 0.3 EXN

0.9 G + 1.0 EXP + 0.3 EYP

0.9 G + 1.0 EXN + 0.3 EYP

0.9 G - 1.0 EXP + 0.3 EYP

0.9 G - 1.0 EXN + 0.3 EYP

0.9 G + 1.0 EYP + 0.3 EXP

0.9 G + 1.0 EYN + 0.3 EXP

0.9 G - 1.0 EYP + 0.3 EXP

0.9 G - 1.0 EYN + 0.3 EXP

1.35 G + 1.35 Q + 1.35WX

1.35 G + 1.35 Q - 1.35WX

1.35 G + 1.35 Q + 1.35WY

1.35 G + 1.35 Q - 1.35WY

1.35 G + 1.5 WX

1.35 G - 1.5 WX

1.35 G + 1.5 WY

1.35 G - 1.5 WY

2.3.2.2.3. LRFD'ye Göre Yük Kombinasyonları

1.4 G

0.9 G + 1.6 WXP

1.2 G + 0.2 Q + 1.0 EYN + 0.3 EXP

1.20 G + 0.5 Q

0.9 G + 1.6 WXN

1.2 G + 0.2 Q + 1.0 EYN + 0.3 EXN

1.20 G + 1.6 Q + 0.8 WXP

0.9 G + 1.6 WYP

0.9 G + 1.0 EXP + 0.3 EYP

1.20 G + 1.6 Q + 0.8 WXN

0.9 G + 1.6 WYN

0.9 G + 1.0 EXP + 0.3 EYN

1.20 G + 1.6Q + 0.8 WYP

1.20 G + 0.2 Q + 1.0 EXP + 0.3 EYP

0.9 G + 1.0 EXN + 0.3 EYP

1.20 G + 1.6 Q + 0.8 WYN

1.20 G + 0.2 Q + 1.0 EXP + 0.3 EYN

0.9 G + 1.0 EXN + 0.3 EYN

1.20 G + 0.5 Q + 1.6 WXP

1.20 G + 0.2 Q + 1.0 EXN + 0.3 EYP

0.9 G + 1.0 EYP + 0.3 EXP

1.20 G + 0.5 Q + 1.6 WXN

1.20 G + 0.2 Q + 1.0 EXN + 0.3 EYN

0.9 G + 1.0 EYP + 0.3 EXN

1.20 G + 0.5 Q + 1.6 WYP

1.20 G + 0.2 Q + 1.0 EYP + 0.3 EXP

0.9 G + 1.0 EYN + 0.3 EXP

1.20 G + 0.5 Q + 1.6 WYN

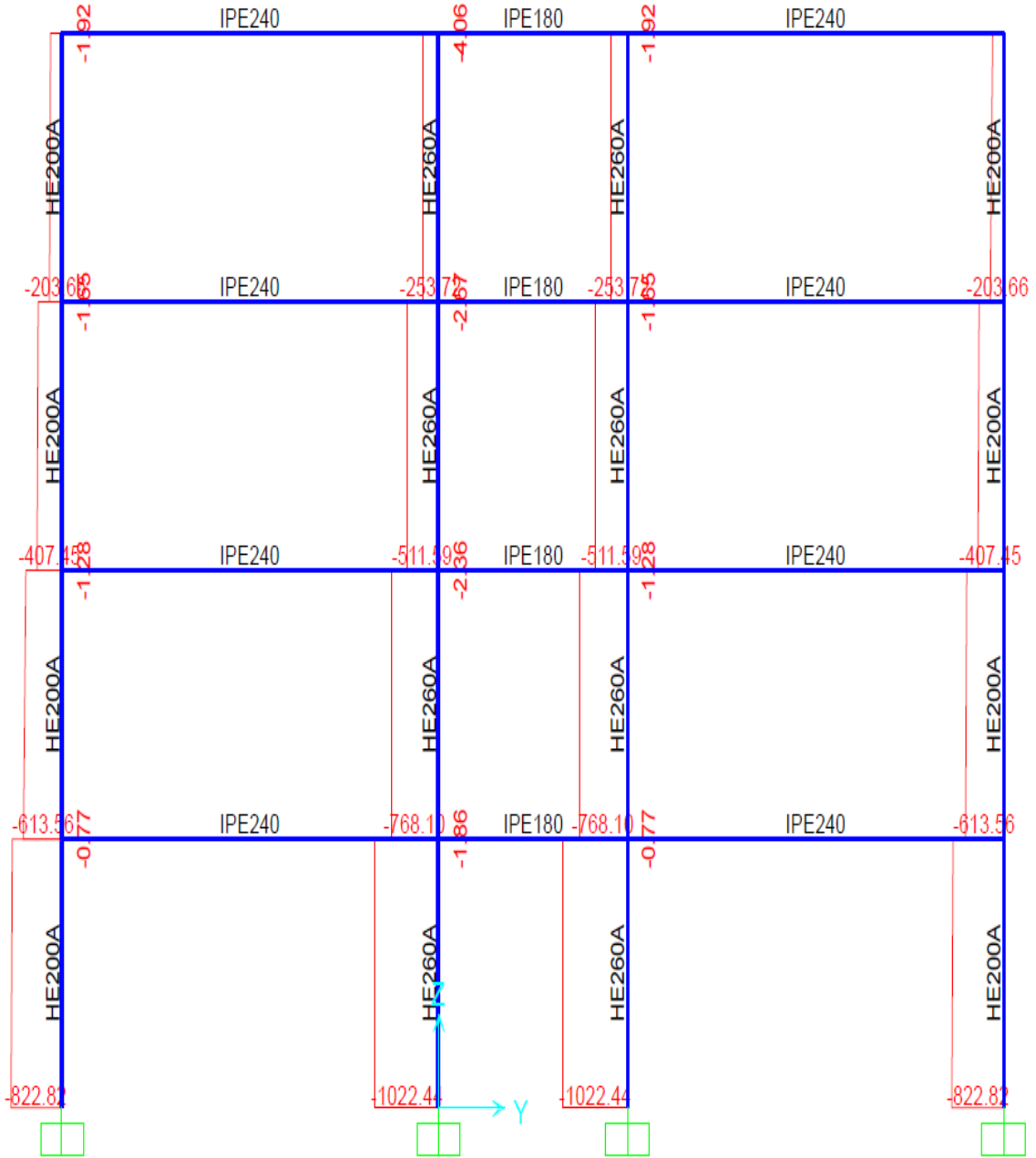
1.20 G + 0.2 Q + 1.0 EYP + 0.3 EXN

0.9 G + 1.0 EYN + 0.3 EXN

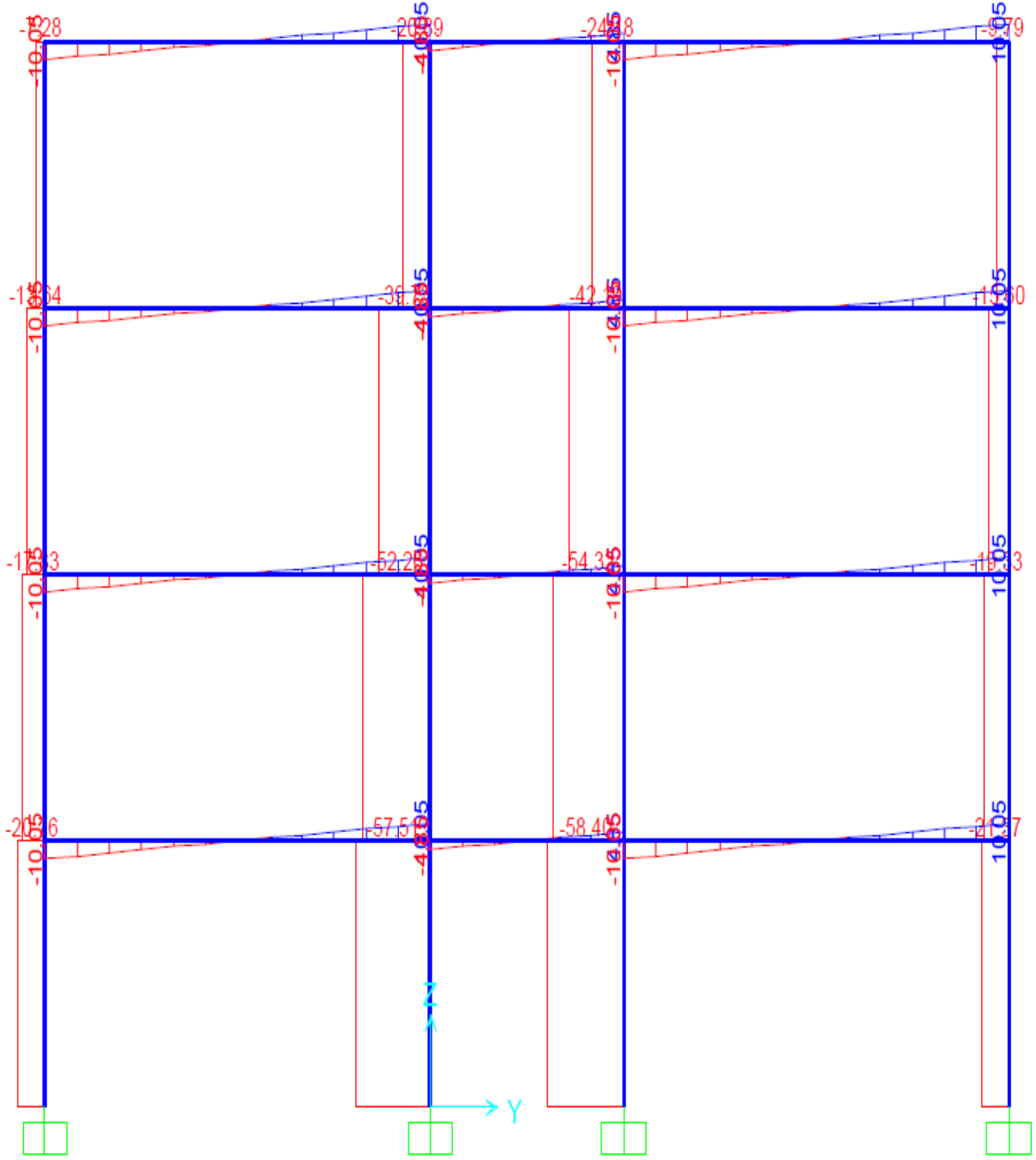
2.3.3. Analiz Sonuçları

Yapıya etkiyen yatay ve düşey yüklerin, Eurocode, TS 648 ve LRFD için yapılan hesapta kullanılan kombinasyonları kullanılarak SAP2000 programı ile yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

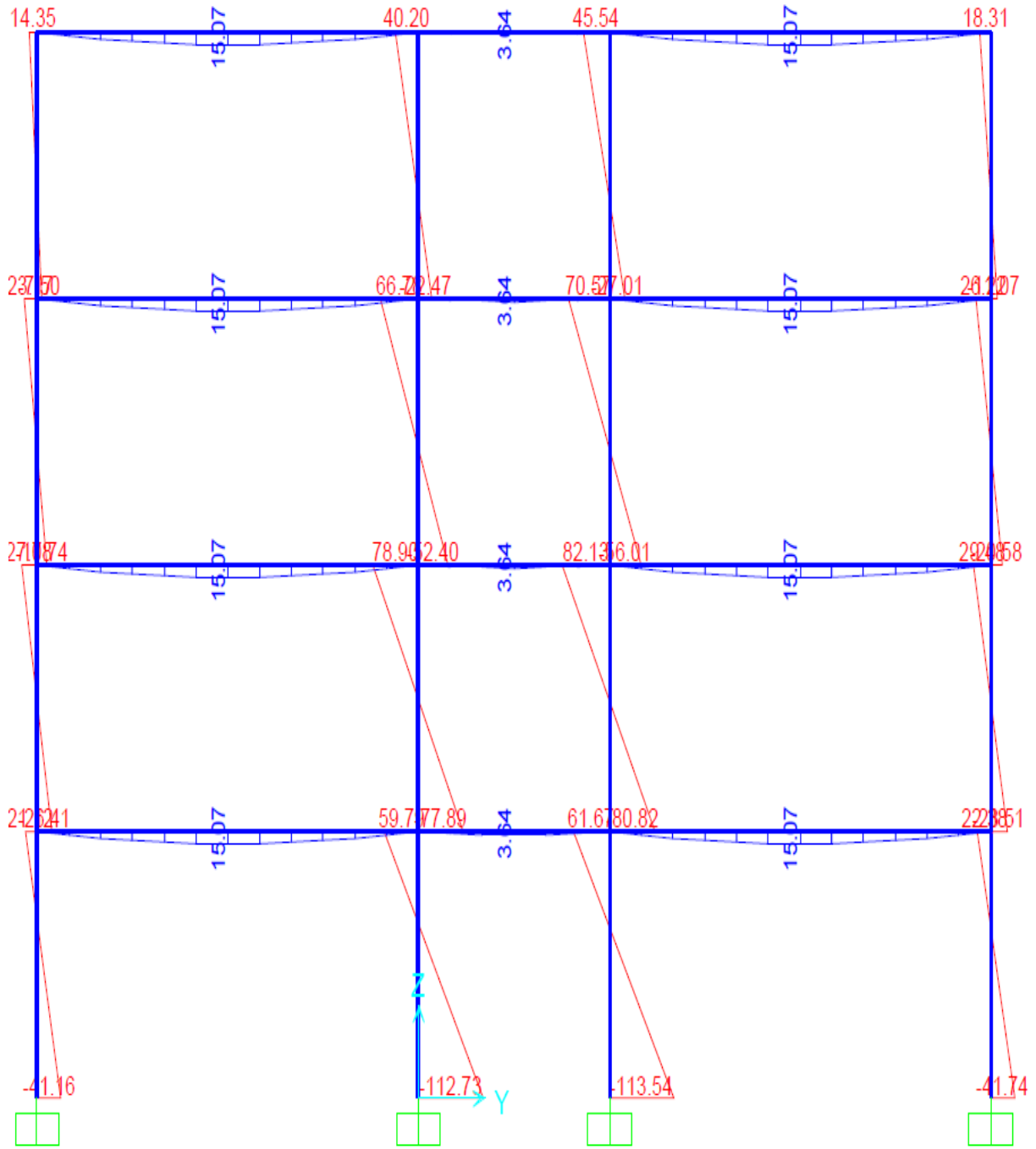
2.3.3.1. Eurocode 3'e Göre Analiz Sonuçları



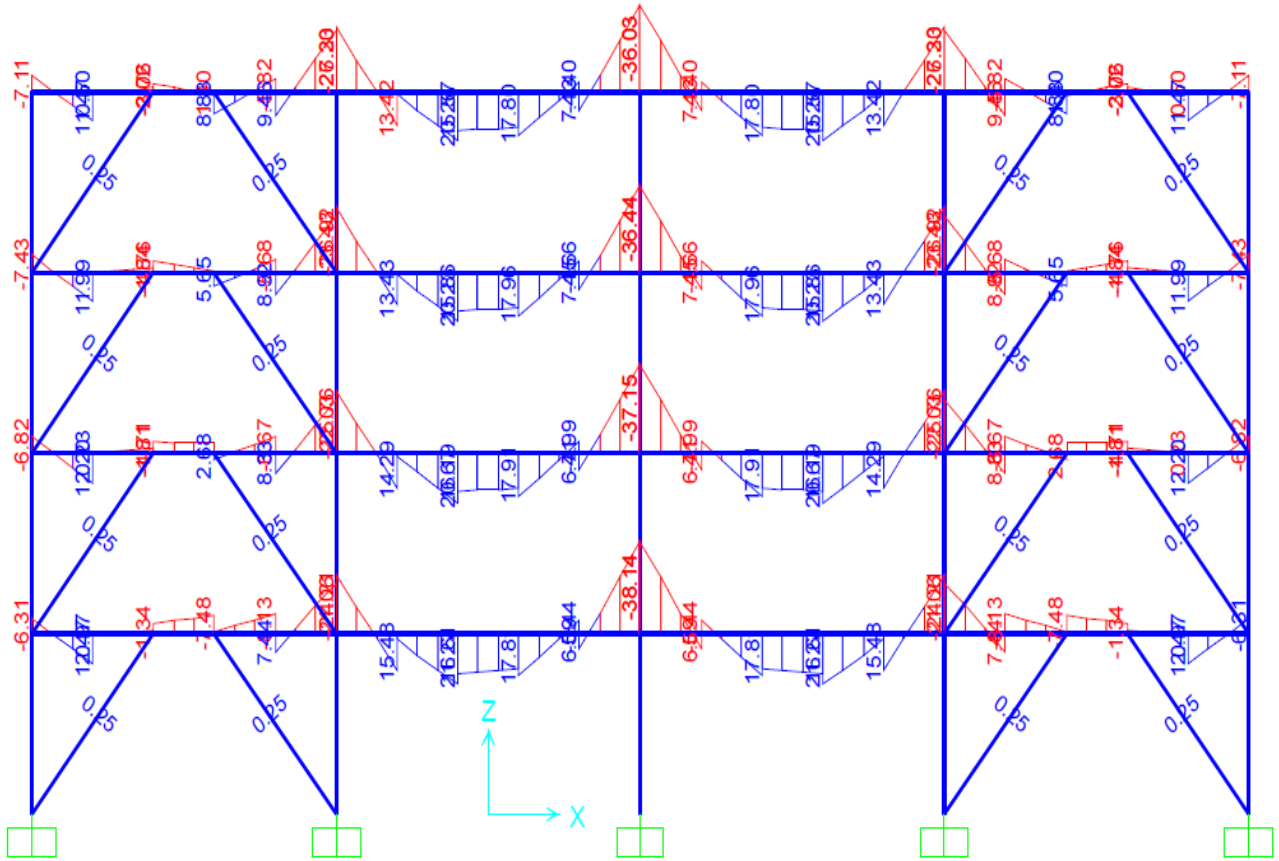
Şekil 2.29. Eurocode, 1.35G + 1.5 Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı.



