

T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK SANAYİ YAPILARININ 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE  
GÖRE ANALİZ VE TASARIMI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER YILDIZ

TEMMUZ 2018  
UŞAK

T.C.  
UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇELİK SANAYİ YAPILARININ 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ'NE  
GÖRE ANALİZ VE TASARIMI



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖMER YILDIZ

TEMMUZ 2018  
UŞAK

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Ömer YILDIZ tarafından hazırlanan “Çelik Sanayi Yapılarının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Analiz Ve Tasarımı.” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Tez Danışmanı, Dr. Öğr. Üyesi Soner ŞEKER, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Soner ŞEKER

(İnşaat Mühendisliği A.B.D, Öğretim Üyesi, Uşak Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Haluk SARAÇOĞLU

(İnşaat Mühendisliği A.B.D, Öğretim Üyesi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Onur MERTER

(İnşaat Mühendisliği A.B.D, Öğretim Üyesi, Uşak Üniversitesi)

Tarih : ...../...../..... Bu tez ile U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü, Prof. Dr. İsa YEŞİLYURT

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ömer YILDIZ



# ÇELİK SANAYİ YAPILARININ 2018 TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE GÖRE ANALİZ VE TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ömer YILDIZ

UŞAK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2018

## ÖZET

Türkiye’de kullanılan mevcut deprem yönetmeliği (DBYBHY 2007) ve TS648 ( Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) gibi yönetmelik ve standartların çelik yapıların tasarımında yetersiz kalması sebebiyle, bazı projelerin tasarımında farklı ülkelerin ilgili standartlarına başvurma ihtiyacı duyulmaktadır. Bu durum ise çelik yapıların tasarımı ile ilgili bir bilgi kirliliğinin oluşmasına, çelik sistem analizlerinin daha karmaşık bir hal almasına sebebiyet vermiştir ve çelik yapıların daha yaygın bir şekilde kullanılmasını engellemektedir. Bu konuda yıllardır üzerinde çalışılan ve taslak olarak hazırlanan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde özellikle Çelik yapıların tasarımına yönelik kapsamlı bilgilere yer verilmiştir. Bu yönetmeliğin 2018 yılında yürürlüğe girmesi ile birlikte çelik yapılar ile ilgili belirsizliklerin ortadan kalkması beklenmektedir. Bu çalışmada; çelik sanayi yapıların, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) esaslarına göre analiz ve tasarımı yapılmıştır. Yapıların analizi ve tasarımı amacıyla, matris deplasman metoduna dayalı bir bilgisayar programı hazırlanarak, yönetmelikte belirtilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) kriterlerine göre analiz yapıp irdelenmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen tasarım sonuçları irdelenerek, yöntemler karşılaştırılmıştır.

**Bilim Kodu :** İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**Anahtar Kelimeler :** Çelik elemanlar, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT), Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT), TBDY 2018

**Sayfa Adedi :** 206

**Tez Yöneticisi :** Dr. Öğr. Üyesi Soner ŞEKER

**ANALYSIS AND DESIGN OF INDUSTRIAL STEEL STRUCTURES  
ACCORDING TO THE 2018 TURKISH EARTHQUAKE CODE**

**(M. Sc. Thesis)**

**Ömer YILDIZ**

**UNIVERSITY OF UŞAK**

**GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**July 2018**

**SUMMARY**

Existing earthquake regulations used in Turkey such as DBYBHY 2007 and TS648 (Steel Construction and Construction Rules) are not insufficient in terms of design of steel structures and it's necessary to refer to the relevant standards of many other countries while designing those projects. This gap in Turkish regulations let to drafting and development of specific and comprehensive regulations on designing steel structures which named as "2018 Turkish Earthquake Regulation on Buildings Regulations". With the introduction of this rule in 2018, it is expected that uncertainties regarding steel structures will be eliminated. In this study, steel structures were analyzed and designed in accordance with the "2018 Turkish Earthquake Regulation on Buildings Regulations" principles. For the analysis and design of structures, a computer program based on the matrix displacement method was prepared and analyzed in accordance with the Load and Strength Coefficients Design (LRFD) and Safety Coefficients and Design specified in the regulations. The results of the design obtained using both methods were investigated and methods were compared.