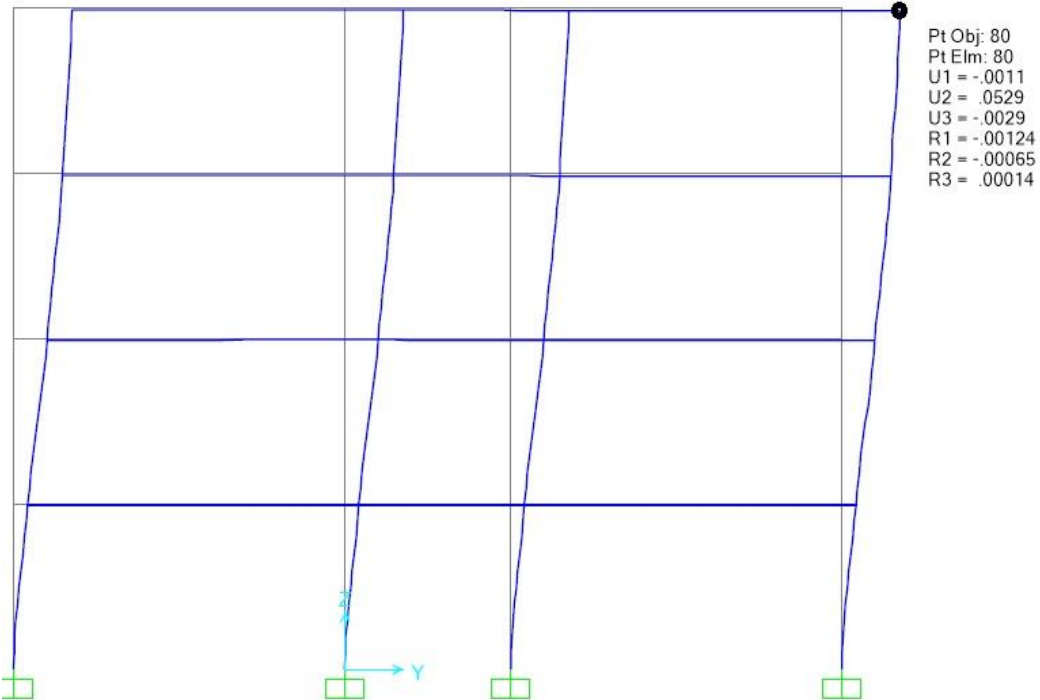
Şekil 2.30. Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı.



Şekil 2.31. Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre moment diyagramı.

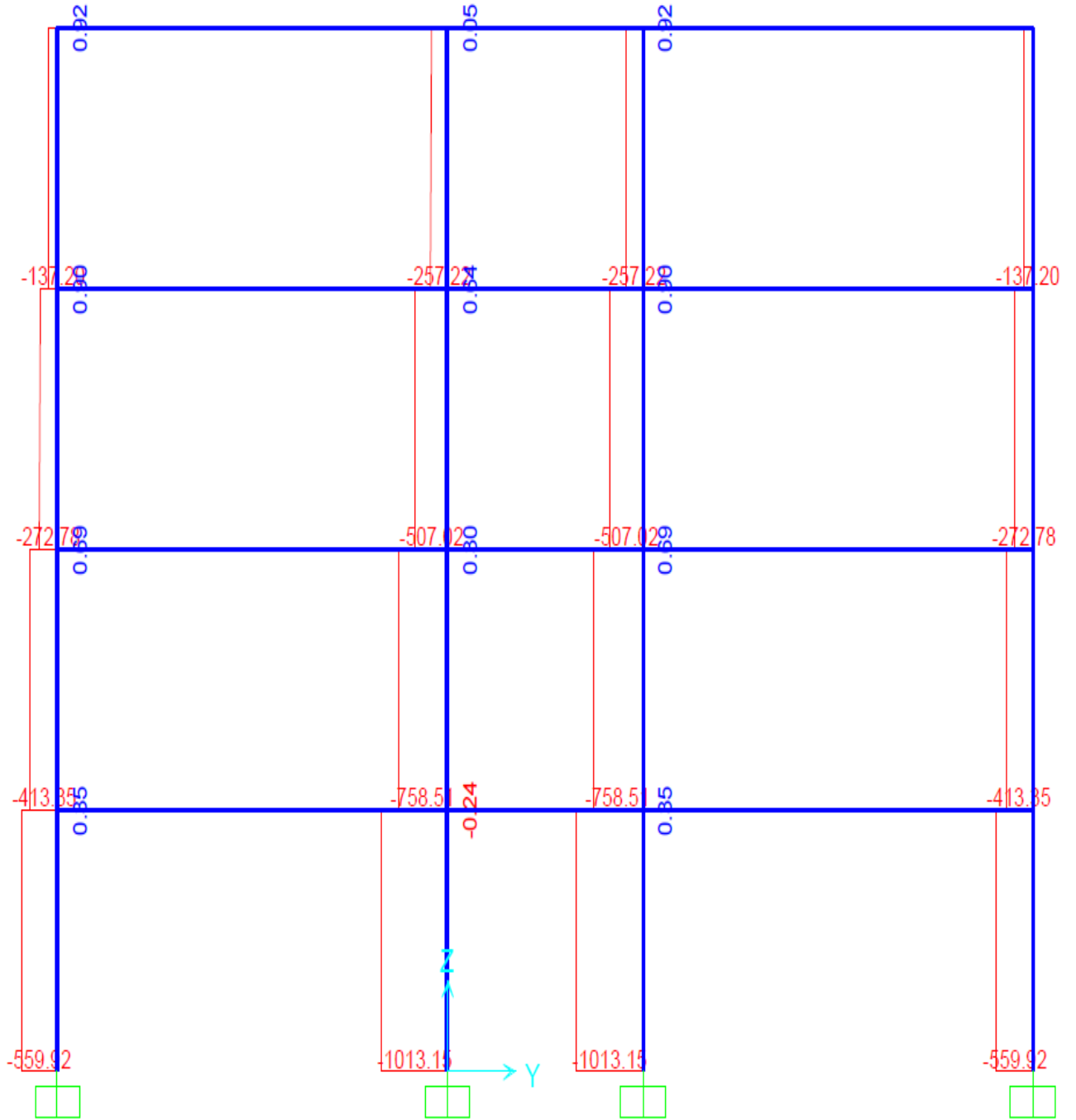


Şekil 2.32. Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre moment diyagramı.

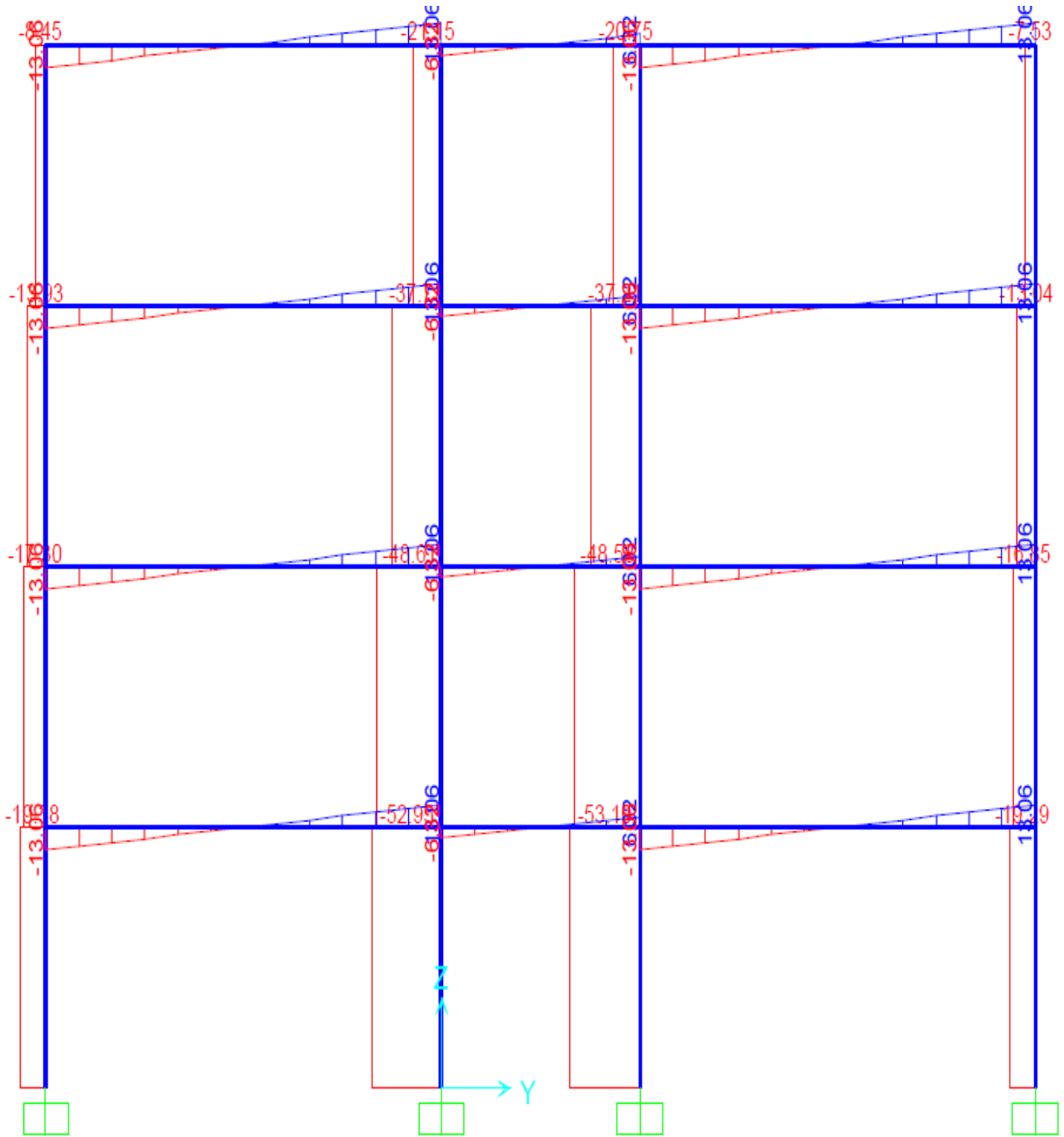


Şekil 2.33. Eurocode, G+Q+EYN+0.3EXP kombinasyonuna göre deplasman gösterimi.

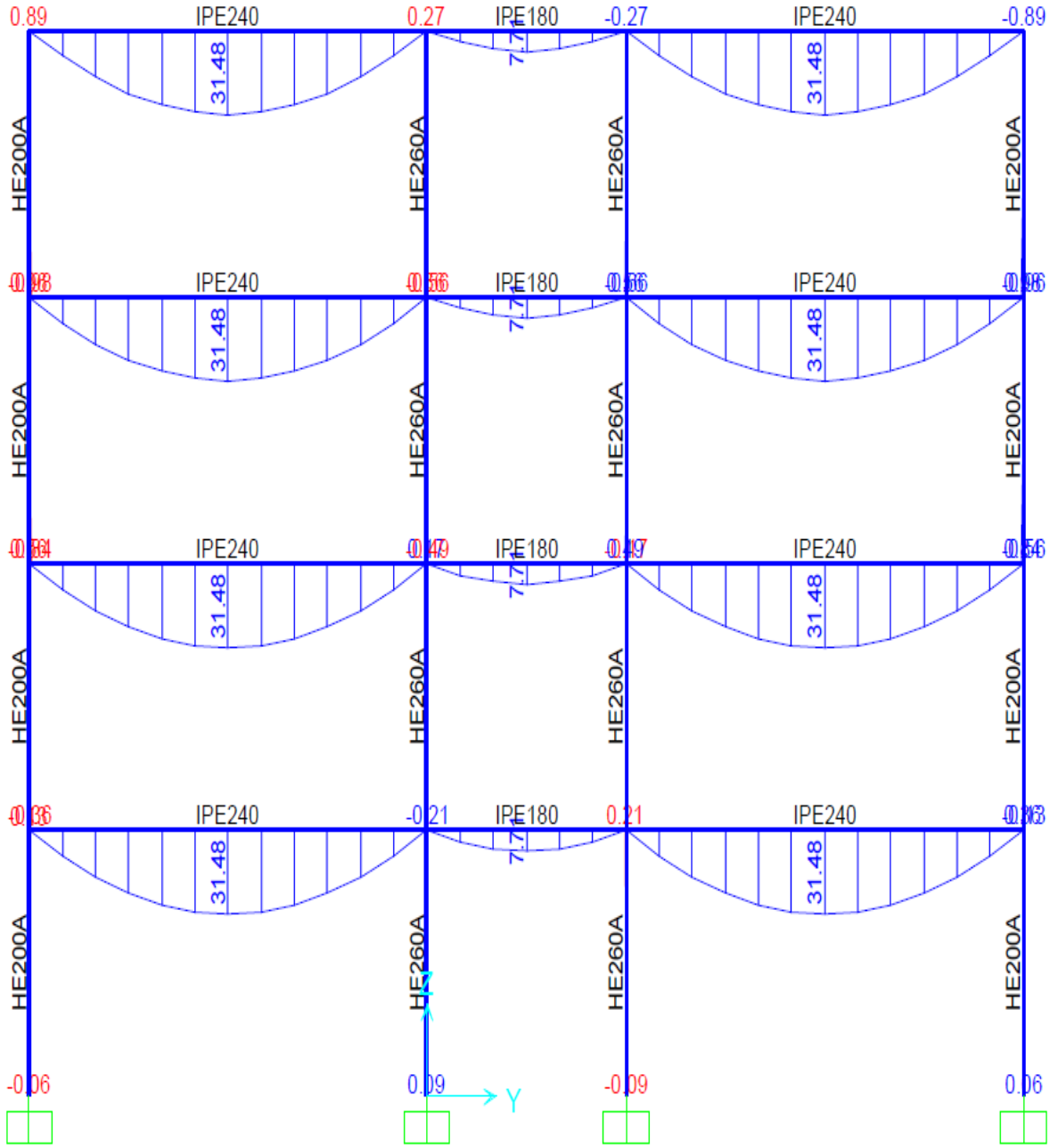
2.3.3.2. LRFD'ye Göre Analiz Sonuçları



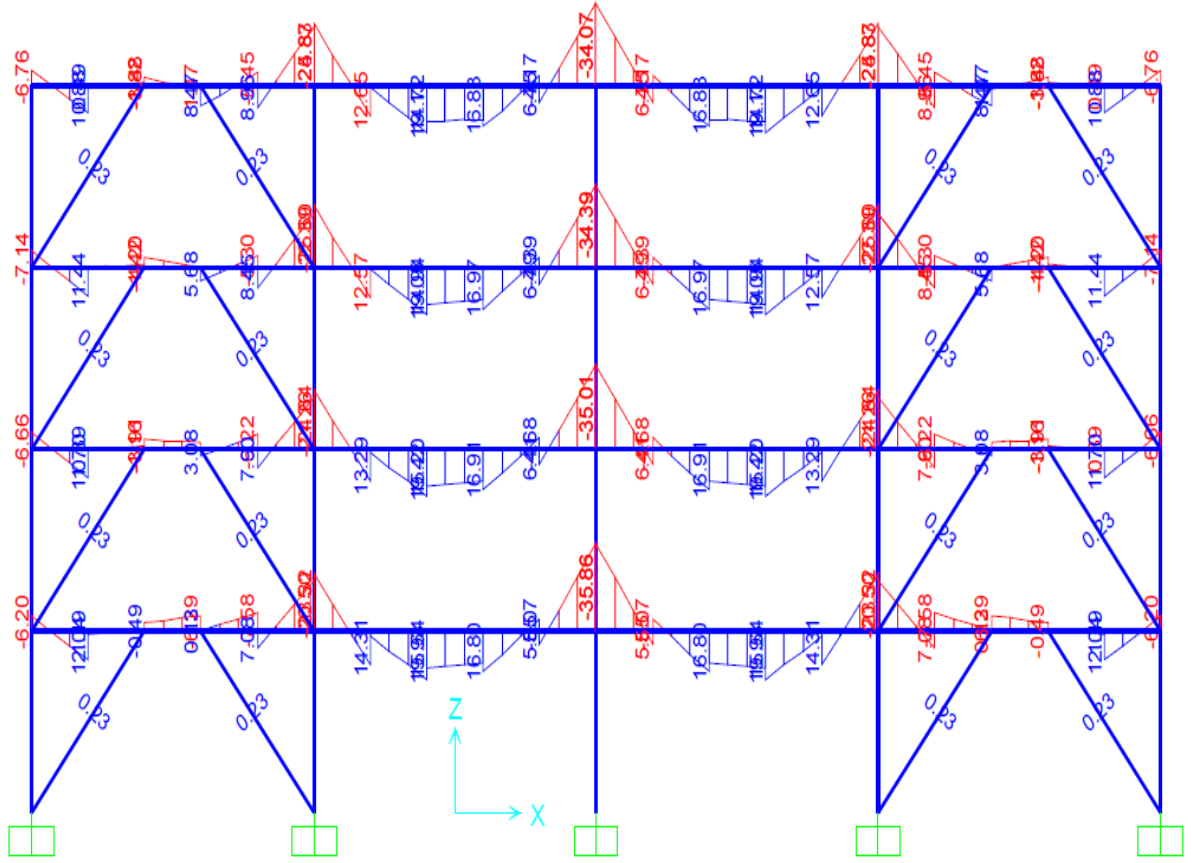
Şekil 2.34. LRFD, 1.2G+1.6Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı.