**Science Code :** Department of Civil Engineering

**Keywords:** Steel frames, ASD (Allowable Strength Design) LRFD (Load and Resistance Factor Design) and Safety Coefficients and Design, Turkish Earthquake Regulation on Buildings Regulations 2018

**Number of Page :** 206

**Supervisor:** Dr. Öğr. Üyesi Soner ŞEKER

## TEŐEKKÖR

2017/TP009 No'lu Proje ile tezimi destekleyen, UŞak Őniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teŐekkÖr ederim.

Ömer YILDIZ

UŞAK 2018



## TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi, danışmanım olan Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Dr. Öğr. Üyesi Soner ŞEKER rehberliğinde hayata geçmiştir. Yüksek lisans eğitimi boyunca, özellikle tez aşamasında her türlü desteğini, motivasyon, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Soner ŞEKER' e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimine kaydolmama ve eğitim sürecinde gerekli izinleri veren ve tez çalışmalarımı yapabileme imkânı sağlayan Seranova Seramik Yönetim Kurulu'na, tez çalışmalarına yardım eden çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim. Son olarak, eğitim ve kariyer hayatıma büyük katkıları olmuş ve olmaya devam eden, ilgilerini, sevgilerini, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, annem Aysel YILDIZ'a, babam Süleyman YILDIZ'A, merhum dedem Mehmet YILDIZ'a, en samimi sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ömer YILDIZ

UŞAK 2018



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xiv
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xiv
GRAFİKLERİN LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	1
1.2. Çalışmanın Yöntemi.....	2
1.3. Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	2
2. ÇELİK PORTAL ÇERÇEVELER.....	5
2.1. Kapsam.....	6
2.2. Bilgisayar Destekli Tasarım.....	6
2.3. Portal Çerçevelerin Yapısı.....	6
2.3.1. Çerçeve Davranışı.....	6
2.3.2. İkinci Mertebe Etkileri.....	8
2.3.3. Tasarım Özeti.....	9
2.4. Nihai Limit Durumları.....	9
2.4.1. Geometrik Kusurlar.....	12
2.5. Analiz yöntemleri.....	19
2.5.1. Elastik Analiz.....	19
2.5.2. Plastik Analiz.....	21

2.5.3. Elastik ve Plastik Analizin Karşılaştırılması .....	23
2.5.4. Birinci ve İkinci Mertebeden Analiz .....	24
2.6. Yapı Temel Rijitliği .....	28
2.7. Sürülebilirlik Sınır Durumu .....	31
2.8. Kesit ve Eleman Direnci .....	32
2.8.1. Kesitin Sınıflandırılması .....	32
2.9. Tasarım İçin Yapı Sünekliği .....	33
2.10. Elemanların Stabilitesi .....	33
2.10.1. Portal Çerçevelerinde Eleman Bükülmesi.....	34
2.10.2. Portal Çerçevelerinde Düzlem Dışı Sınırlama .....	36
2.10.3. Plastik Menteşelere Bitişik Stabil Uzunluklar .....	38
2.11. Çelik Portal Kirişi Tasarımı .....	40
2.11.1. Kirişin Dayanımı .....	41
2.11.2. Kirişin Düzlem Dışı Dengesi .....	41
2.12. Kolon Tasarımı.....	47
2.12.1. Kolon Ağı Dayanımı .....	47
2.12.2. Kolon Kararlılığı .....	48
2.12.3. Düzlem İçi Stabilite.....	50
2.13. Stabilite Elemanların Tasarımı.....	51
2.13.1. Dikey Destek .....	51
2.13.2. Çatı Destek Çaprazları .....	60
2.14. Geçiş Çerçevelerin Tasarımı .....	65
2.14.1. Taşıyıcı Çerçeve Türleri.....	65
2.14.2. Geçiş Çerçevesi Kolonları.....	65
2.14.3. Geçiş Çerçevesi Kirişleri.....	66
2.15. Çerçeve Bağlantıları.....	67