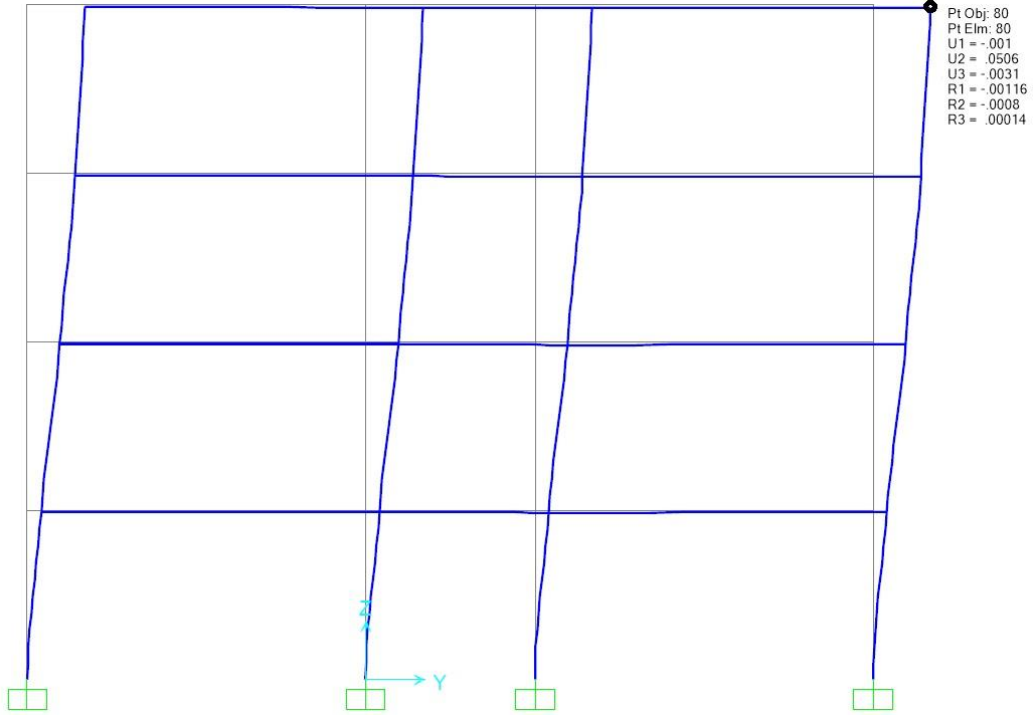
Şekil 2.35. LRFD, 1.2G+Q+EXN+0.3EYP kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı.



Şekil 2.36. LRFD, 1.2G+1.6Q kombinasyonuna göre moment diyagramı.

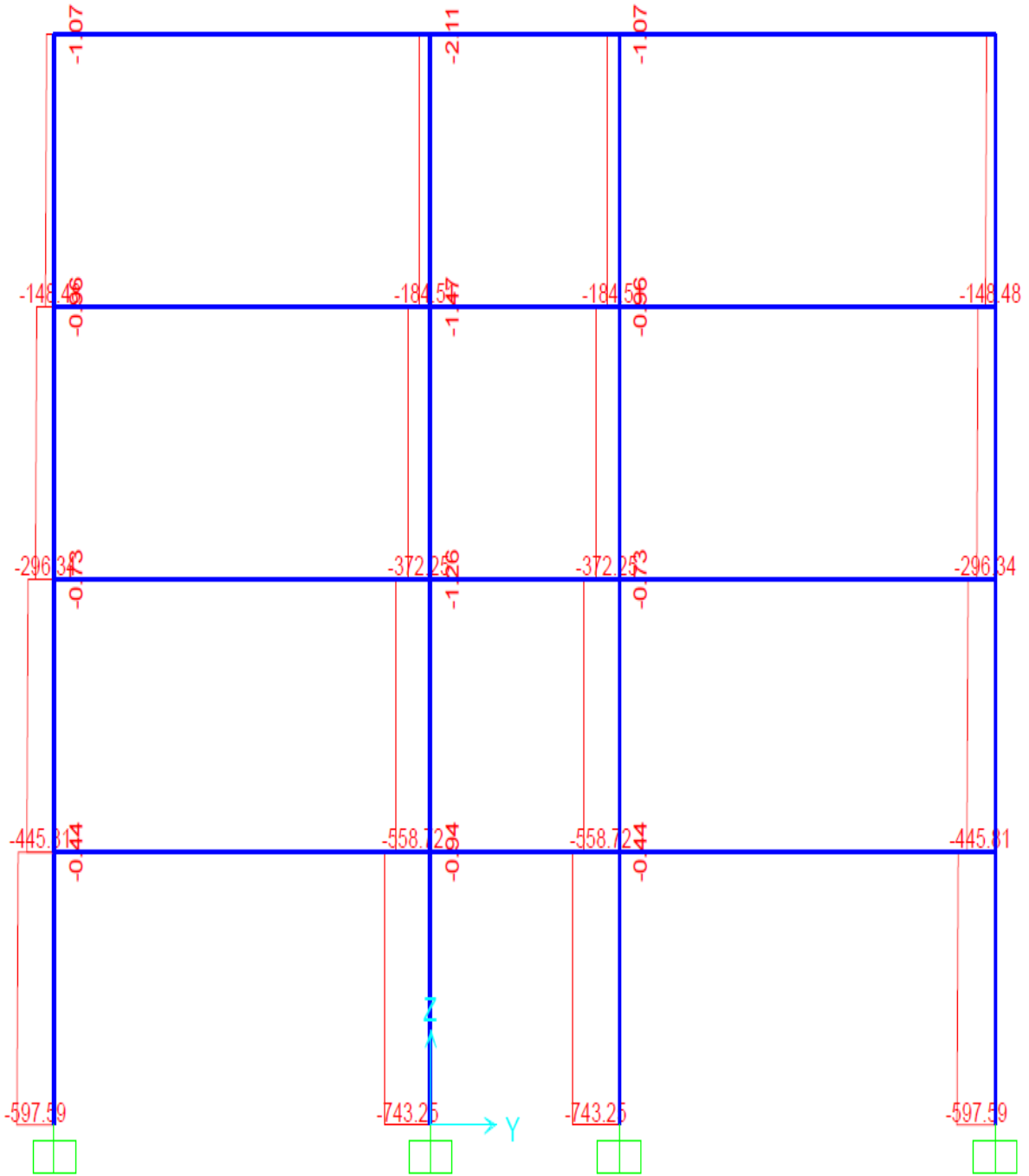


Şekil 2.37. LRFD, 1.2G+Q+EXN+0.3EYP kombinasyonuna göre moment diyagramı.

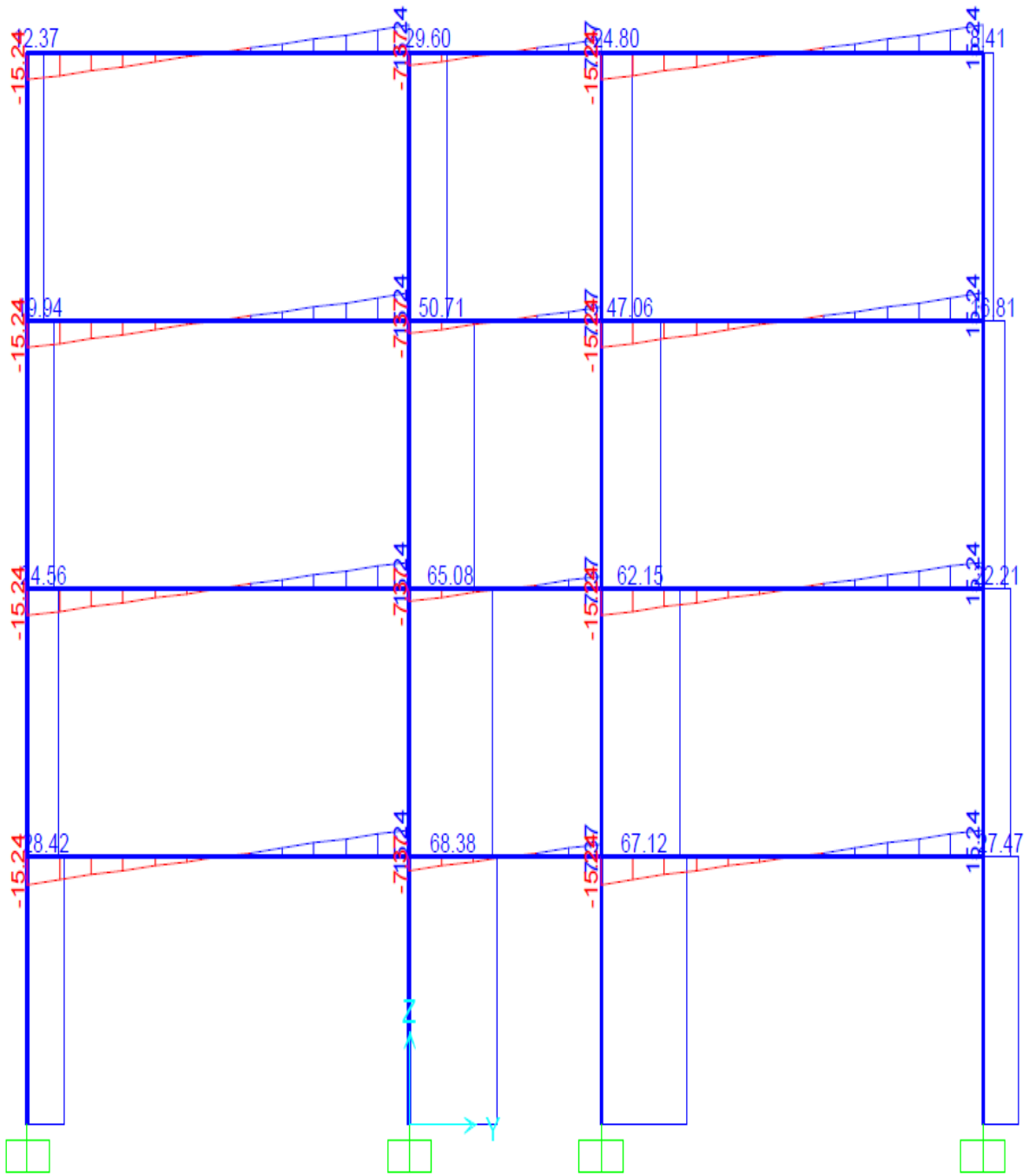


Şekil 2.38. LRFD, 1.2G+Q+EXN+0.3EYP kombinasyonuna göre deplasman gösterimi.

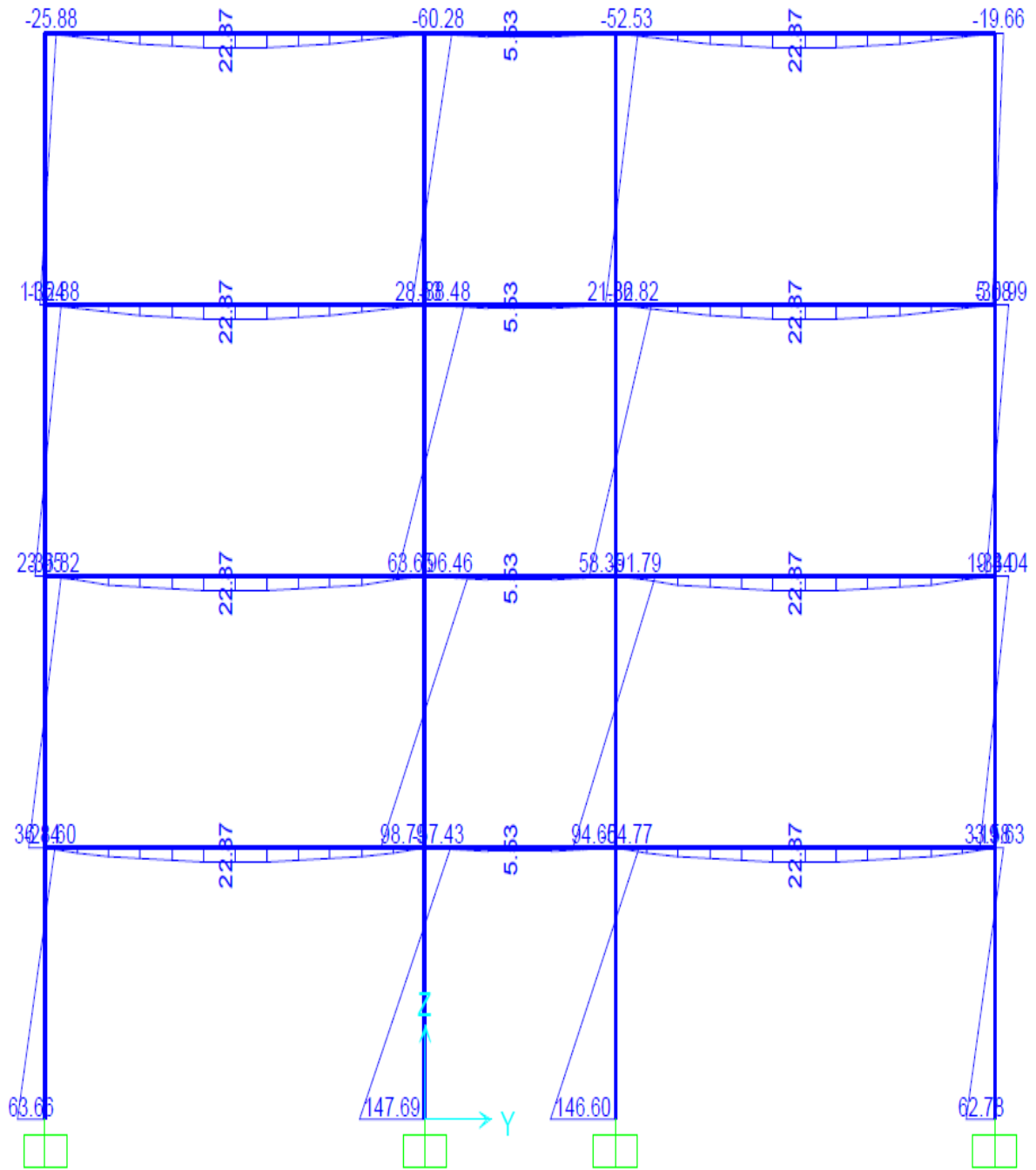
2.3.3.3. TS 648'e Göre Analiz Sonuçları



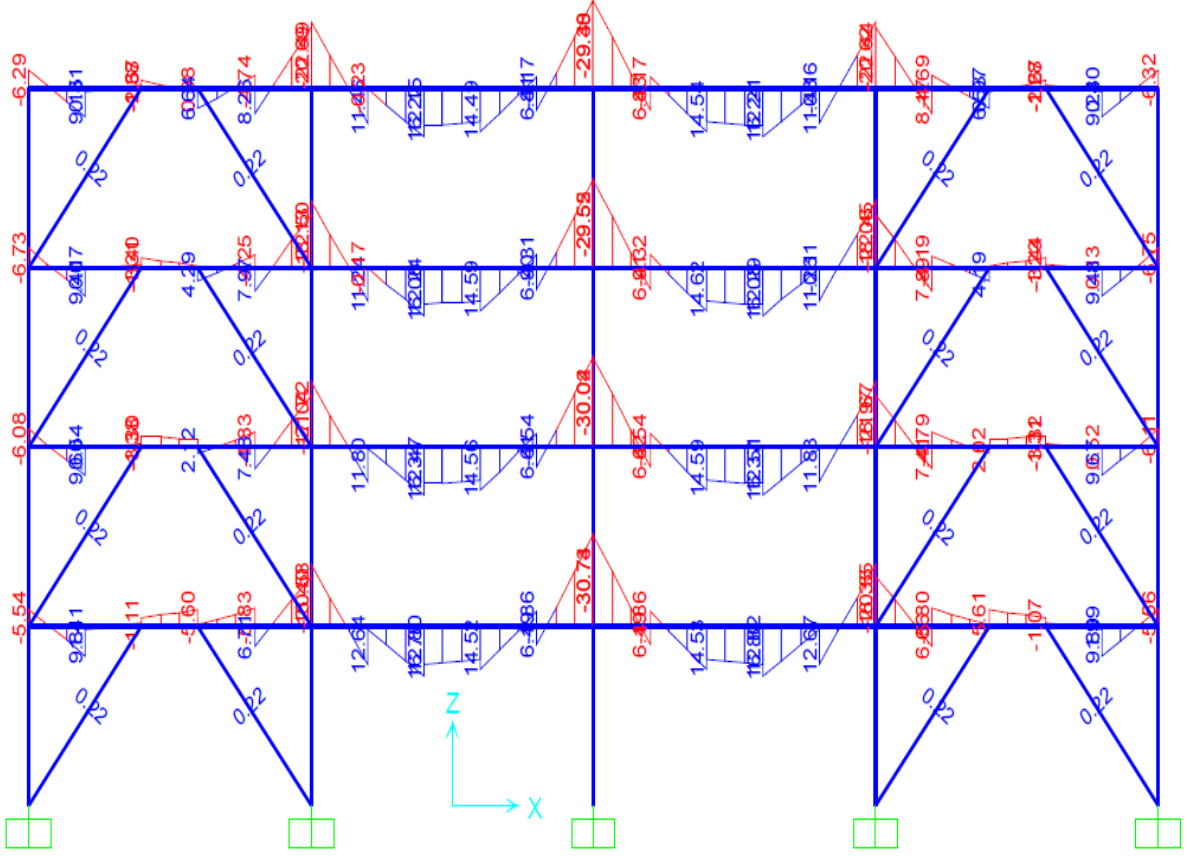
Şekil 2.39. TS 648, G+Q kombinasyonuna göre normal kuvvet diyagramı.