2.16.	Bazlar, Taban Plakaları ve Temeller .....	69
2.16.1.	Montajda Güvenlik.....	72
2.16.2.	Yatay Kuvvetlere Karşı Dayanım .....	72
2.16.3.	Taban Plakaları ve Tutma Cıvataları.....	73
2.16.4.	Yangın Durumu İçin Temel Tasarımı .....	75
2.17.	İkincil Yapı Bileşenleri .....	76
2.17.1.	Doğranmış Kiriş .....	76
2.17.2.	Saçak dikenini .....	76
2.18.	Çok Bölmeli Portal Çerçeve Tasarımı .....	77
2.18.1.	Çok Bölmeli Portal Çerçeve Türleri.....	77
2.18.2.	Çok Bölmeli Portal Çerçevelerin İstikrarı.....	78
2.18.3.	Çok Bölmeli Portal Çerçevelerin Süreklisizlik Durumu.....	80
3.	YAPILARIN MATRİS DEPLASMAN METODU İLE ANALİZİ .....	81
3.1.	Giriş .....	81
3.2.	Rijitlik Kavramı .....	83
3.3.	Elastik Bir Yay Sisteminin Çözümü.....	83
3.4.	Bir Yay Elemanın Rijitlik Matrisi Elemanlarının Elde Edilmesi .....	84
3.5.	Düzlem Kafes Sistemlerin Çözümü.....	85
3.6.	Eleman Eksen Takımında Düzlem Kafes Elemanın Rijitlik Matrisi .....	86
3.7.	Genel Eksen Takımında Düzlem Kafes Elemanın Rijitlik Matrisi.....	86
3.8.	Düzlem Çerçeve Sistemlerin Çözümü .....	90
3.8.1.	Eleman Eksen Takımında Düzlem Çerçeve Elemanın Rijitlik Matrisi.....	91
3.8.2.	Genel Eksen Takımında Düzlem Çerçeve Elemanın Rijitlik Matrisi .....	94
3.9.	Tipik Bir Yapının Matris Deplasman Metodu ile Analizi .....	99
4.	YAPILARIN GENEL BİLGİLERİ VE YÜK ANALİZİ.....	103
4.1.	Genel.....	103

4.2.	Yapı Bilgisi .....	103
4.3.	Yapı Yük Analizi .....	108
4.3.1.	Sabit Yükler.....	108
4.3.2.	Kar Yüklerinin Belirlenmesi .....	108
4.3.3.	Rüzgar Yüklerinin Belirlenmesi.....	109
4.3.4.	Deprem Yüklerinin Belirlenmesi .....	118
5.	ÇELİK PORTAL ÇERÇEVELERİN TBDY 2018 ve TÇY 2018'E GÖRE ANALİZ VE TASARIMI.....	126
5.1.	Yapı Geometrileri .....	126
5.2.	Yapıya Etkilecek Yükler.....	127
5.2.1.	Rüzgar Yükleri .....	127
5.2.2.	Sismik Yükler.....	127
5.2.3.	Kar Yükleri.....	127
5.2.4.	Çatı ve Cephe Sabit Yükleri.....	127
5.3.	Çatı Elemanlarının Tasarımı .....	127
5.3.1.	Çatı Aşıklarının Tasarımı .....	127
5.4.	Tip 1 Yapı Sistemi .....	131
5.5.	Tip 2 Yapı Sistemi .....	140
5.6.	Tip 3 Yapı Sistemi .....	147
5.6.1.	Yapı Bilgisi .....	147
5.6.2.	GKT Yöntemi ile Tip 3 Portal Çerçeve Tasarımı .....	148
5.6.3.	YDKT Yöntemi ile Portal Çerçeve Tasarımı.....	170
5.6.4.	Tip 3 Portal Çerçeve Yapısının Birleşim Bölgelerinin Tasarımı .....	188
5.6.5.	Tip 3 Portal Çerçeve Yapısının Maliyeti.....	194
6.	ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ.....	195
6.1.	Veri Toplama .....	195

6.2. Yazılı Programın Geliştirilmesi .....	195
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	197
8. KAYNAKLAR .....	200
EKLER.....	202
EK 4A : Tip 3 Yapısının Eleman İç Kuvvetleri.....	202
ÖZGEÇMİŞ .....	206