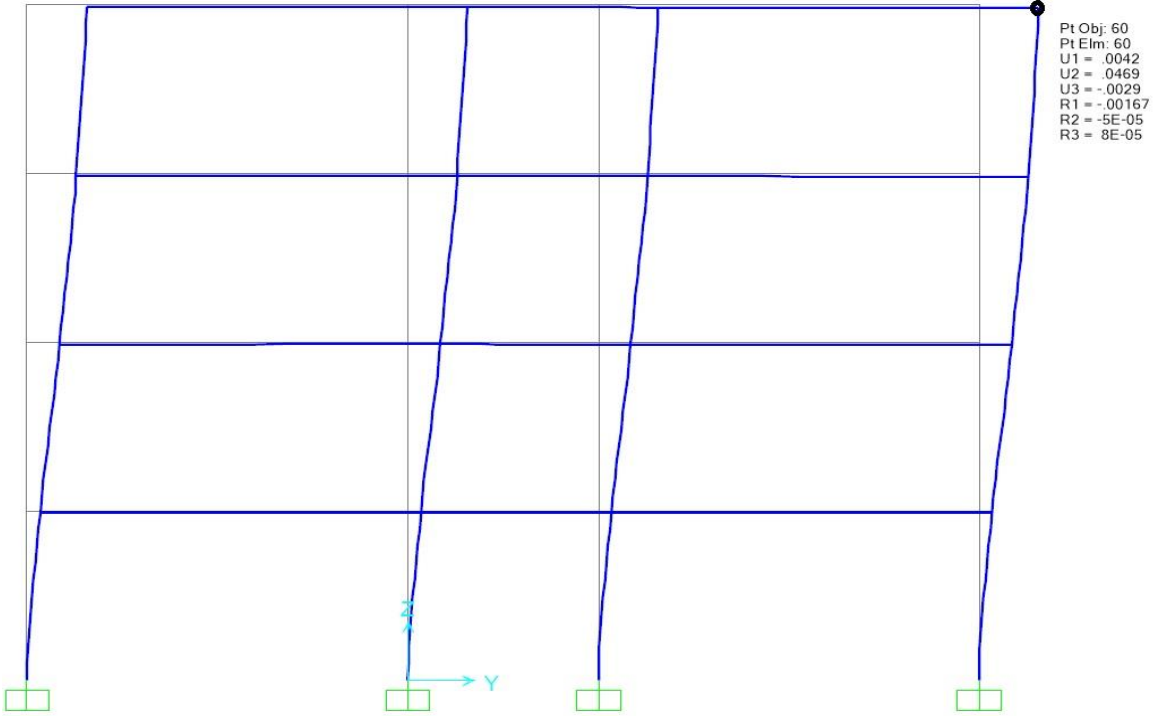
Şekil 2.40. TS 648, G+Q+EYP+ 0.3EXP kombinasyonuna göre kesme kuvveti diyagramı.



Şekil 2.41. TS 648, G+Q+EYP+ 0.3EXP kombinasyonuna göre moment diyagramı.



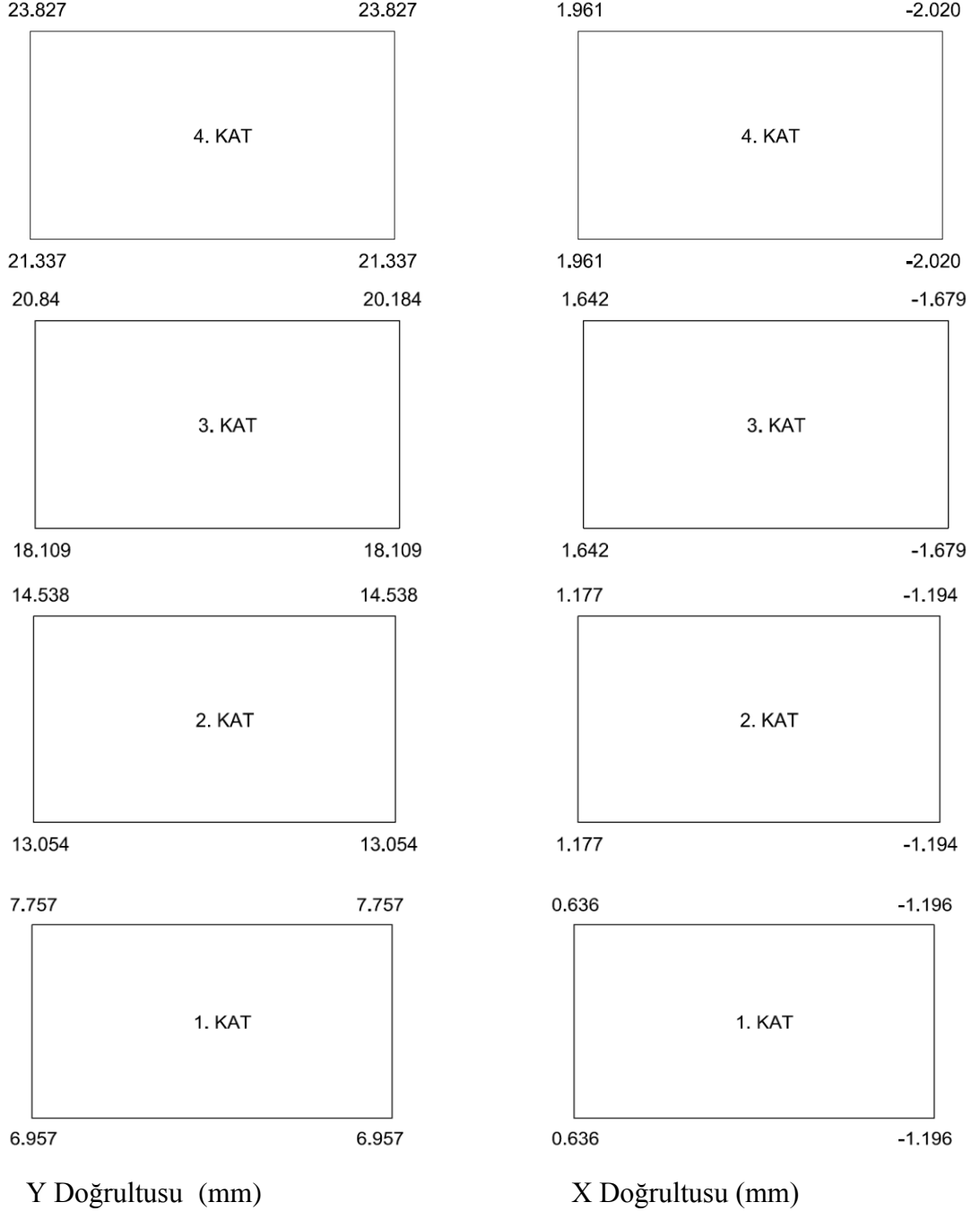
Şekil 2.42. TS 648, G+Q kombinasyonuna göre moment diyagramı.



Şekil 2.43. TS 648, G+Q+EYP+0.3EXP kombinasyonuna göre deplasman gösterimi.

2.3.4. Göreli Kat Ötelemeleri

2.3.4.1. Kat Deplasmanları



Şekil 2.44. Kat ötelemelerinin, sembolik kat planları ile gösterilmesi.

2.3.4.2. Düzensizlik Kontrolleri

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \geq 1.2 \quad (2.220)$$

Yukarıdaki koşulun oluşması durumunda, A1 düzensizliği meydana gelecektir.

$$\eta_{ki} = \left[\frac{(\Delta_i/h_i)_{\text{ort}}}{(\Delta_{i+1}/h_{i+1})_{\text{ort}}} \right] > 2,0 \quad (2.221)$$

Yukarıdaki koşulun oluşması durumunda ise, B2 düzensizliği meydana gelecektir. Buna göre kat deplasmanlarında etkin yönde düzensizlik kontrolü yapılır.

4. Kat;

$$\Delta_{i \max} = 0.364 \quad \eta_{bi} = 1.0605 \quad \text{A2 düzensizliği bulunmamaktadır.}$$

$$\Delta_{i \text{ort}} = 0.343 \quad \eta_{ki} = 0.43 \quad \text{B2 düzensizliği bulunmamaktadır.}$$

3. Kat;

$$\Delta_{i \max} = 0.5646 \quad \eta_{bi} = 1.055 \quad \text{A2 düzensizliği bulunmamaktadır.}$$

$$\Delta_{i \text{ort}} = 0.5350 \quad \eta_{ki} = 1.559 \quad \text{B2 düzensizliği bulunmamaktadır}$$

2. Kat;

$$\Delta_{i \max} = 0.6781 \quad \eta_{bi} = 1.053 \quad \text{A2 düzensizliği bulunmamaktadır.}$$

$$\Delta_{i \text{ort}} = 0.6439 \quad \eta_{ki} = 1.203 \quad \text{B2 düzensizliği bulunmamaktadır.}$$

1. Kat;

$$\Delta_{i \max} = 0.7750 \quad \eta_{bi} = 1.053 \quad \text{A2 düzensizliği bulunmamaktadır.}$$

$$\Delta_{i \text{ort}} = 0.7350 \quad \eta_{ki} = 1.141 \quad \text{B2 düzensizliği bulunmamaktadır}$$

Tablo 2.4. Göreli kat ötelenmelerinin sınırlandırılması, DBYBHY 2007.

KAT	H _i (cm)	∑Ötelenme d _i (cm)	Δ _{i max} (cm)	(δ _i) _{max} = R x Δ _i max (cm)	(δ _i) _{max} / H _i	(δ _i) _{max} / H _i [SINIR]
4	300	2.383	0.364	2.548	0.008	0.020
3	300	2.018	0.564	3.948	0.013	0.020
2	300	1.454	0.678	4.746	0.016	0.020
1	300	0.776	0.776	5.432	0.018	0.020

Burada, (δ_i)/h_i oranları içinde en büyük olan 1. kattaki (δ_i / h_i)_{maks} = 0.018'dir ve bu oran DBYBHY 2007 Madde 2.10.1.3'te verilen, (δ_i / h_i)_{maks} = 0.0140 ≤ 0.02 koşulunu sağlamaktadır.

2.3.4.3. Yapı Düzensizlik Kontrolleri

Yapıda Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY 2007) belirtilen koşullara göre düzensizlik kontrolleri yapılmıştır.

A1 Burulma Düzensizliği : $\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \geq 1.2$ koşulu hiçbir katta gerçekleşmediğinden yapıda A1 türü düzensizlik yoktur.

A2 Döşeme Süreksizlikleri : Katlarda yerel döşeme boşlukları bulunmamaktadır. Katlar kendi içinde rijit diyafram olarak çalışmaktadır. Yapıda A2 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

A3 Planda Çıkıntılar Bulunması : Yapıda planda bir çıkıntı bulunmadığından A3 türü düzensizlik bulunmamaktadır.

A4 Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması : Yapıda asal eksenleri deprem doğrultularına paralel olmayan taşıyıcı sistem elemanı olmadığından A4 türü düzensizlik yoktur.

B1 Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) : Çelik binada B1 türü düzensizlik yoktur.

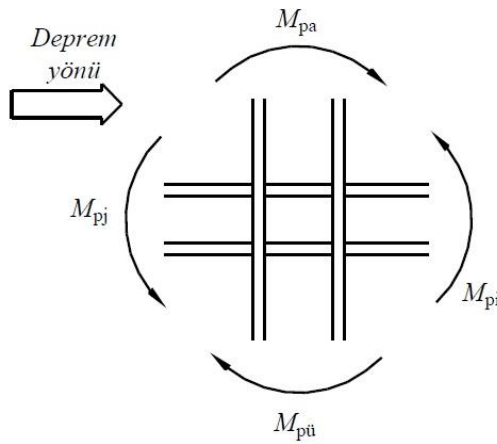
B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) : $\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{max}}{(\Delta_i)_{ort}} \geq 1.2$ koşulu hiçbir katta gerçekleşmediğinden yapıda A1 türü düzensizlik yoktur.

B3 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği : Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizlik söz konusu olmadığından B3 türü düzensizlik yoktur.

2.3.4.4. Güçlü Kolon Zayıf Kiriş Kontrolleri

DBYBHY 2007, 4.3.2.1'e göre çerçeve türü sistemlerde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir kolon - kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların eğilme momenti kapasitelerinin toplamının, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının 1.1x'da katından daha büyük olması gerektiği belirtilmektedir.

Bu kontrol en yüksek düşey yükün etkideği, yukarıda da dayanım hesapları yapılan HEA300 kolonu ile IPE300 kirişi



Şekil 2.45. Deprem doğrultusunda kolon-kiriş eğilme moment kapasiteleri (DBYBHY, 2007).

$$M_p = W_p \times \left(\sigma_a - \frac{N}{A} \right) \quad (2.322)$$

Kolon Kesiti : HEA300 A: 112.5 cm² ; W_{p,ly} : 1383 cm³

$$M_{pa} = 1383 \times \left(27.5 - \frac{896}{112.5} \right) = 27017.67 \text{ kNcm} \quad (2.323)$$

Kiriş Kesiti : IPE300 A: 42.2 cm² ; W_{p,ly} : 628.4 cm³

$$M_{pi} = M_{pj} = 628.4 \times 27.5 = 10859.4 \text{ kNcm} \quad (2.324)$$

Yukarıda hesaplanan kolon kapasiteleri denklem 2.325'te verilen denkleğe göre kontrol edilecektir.

$$M_{pa} + M_{pü} = 1.1 \times D_a (M_{pi} + M_{pj}) \quad (2.325)$$

$$27017.67 \times 2 = 54035 \text{ kNcm} \geq 1.1 \times 1.1 (10859.4 \times 2) = 26278.8 \text{ kNcm} \quad (2.325)$$

Güçlü kolon – zayıf kiriş kontrollerinin sağlandığı görülmüştür.

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

3.1. Yapıların Farklı Yönetmeliklerine Göre Boyutlandırılması

Önceki bölümde yapı SAP2000 programında üç boyutlu olarak modellenmiş ve üç farklı yönetmelik için verilen kombinasyonlara göre analizleri yapılmıştır. Yapı elemanları, elde edilen analiz sonuçlarına göre yine bu yönetmeliklerde belirtilen koşullar kullanılarak yapı elemanlarının boyutlandırılmaları yapılmıştır.

3.2. Sanayi Tipi Yapının Boyutlandırılması

Tasarımı yapılan yapı elemanları, farklı yönetmelik koşullarına ve en olumsuz gerilmeleri verecek yük birleşimlerine göre boyutlandırılmıştır. Örneğin çerçeve elemanlarında, Eurocode için en elverişsiz yükleme $1.35G+1.5Q$ ile elde edilirken, LRFD için ise bu $1.2G+1.6Q$ yüklemesi ile olmuştur. TS 648’de ise $G+Q-EYP-0.3EXP$ yüklemesi en elverişsiz sonucu vermiştir.

Aşağıda, SAP2000 programında 3 boyutlu olarak modellenen sanayi tipi yapısının en elverişsiz yükleme durumlarına göre kapasite kullanımları sırasıyla verilmiştir.

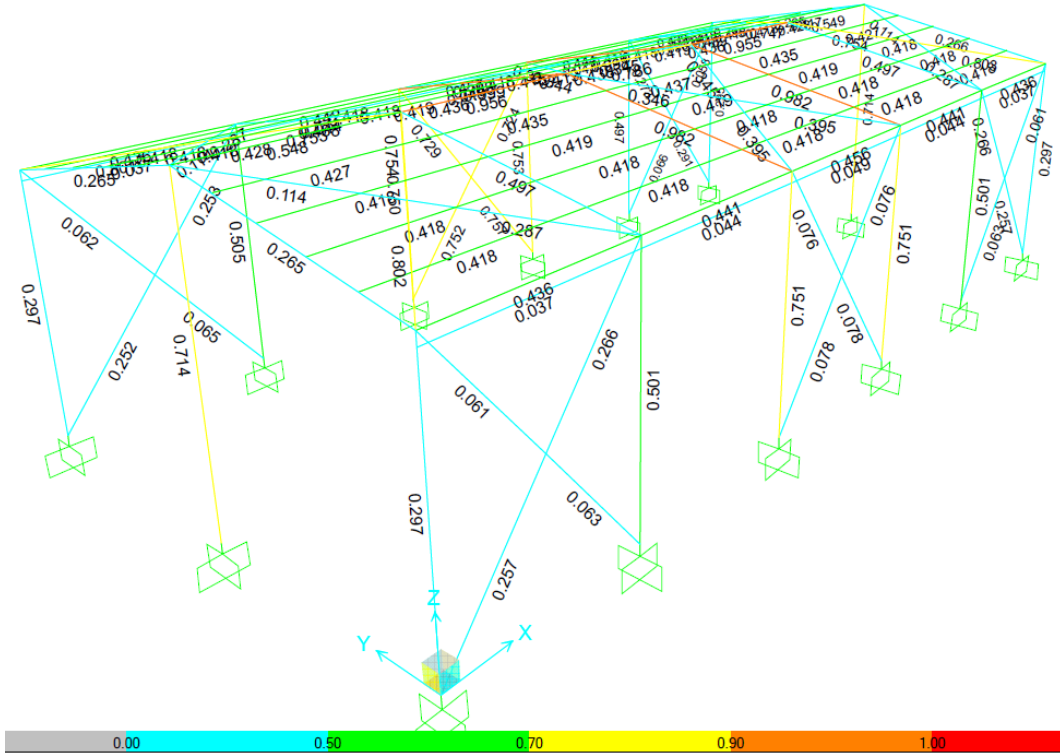
En elverişsiz yüklemelerin etkin olduğu tasarımda D - 1 aksı kolonu incelenmiştir. Bu yapı elemanının Eurocode 3 ve LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılması sonucunda IPE240 profilinin yeterli geldiği görülmüştür. TS 648 standartına göre yapılan boyutlandırmada ise IPE240’ın %100.21 ile kapasite kullanımını aştığı görülmüştür. Bunun için kesit büyütülerek IPE270 kullanılması uygun görülmüştür.

Tablo 3.1. Tasarımda kullanılan yapı elemanları, kesitler ve en elverişsiz yüklemeler.

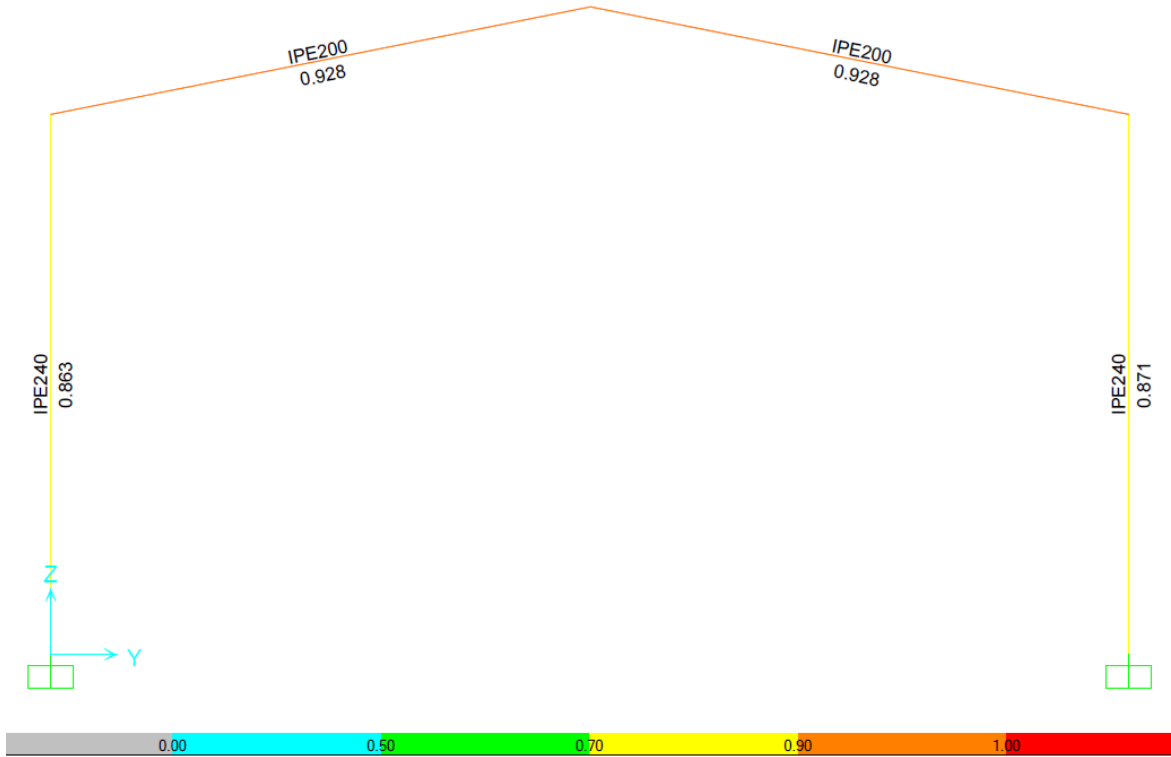
Yapı Elemanı	Kullanılan Kesit			Kombinasyon		
	Eurocode	TS 648	LRFD	Eurocode	TS 648	LRFD
Aşık	UPN 100	UPN 100	UPN 100	$1.35G+1.5Q$	$G+Q+WYN$	$1.2G+1.6Q$
Kiriş	IPE220	IPE240	IPE220	$1.35G+1.5Q$	$G+EYP+0.3EXP$	$1.2G+1.6Q$
Kolon	IPE240	IPE270	IPE240	$1.35G+1.5Q$	$G+EYP+0.3EXP$	$1.2G+1.6Q$

Tablo 3.2. Yönetmeliklere göre boyutlandırma ve yapı elemanları kapasite kullanımları.

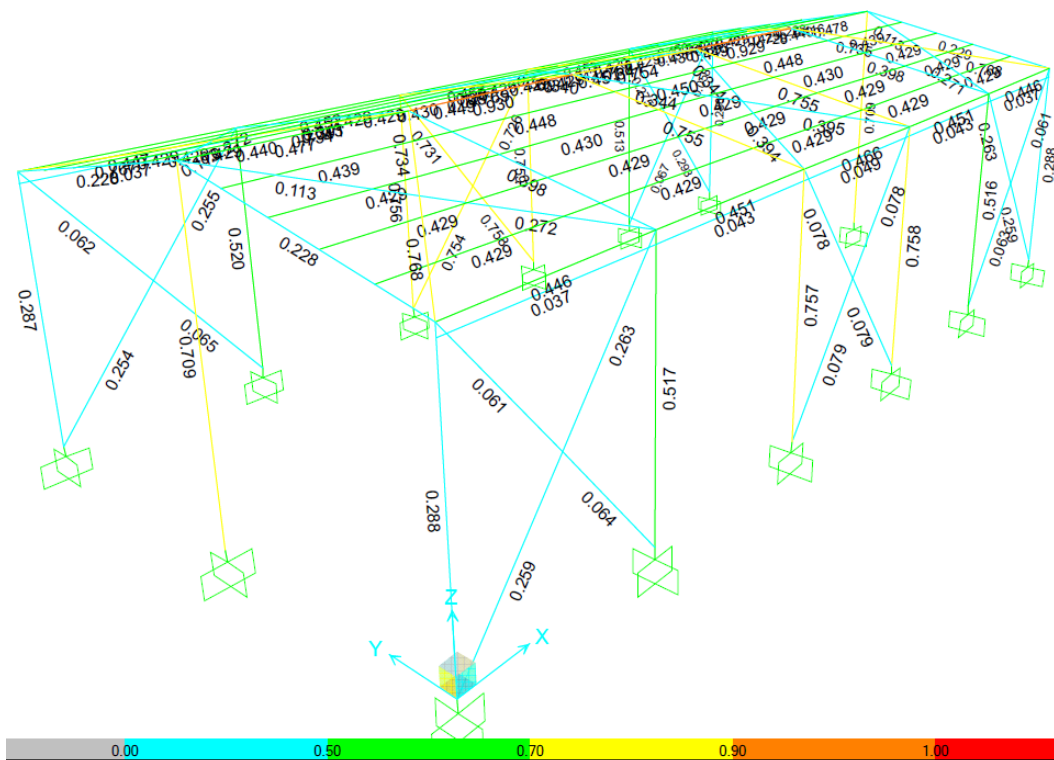
Yapı Elemanı	Kullanılan Kesit			Kapasite Kullanımı		
	Eurocode	TS 648	LRFD	Eurocode	TS 648	LRFD
Aşık	UPN 100	UPN 100	UPN 100	0.660	0.723	0.430
Kiriş	IPE220	IPE240	IPE220	0.928	0.879	0.755
Kolon	IPE240	IPE270	IPE240	0.863	0.842	0.758



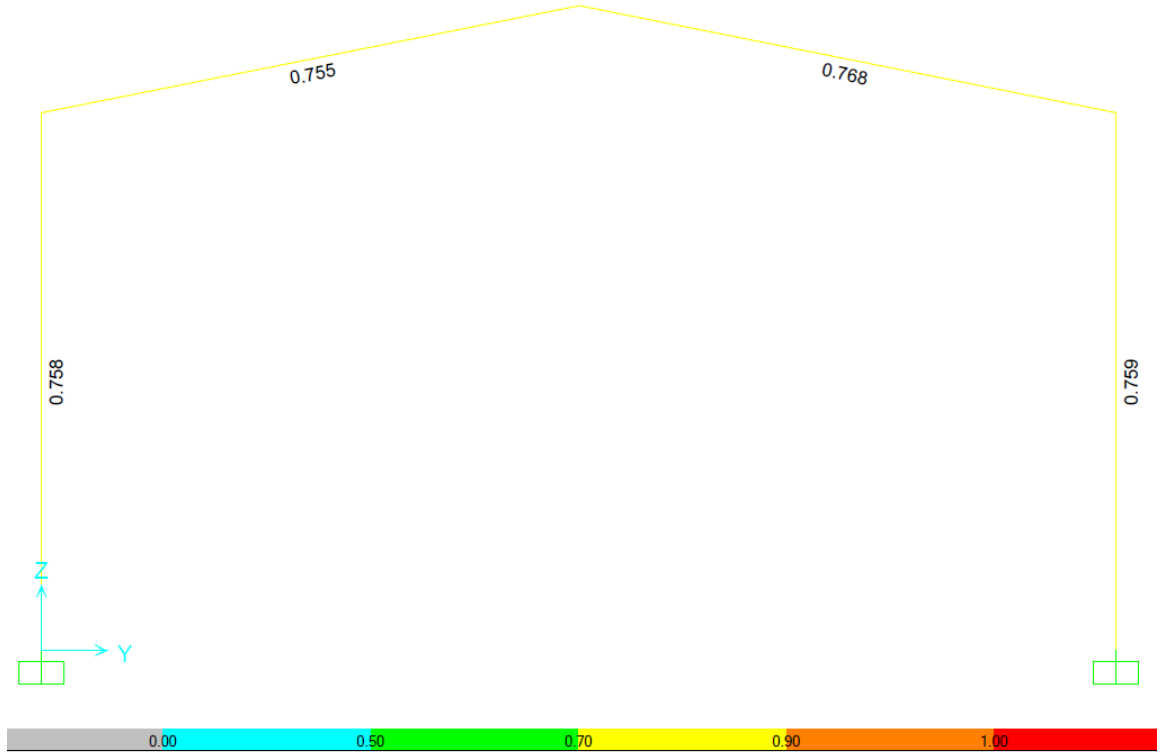
Şekil 3.1. Yapı elemanlarının Eurocode 3 yönetmeliğine göre kapasite kullanımları.



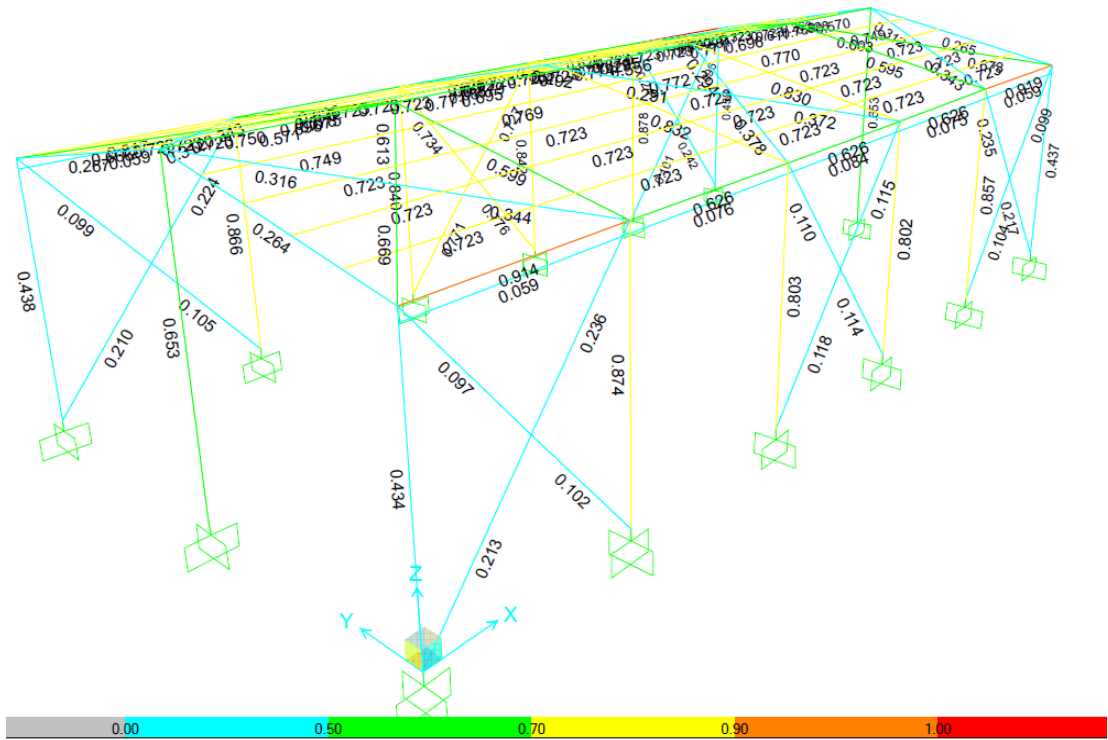
Şekil 3.2. Çerçeve elemanlarının Eurocode 3 yönetmeliğine göre kapasite kullanımları.



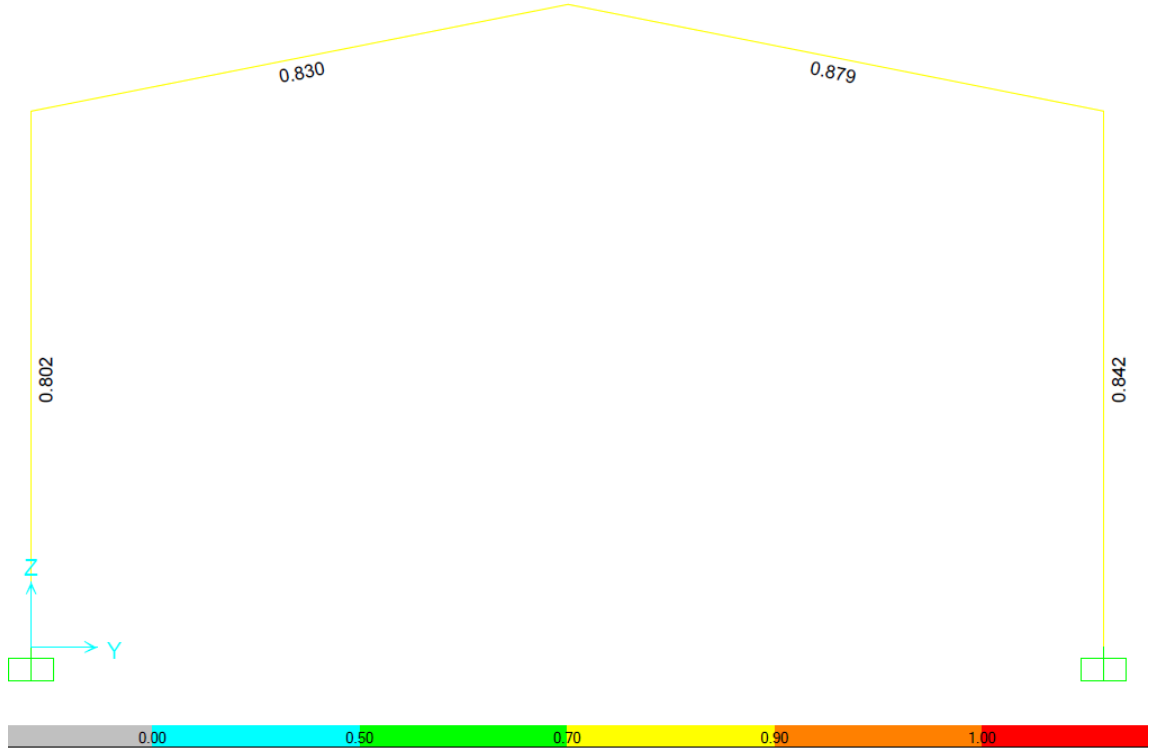
Şekil 3.3. Yapı elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları.