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2. 1 Tipik Portal Çerçeve Yapısı Aksonometrik Görünüşü.....	5
Şekil 2. 2 Yapı doğal titreşim moduna ait deplasmanlar .....	7
Şekil 2. 3 Düşey yüklemeler altındaki portal çerçevesinin eğilme momenti diyagramı .....	10
Şekil 2. 4 Asimetrik yüklemeler altındaki portal çerçevesinin eğilme momenti diyagramı .....	11
Şekil 2. 5 Kolon – kiriş bölgesi tipik birleşim detayı .....	11
Şekil 2. 6 Eşdeğer sallanma kusurları (EN 1993-1-1 §5.3.2 Şekil 5.2).....	13
Şekil 2. 7 Sallanma kusurlarının yapılandırma konfigürasyonu .....	13
Şekil 2. 8 İlk kusurların eşdeğer yatay kuvvetlerle değiştirilmesi.....	14
Şekil 2. 9 Eşdeğer stabilize edici kuvvet .....	16
Şekil 2. 10 Sıkıştırma elemanlarında ek yerlerinde kuvvetlendirici kuvvetler.....	16
Şekil 2. 11 Artan yüklere tabi bir portal çerçevesinin modeli .....	20
Şekil 2. 12 Moment / Dönme Davranışı ve Elastik Mükemmel Plastik Modeli .....	21
Şekil 2. 13 Elastik mükemmel plastik analiz yöntemi .....	22
Şekil 2. 14 Kategori A çerçevelerinin örnekleri .....	26
Şekil 2. 15 Kategori B çerçevelerinin örnekleri .....	27
Şekil 2. 16 Nominal olarak sert kolon tabanına model tipi .....	28
Şekil 2. 17 Mafsallı kolon taban örnekleri .....	29
Şekil 2. 18 Portal çerçeve kirişinin şematik gösterimi .....	34
Şekil 2. 19 Düzlem-dışı burkulmaya karşı sınırlama türleri.....	36
Şekil 2. 20 Birleştirilmiş yanal ve burulma kısıtlamasına örnek.....	36
Şekil 2. 21 Tipik portal çerçeve eğilme momenti diyagramı .....	40
Şekil 2. 22 Tipik portal çerçeve kiriş moment diyagramı .....	41
Şekil 2. 23 Bir portal çerçevesinin yanmış bölgesinde kısıtlamalar.....	42

Şekil 2. 24 Birleşim bölgesi için dikkate alınması gereken kesitler .....	43
Şekil 2. 25 Rüzgar yükseltme için tipik çatı aşıkları aralığı düzenlemesi .....	45
Şekil 2. 26 Düşey için tipik eğilme momenti diyagramı .....	47
Şekil 2. 27 Tipik bir kolonun cephe aşığının takviye eleman ayrıntısı .....	48
Şekil 2. 28 Tipik saçak detayı.....	49
Şekil 2. 29 Kabuğun alt tarafındaki plastik mafsallı ile tipik portal çerçeve kolonu .....	49
Şekil 2. 30 Kolon için stabilite bağlantıları .....	52
Şekil 2. 31 Alçak çerçeveler için tek çapraz destek .....	54
Şekil 2. 32 Uzun çerçeveler için K çapraz düzenlemesi.....	54
Şekil 2. 33 X tipi çapraz destek sistemi.....	54
Şekil 2. 34 Bir saçak dikmesi ile tek bir bölümde destek.....	55
Şekil 2. 35 Termal genişlemeye izin vermek için tipik çapraz destek.....	55
Şekil 2. 36 Bireysel, yerel rota çerçeveleri.....	56
Şekil 2. 37 Binanın tam uzunluğu boyunca hibrid çerçeve .....	56
Şekil 2. 38 Yapının diğer tarafında geleneksel destek ile bir taraftaki bir açıklığı portalize etmek .....	57
Şekil 2. 39 Açıklıklar ile bina tarafında tipik destek desen .....	58
Şekil 2. 40 Tipik destekleme sistemi .....	58
Şekil 2. 41 Tipik vinç kirişinin destekleme sistemi.....	59
Şekil 2. 42 Vinç kirişinin düzleminde ek desteğini gösteren ayrıntı .....	59
Şekil 2. 43 Her iki bitiş yuvasını gösteren plan görünüşü .....	61
Şekil 2. 44 Rüzgar kolonlarının yerleşimi ve plan görünüşü .....	61
Şekil 2. 45 Dairesel destekleme için tipik bağlantı detayı.....	61
Şekil 2. 46 Çapraz açılı kesitler kullanılarak her iki uç yuvasını gösteren plan görünüşü ..	62
Şekil 2. 47 İç flanşlara sabitleminin esneklik üzerindeki etkisi .....	63
Şekil 2. 48 Tipik sert burulma kısıtlama .....	63