Şekil 3.4. Çerçeve elemanlarının LRFD yönetmeliğine göre kapasite kullanımları.



Şekil 3.5. Yapı elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları.



Şekil 3.6. Çerçeve elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları.

3.3. Çok Katlı Çelik Yapının Boyutlandırılması

Tasarımı yapılan yapı elemanları, farklı yönetmelik koşullarına ve en olumsuz gerilmeleri verecek yük birleşimlerine göre boyutlandırılmıştır. Çerçeve elemanlarında, Eurocode için en elverişsiz yükleme $G+Q+EXP+0.3EYP$ ile elde edilirken, döşeme kirişlerinde ise en etkin yük birleşimi $1.35G+1.5Q$ ile oluşmuştur. Benzer şekilde LRFD için ise bu kirişlerde $1.2G+1.6Q$ yüklemesi ile olmuştur. TS 648'de ise $G+Q$ yüklemesi en elverişsiz sonucu vermiştir.

Aşağıda, SAP2000 programında 3 boyutlu olarak modellenen çok katlı çelik yapısının en elverişsiz yükleme durumlarına göre kapasite kullanımları sırasıyla verilmiştir.

En elverişsiz yüklemelerin etkin olduğu tasarımda D - 3 aksı kolonu incelenmiştir. Bu yapı elemanının Eurocode 3 ve LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılması sonucunda HEA260 profilinin yeterli geldiği görülmüştür. TS 648 standartına göre yapılan boyutlandırmada ise HEA260'ın yeterli gelmediği, kesit büyütülmesi gerektiği görülmüştür. Yinelenen analizlerde HEA280'in ise %104,3 ile kapasite kullanımını aşması sebebiyle HEA300 profilinin kullanılması uygun görülmüştür.

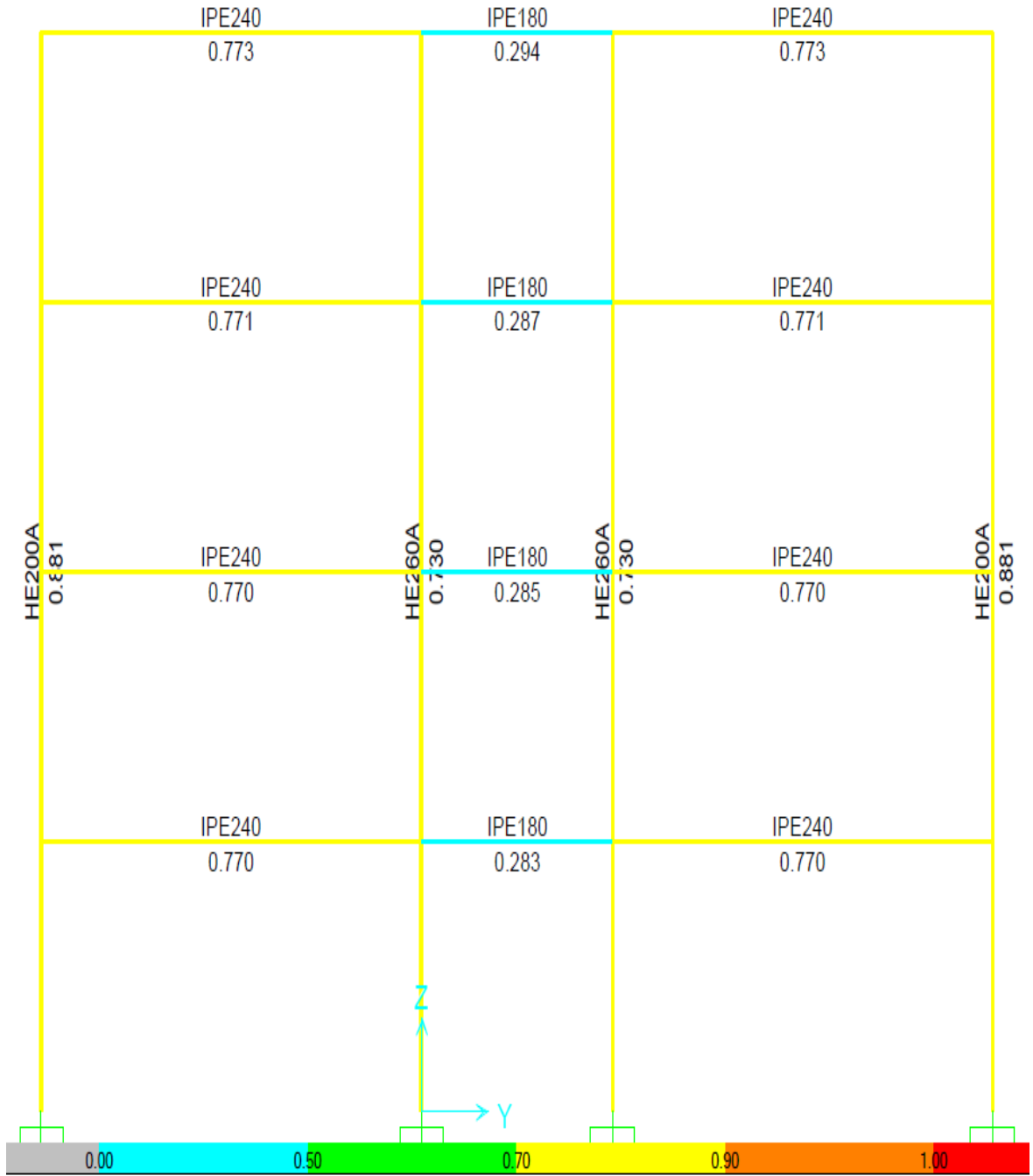
Çerçeve kirişi olarak 1 aksında bulunan B – C aksları arasındaki yapı elemanı incelenmiştir. Bu yapı elemanının Eurocode 3 ve LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılması sonucunda IPE270 profilinin yeterli geldiği görülmüştür.

Tablo 3.3. Tasarımda kullanılan yapı elamanları, kesitler ve en elverişsiz yüklemeler.

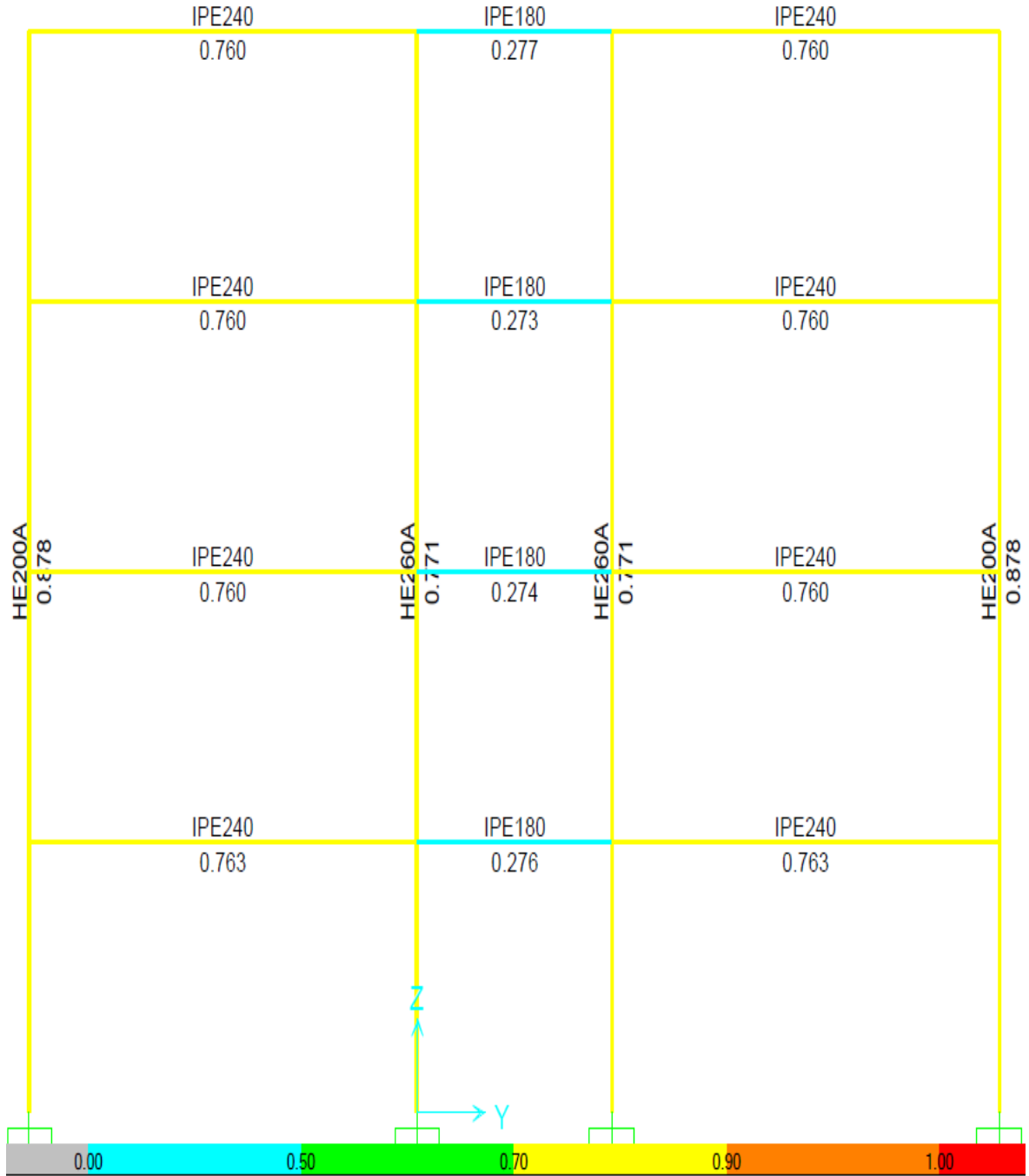
Yapı Elemanı	Kullanılan Kesit			Kombinasyon		
	Eurocode	TS 648	LRFD	Eurocode	TS 648	LRFD
Döşeme Kirişi	IPE240	IPE270	IPE240	1.35G+1.5Q	G+Q	1.2G+1.6Q
Kiriş	IPE270	IPE270	IPE270	1.35G+1.5Q+ 1.35WP	G+Q+WXP	1.2G+1.6Q
Kolon	HEA260	HEA300	HEA270	1.35G+1.5Q	G+Q+EYP+ 0.3EXP	1.2G+1.6Q

Tablo 3.4. Yönetmeliklere göre boyutlandırma ve yapı elamanlarının kapasite kullanımları.

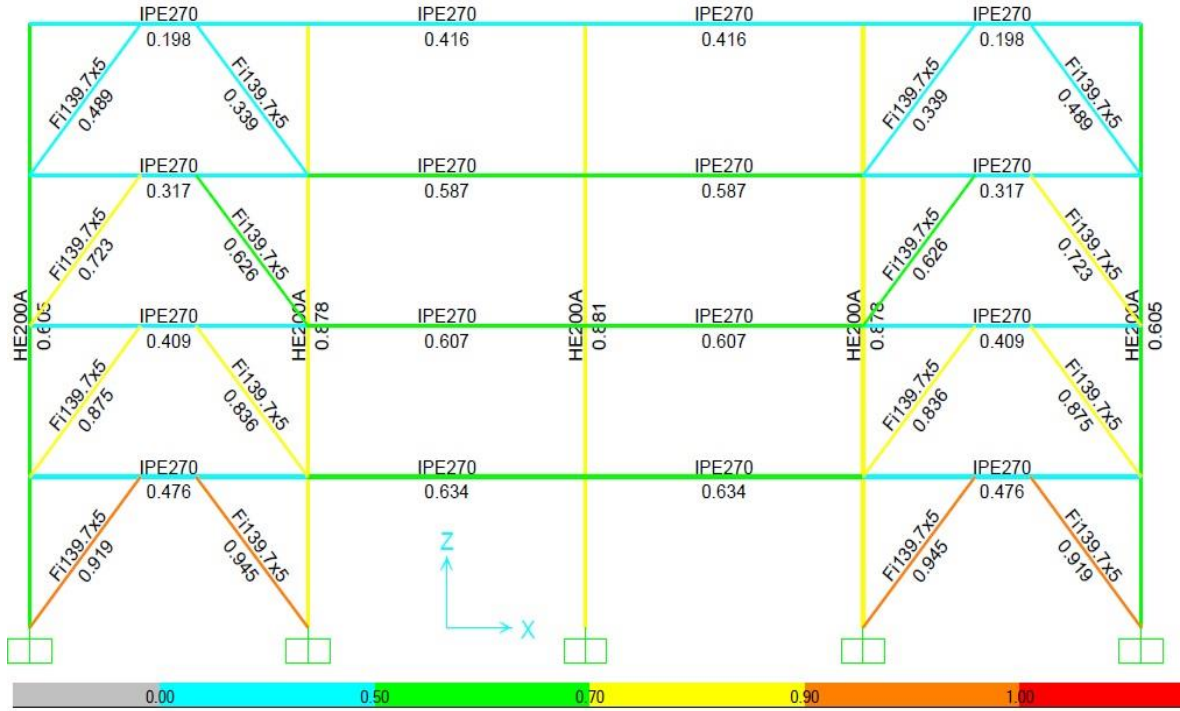
Yapı Elemanı	Kullanılan Kesit			Kapasite Kullanımı (%)		
	Eurocode	TS 648	LRFD	Eurocode	TS 648	LRFD
Döşeme Kirişi	IPE240	IPE270	IPE240	0.771	0.770	0.682
Kiriş	IPE270	IPE300	IPE270	0.634	0.660	0.611
Kolon	HEA260	HEA300	HEA270	0.863	0.842	0.758



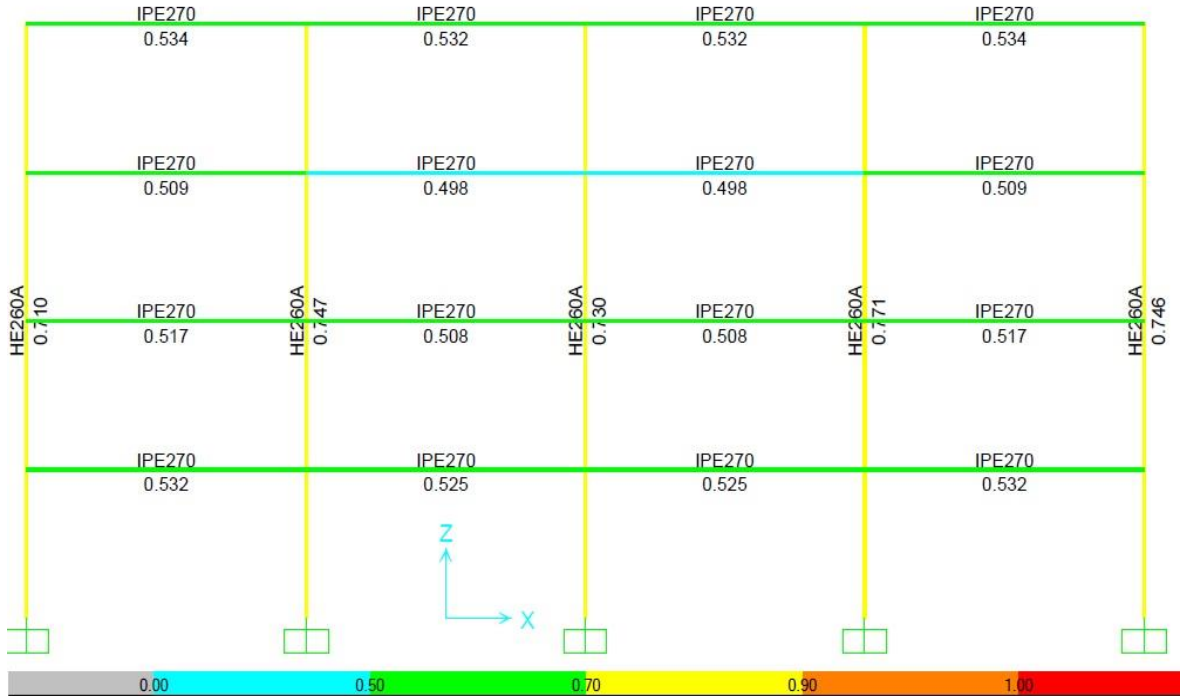
Şekil 3.7. B aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode'a göre kapasite kullanımları.



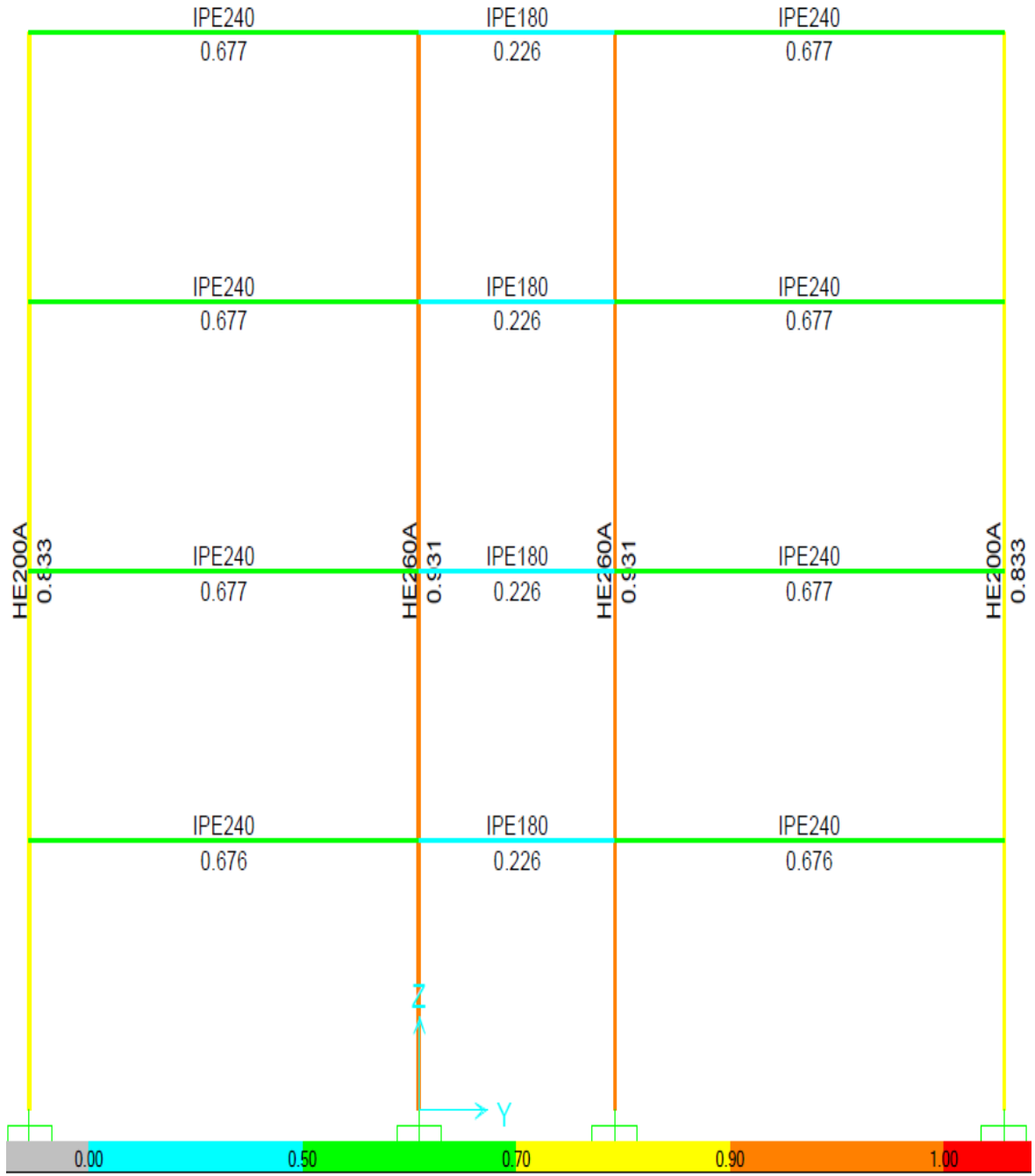
Şekil 3.8. D aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode'a göre kapasite kullanımları.



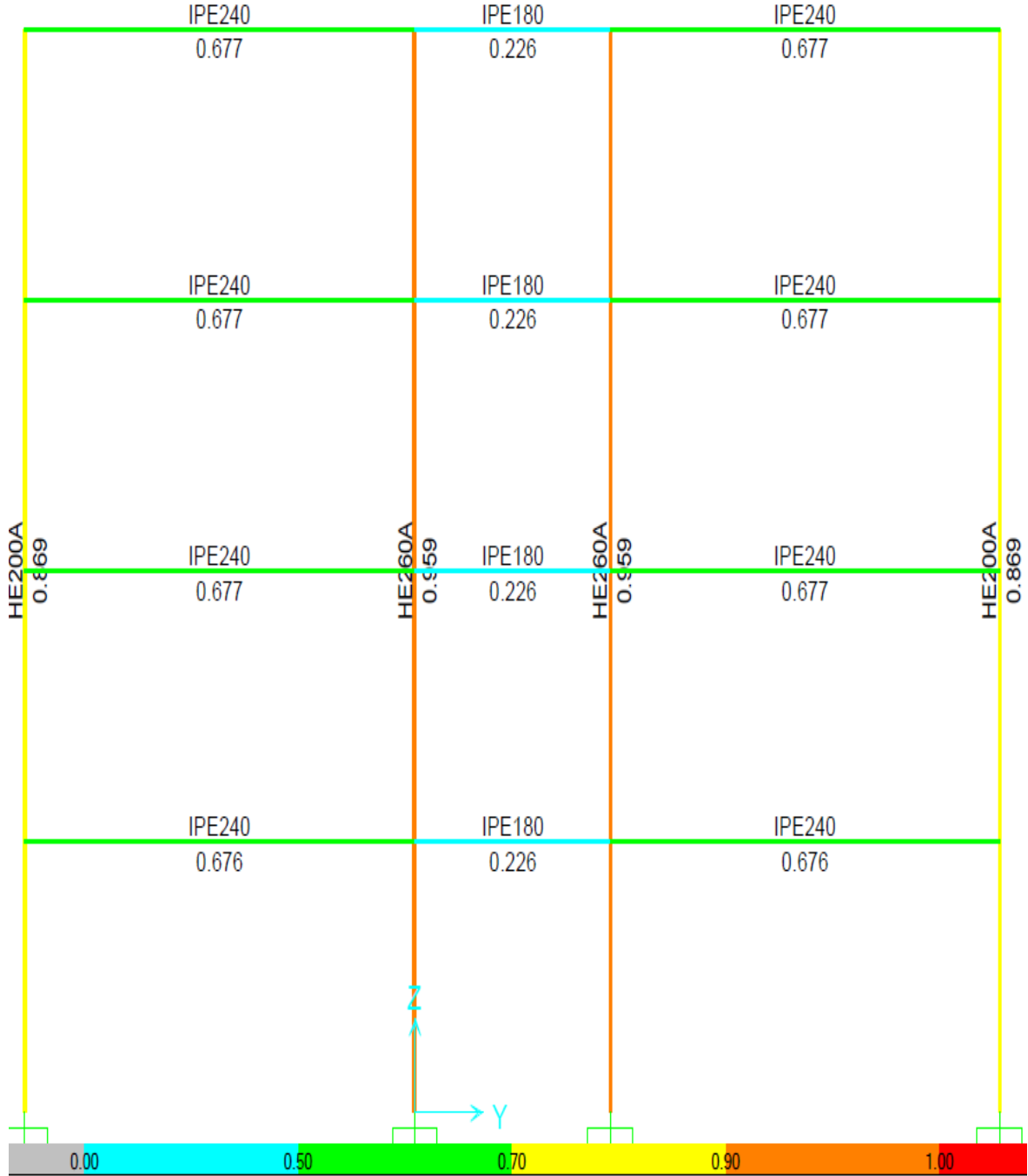
Şekil 3.9. 1 aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode'a göre kapasite kullanımları.



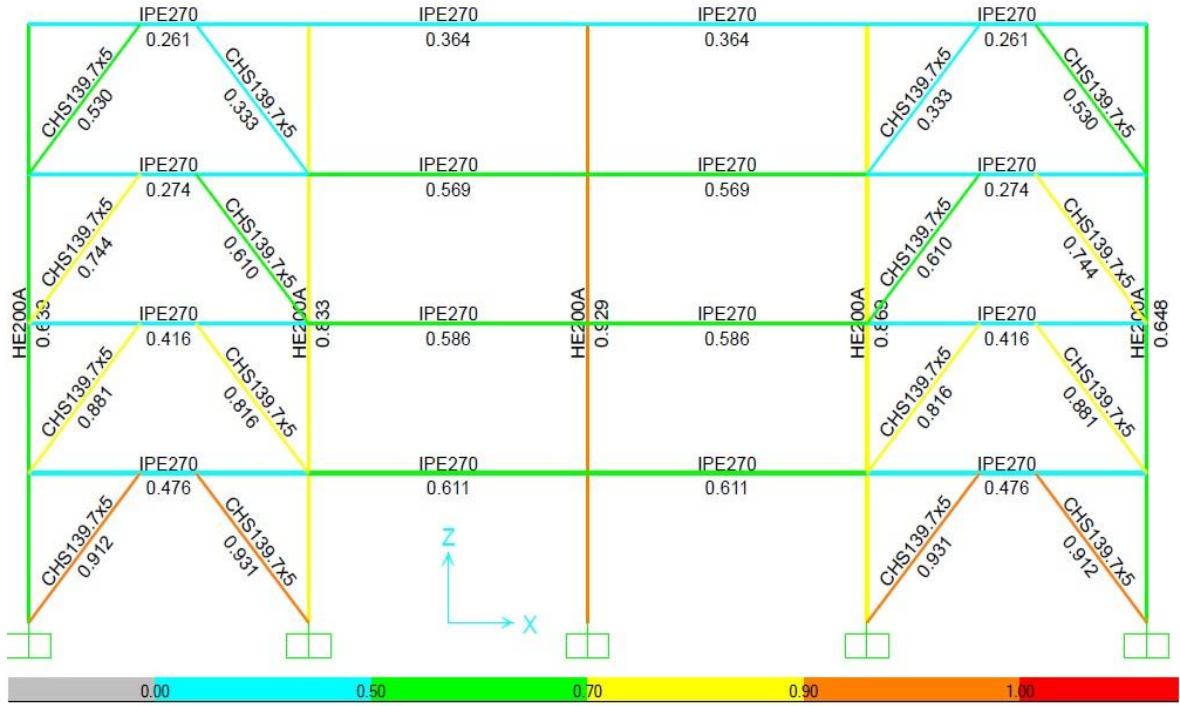
Şekil 3.10. 2 aksındaki çerçeve elemanlarının Eurocode'a göre kapasite kullanımları.



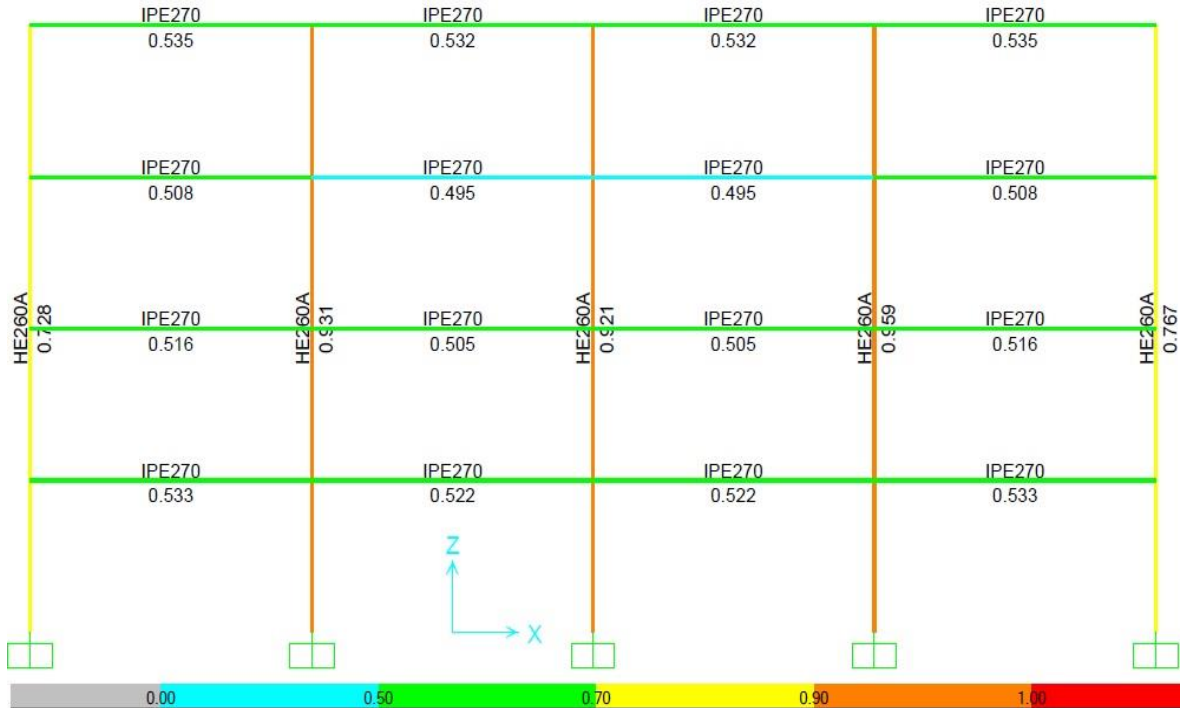
Şekil 3.11. B aksındaki çerçeve elemanlarının LRFD'ye göre kapasite kullanımları.



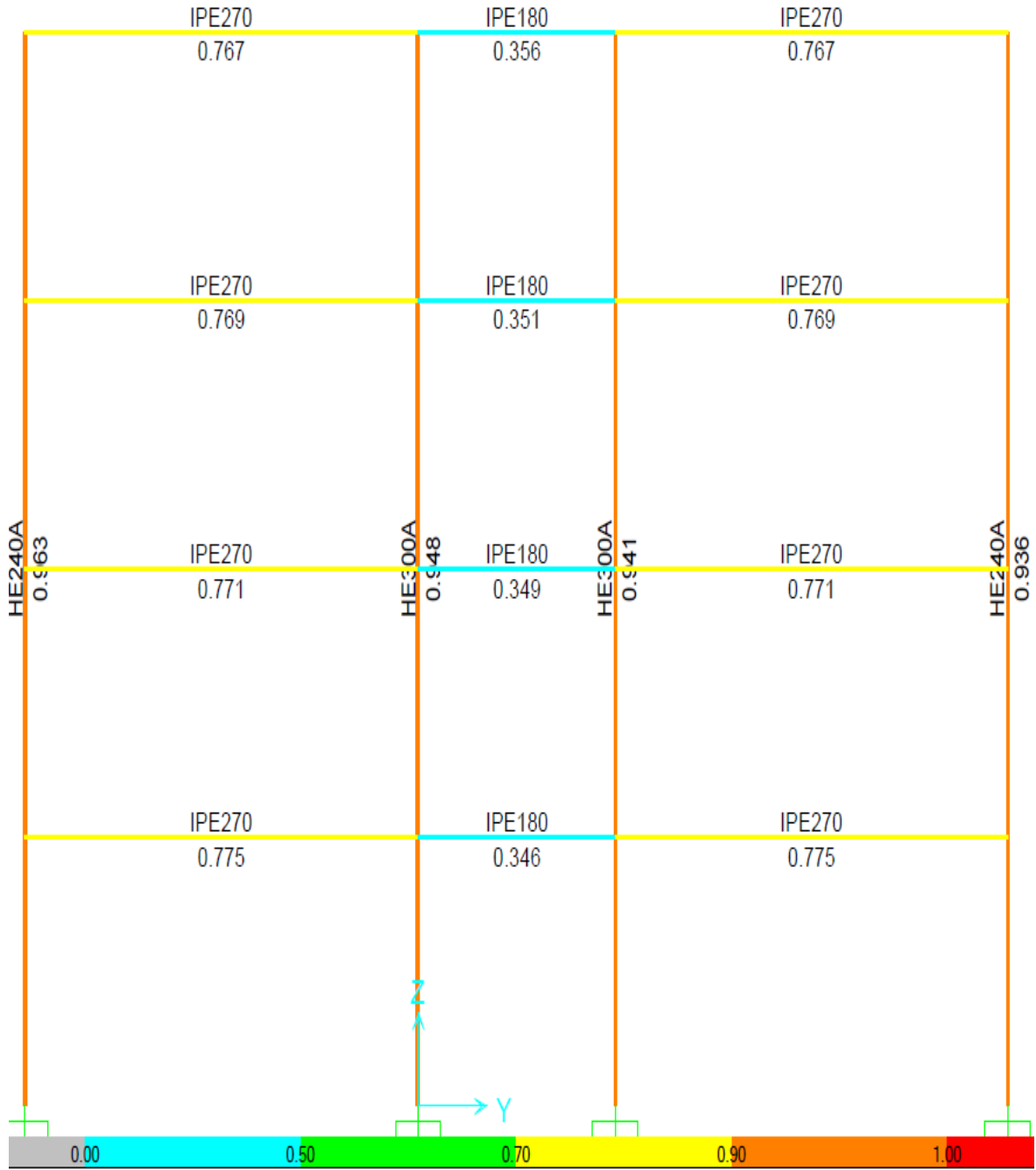
Şekil 3.12. D aksındaki çerçeve elemanlarının LFRD'ye göre kapasite kullanımları.