Şekil 2. 49 Plastik mafsallarda destekleme .....	63
Şekil 2. 50 Sütunlar, kirişler ve desteklerden sürülebilir çerçeve .....	65
Şekil 2. 51 Geçiş çerçevesi üzerinde rüzgar yükler.....	66
Şekil 2. 52 Tipik bir kolonun cephe aşığının takviye eleman ayrıntısı .....	66
Şekil 2. 53 Portal bağlantı detayları .....	67
Şekil 2. 54 Portal çerçevede tipik uç plaka saçak bağlantısı .....	68
Şekil 2. 55 Tipik tepe birleşimi .....	69
Şekil 2. 56 Tipik olarak ani sert anı dayanıklı temel .....	70
Şekil 2. 57 Tipik olarak sabitlenmiş kolon tabanları .....	71
Şekil 2. 58 Yüksek momentler için nominal olarak rijit, dayanıklı taban.....	71
Şekil 2. 59 Temelerde yatay kuvvetlere direnç sağlama yöntemleri.....	74
Şekil 2. 60 Yangın sınır koşulunda portal çerçeve temeli .....	75
Şekil 2. 61 Tipik saçak detayı.....	76
Şekil 2. 62 Çoklu portal çerçeve tipi .....	77
Şekil 2. 63 Vadi kirişler.....	78
Şekil 2. 64 Yatay yükleme altında tipik iki-açılı tipik bir eğilme momenti şeması .....	79
Şekil 2. 65 Tipik iki-aralıklı çerçeve için alt çerçeveler.....	79
Şekil 2. 66 Tipik üç aralıklı çerçeve için istikrarsızlık durumu.....	80
Şekil 3. 1 Düzlem çerçeve elemanı .....	82
Şekil 3. 2 Eleman elastik yay modellenmesi .....	83
Şekil 3. 3 Elastik yayın tipik pozisyon durumu.....	84
Şekil 3. 4 Tipik düzlem kafes sistemi.....	85
Şekil 3. 5 Tipik düzlem kafes sistemin yay modeli.....	85
Şekil 3. 6 Eleman eksen takımının .....	86
Şekil 3. 7 Global eksene göre elemanın rijitlik matrisi .....	88
Şekil 3. 8 Genel eksen takımına göre yerdeğiştirmeler .....	89



Şekil 3. 9 Eleman uç yerdeğiştirmesi .....	94
Şekil 3. 10 Eleman uç kuvvetleri.....	95
Şekil 3. 11 Eleman uç yerdeğiştirmesi .....	97
Şekil 3. 12 Tipik bir çelik yapısı .....	99
Şekil 4. 1 Tipik yapı sistemi aksonometrik görünüşü .....	104
Şekil 4. 2 Tipik portal çerçeve çatı sistemi planı.....	105
Şekil 4. 3 Tipik portal çerçeve enkesiti .....	106
Şekil 4. 4 Tipik portal çerçeve cephe sistem görünüşü .....	107
Şekil 4. 5 Tipik portal çerçeve kar yükü yayılışı.....	109
Şekil 4. 6 Tipik portal çerçeve yüzeylerindeki basınç.....	110
Şekil 4. 7 Düşey duvar (cephe) etki bölgeleri (TS EN 1991-1-4 Şekil 7.5).....	113
Şekil 4. 8 Çift eğimli çatılar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 Şekil 7.8) .....	114
Şekil 4. 9 Tipik bir yapı için duvar etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları.....	117
Şekil 4. 10 Tip 1 için çatı etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları.....	117
Şekil 4. 11 Harita spektral ivme katsayıları.....	120
Şekil 4. 12 Yatay elastik tasarım spektrumu .....	122
Şekil 4. 13 Düşey elastik tasarım spektrumu.....	122
Şekil 5. 1 Çatı Sistem Planı (Tip 1) .....	126
Şekil 5. 2 Çatı aşığı yerleşim detayı ve yük etkime tipi .....	127
Şekil 5. 3 Çatı aşığı yerleşim detayı ve yük etkime tipi .....	129
Şekil 5. 4 Çatı aşığı tasarım sonuçları .....	129
Şekil 5. 5 Tipik Çerçeve Enkesiti (Tip 1).....	131
Şekil 5. 6 Yapı eleman bilgileri (Tip 1).....	132
Şekil 5. 7 Yapı tasarımı için yönetmelik tercihleri.....	133
Şekil 5. 8 Yapı eleman tasarım sonuçları (Tip 1 - GKT) .....	134
Şekil 5. 9 Yapı tasarımı için yönetmelik tercihleri (YDKT).....	135