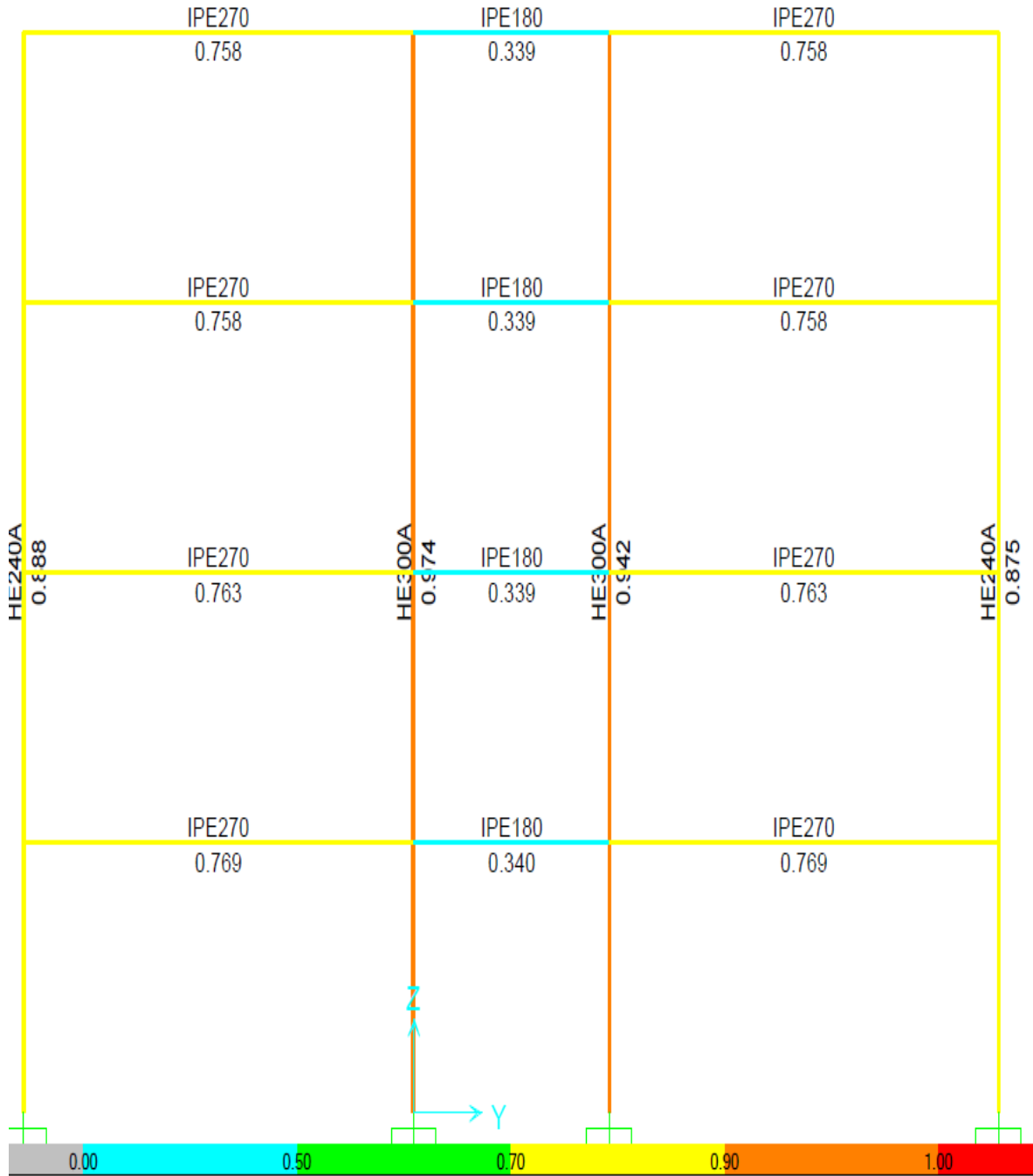
Şekil 3.13. 1 aksındaki çerçeve elemanlarının LRFDR'ye göre kapasite kullanımları



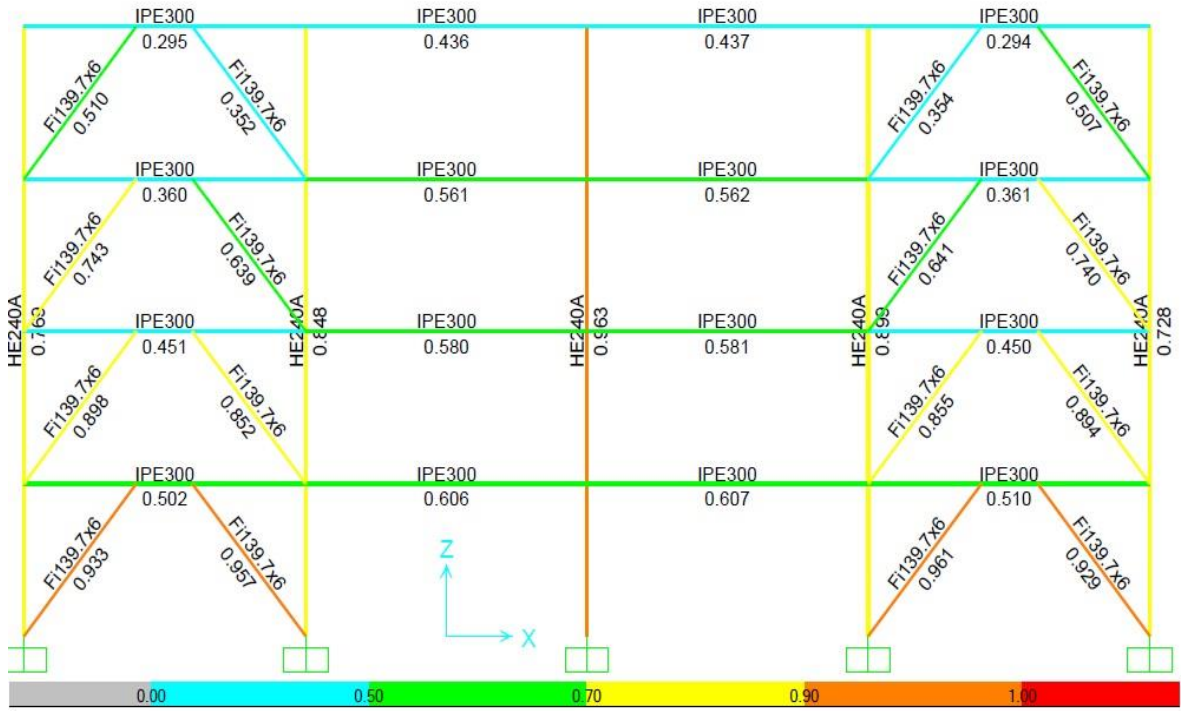
Şekil 3.14. 2 aksındaki çerçeve elemanlarının LRFDR'ye göre kapasite kullanımları



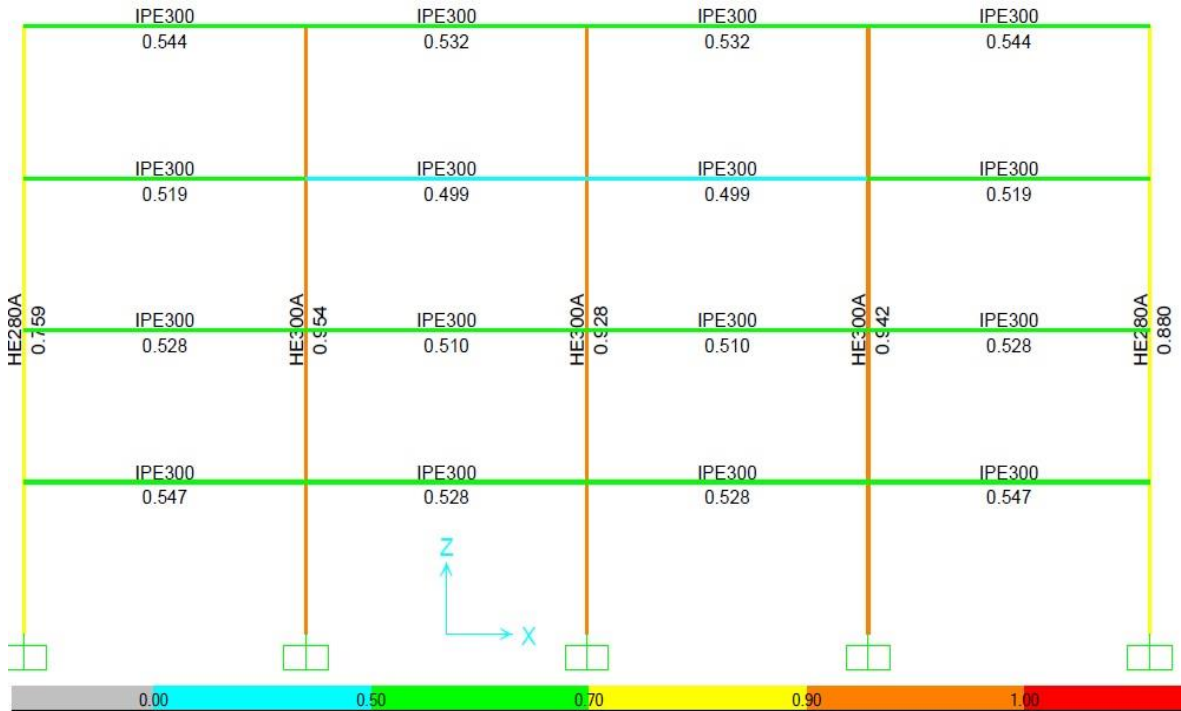
Şekil 3.15. B aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648'e göre kapasite kullanımları.



Şekil 3.16. D aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648'e göre kapasite kullanımları.



Şekil 3.17. 1 aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648'e göre kapasite kullanımları.



Şekil 3.18. 2 aksındaki çerçeve elemanlarının TS 648 standartına göre kapasite kullanımları.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, uygulamada yaygın kullanılan iki farklı tipteki çelik yapı örnek sistem olarak seçilmiş ve genel kabul görmüş standartlar dikkate alınarak bu yapıların analiz ve boyutlandırmaları yapılmıştır. Yapıların 3 boyutlu analizleri ve boyutlandırmaları SAP 2000 programı kullanılarak oluşturulmuştur.

Yapıya etkiyen yüklerin analizinde TS 498 ve DBYBHY 2007 yönetmelikleri kullanılmıştır. Eurocode 3, LRFD ve TS 648 kombinasyonlarına göre ayrı ayrı yük gerilmeleri bulunmuş, bu kombinasyonlara göre oluşan gerilme ve şekil değiştirme diyagramları verilmiştir.

İç kuvvetleri bulunan, çelik yapı elemanlarının boyutlandırması için etkin olan, en elverişsiz yükleme değerlerini veren yük birleşimleri, önceki bölümde verilmiştir.

Yukarıda bahsedilen üç yönetmeliğe göre yapılara ait elemanların boyutlandırılmaları yapılmış ve tasarım sonucu ortaya çıkan kesit gereksinimleri, yapı elemanlarına ve yönetmeliklere göre boyutlandırma sonuçlarını gösteren şekillerde verilmiştir.

Tasarım sonucu yapı elemanlarının kesit gereksinimleri ve kapasite kullanımları, yönetmeliklere göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu değerler bir önceki bölümde ilgili tablolarda, seçilen iki örnek çelik yapı için de ayrı ayrı verilmiştir.

Bu tablolar incelendiğinde, LRFD ve Eurocode 3 yönetmeliklerine göre yapı elemanlarının boyutlandırılması sonucu ihtiyaç olunan kesitler ve bu kesitlerin kapasite kullanımlarında birbirine yakın sonuçlar ortaya çıkmaktadır. TS 648 yönetmeliğine göre yapılan tahkiklerde, kesit ihtiyacı ve kapasite kullanımlarında, tez konusu diğer yapı yönetmelerine göre artış olduğu görülmektedir. Bu ekonomi yönünden olumsuz ve maliyeti arttıran bir unsur olarak dikkat çekmektedir.

Tasarım sonuçlarının ekonomi yönünden karşılaştırıldığında, 10 m x 20 m boyutlarındaki sanayi tipi çelik yapının Eurocode 3 ve LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılması sonucunda oluşan kesit ihtiyacına göre kullanılan toplam taşıyıcı ağırlığı 8.05 ton'dur. Bu miktar TS 648 standartına göre yapılan analizler sonucunda 9.70 ton olarak karşımıza çıkmaktadır.

15 m x 24 m ebatlarındaki 4 katlı çelik ofis binasında ise bu miktar Eurocode 3 ve LRFD yönetmelikleri için 64.78 ton'dur. Boyutlandırmalar sonucu kesit ihtiyaçlarında fark olmadığından her iki yönetmeliğe göre aynı miktar taşıyıcı eleman ihtiyacı bulunmaktadır. TS 648 standartına göre yapılan boyutlandırma sonucunda ise döşeme kirişleri ve kolonlarda, tez konusu diğer yönetmelikler için yapılan analizlerde kullanılan kesitlerin, kapasite kullanım sınırlarını aşması sebebiyle büyütülmesi gerektiği görülmüştür. Bu değişikliklerin sonucu olarak TS 648 standartına göre yapılan boyutlandırmaya göre 76.94 ton çelik profil ihtiyacı bulunmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar göstermiştir ki yapıların tasarımında imalat ve inşaat aşamalarının yanında tasarım sürecinde seçilen tasarım yönetmeliğinin de maliyetlere etkisi bulunmaktadır.

Son yıllarda, istatistiksel verilere göre yük birleşim ve dayanım tasarımı yaklaşımı daha sık kullanılmaya başlanmıştır. Yük ve dayanım belirsizliklerinin olasılık teorisine dayanan hesaplarla gerçeğe yakınsamaya çalışarak yapı güvenliğini teşkil etmeyi hedefleyen standart ve yönetmelikler bulunmaktadır. Bu tip yönetmeliklerin örneklerinden olan Eurocode 3 ve LRFD yönetmeliklerinde olduğu gibi, TS 648'in de yapı elemanlarının geçme sınır durumu için incelendiği yeni bir yönetmelik hazırlanması gerekliliği görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- American Institute of Steel Construction, 2005. Specification for Structural Steel Buildings: Load and Resistance Factor Design, Chicago, ABD.
- Ar, E., 2009. Çelik Yapıların Tasarım Metodları ve Bunların Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Balkan, G., 2007, Türk, Amerikan ve Avrupa Çelik Standartlarının İncelenmesi ve Kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Brettle, M. ve Brown, G. , 2009. Worked examples for students, In accordance with Eurocodes and the UK National Annexes, The Steel Construction Institute, İngiltere.
- Bingöl, C., 2014. Ağır Sanayi Yapısının AISC 360-10 TS 648 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırmalı Boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2003. Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.
- Ceylan, Ö., 2007. 10 Katlı Çelik Bir Büro Binasının Eurocode 3'e Göre Karşılaştırmalı Boyutlandırması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F. ve Çağlayan, Ö., 2008, Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2008.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2001. Betonarme: Temel İlkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Hesap, Evrim Yayınevi. İstanbul.
- European Committee for Standardization, 2005. Eurocode 3, Design of Steel Structures, Brüksel.
- Eurocode 4, Design of composite steel and concrete structures, European Committee for Standardization, Brüksel, 2004.
- Fardis, M., Carvalho, E., Elnashai, A., Faccioli, E., Pinto, P.ve Plumier., A., 2005. Designers' Guide To EN 1998-1 and EN 1998-5 Eurocode 8: Design Of Structures For Earthquake Resistance London: Thomas Telford Ltd., İngiltere.
- Gardner, L. ve Nethercot, D., 2011. Designer's Guides to the Eurocode 3: Design of Steel Buildings, Second edition, Imperial College London, İngiltere.
- Güçlü, G., 2003. Çok Katlı Bir Çelik Toplu konut Binasının Karşılaştırmalı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Odabaşı, Y., 1997. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Beta Basım Yayım Dağıtım, İstanbul.
- Özmen, G., Orakdoğen, E. ve Darılmaz, K., 2014. Örneklerle SAP2000 – V15, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Structural Engineering Institute, 2005. Standard 7-05 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, ABD.
- Taşdemir, A., 2007. Çok Katlı Çelik Bir Hastane Binasının Eurocode 3'e Göre Çerçeve Kusurları Dikkate Alınarak Karşılaştırmalı Boyutlandırması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türk Standartları Enstitüsü, 1987. TS-498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, 1980. T.S. 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara.
- Türk Standartları Enstitüsü, 2007. DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.
- University of Berkeley, 2011. Eurocode 3-2005, with Eurocode 8:2004, Steel Frame Design Manual For SAP2000, Version 15, Berkeley, California, ABD.
- Yardımcı, N., 2005. Çelik Yapıların Tasarımı ve Tasarım Yöntemleri, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 435, 46-50, Ankara.
- Zervent, A., 2009. Evaluation of Steel Building Design Methodologies: TS 648, Eurocode 3 and LRFD, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Muhammed Çağrı ÜNAL, 1985 yılında Isparta'da doğdu. İlköğretimi, 1991-1995 yılları arasında Yükseliş Koleji'nde, ortaöğretimi ise 1996-2003 yılları arasında Özel Bilkent Lisesi'nde tamamladı. 2004 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimi almaya hak kazandı. Lisans eğitimini 2008 yılında tamamladı 2008-2015 yılları arasında, yurtdışı ve yurtiçinde birçok inşaat projesinde yer aldı. Halen bir yurtdışı firmasında inşaat mühendisi olarak görev yapmaktadır.