Şekil 5. 10 Yapı eleman tasarım sonuçları (Tip 1 - YDKT) .....	136
Şekil 5. 11 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri (Tip 1).....	137
Şekil 5. 12 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri (Tip 1) .....	138
Şekil 5. 13 Tipik Çerçeve Enkesiti (Tip 2).....	140
Şekil 5. 14 Yapı eleman bilgileri (Tip 2).....	141
Şekil 5. 15 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri (Tip 2).....	144
Şekil 5. 16 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri (Tip 2) .....	145
Şekil 5. 17 Çatı Sistem Planı (Tip 3).....	147
Şekil 5. 18 Tipik Çerçeve Enkesiti (Tip 3).....	147
Şekil 5. 19 Elverişsiz yük birleşimlerinde elde edilen moment diyagramı .....	149
Şekil 5. 20 Kolon kesit özellikleri ve iç kuvvetler (Tip 3 - GKT).....	150
Şekil 5. 21 Profil Kesit Detayı.....	151
Şekil 5. 22 Tip 3 için kolon burkulma boyu katsayısı (GKT) .....	154
Şekil 5. 23 $L_b$ 'ye bağlı olarak karakteristik eğilme momenti .....	158
Şekil 5. 24 Çerçeve Kirişi Moment Diyagramı (Tip 3 - GKT) .....	159
Şekil 5. 25 Portal çerçeve kirişi kesit özellikleri ve detayı (Tip 3 - GKT).....	159
Şekil 5. 26 Profil Kesit Detayı.....	160
Şekil 5. 27 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri.....	168
Şekil 5. 28 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri .....	169
Şekil 5. 29 Kolon kesit özellikleri ve iç kuvvetler (Tip 3 - YDKT).....	170
Şekil 5. 30 Profil Kesit Detayı.....	171
Şekil 5. 31 Tip 3 için kolon burkulma boyu katsayısı (GKT) .....	174
Şekil 5. 32 Çerçeve Kirişi Moment Diyagramı (Tip 3 - YDKT) .....	178
Şekil 5. 33 Portal çerçeve kirişi kesit özellikleri ve detayı (Tip 3 - YDKT).....	178
Şekil 5. 34 Profil Kesit Detayı.....	179
Şekil 5. 35 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri.....	186

Şekil 5. 36 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri .....	187
Şekil 5. 37 Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi .....	188
Şekil 5. 38 Kolon – kiriş birleşim bölgesi kesit detayı .....	189
Şekil 5. 39 Birleşim bölgesi moment diyagramı .....	190
Şekil 5. 40 Gövde enkesitin taşıma gücü.....	190
Şekil 5. 41 Kolon – kiriş birleşim bölgesi akma sınır durumu .....	192
Şekil 5. 42 Tipik birleşim detayı .....	193



## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2. 1 Vinç kirişleri için destek gereksinimleri .....	59
Çizelge 4. 1 Sisteme etki eden ölü yükler .....	108
Çizelge 4. 2 Yapı tipleri için ortalama rüzgâr hızı .....	111
Çizelge 4. 3 Yapı tipleri için rüzgâr türbülansı değerleri .....	111
Çizelge 4. 4 Yapı tipleri için tepe rüzgar hız basıncı değerleri .....	112
Çizelge 4. 5 Düşey duvarlar için basınç katsayıları ( $c_{pi}=-0.3$ için) .....	112
Çizelge 4. 6 Düşey duvarlar için basınç katsayıları ( $c_{pi}=+0.2$ için) .....	112
Çizelge 4. 7 Çatı için dış basınç katsayıları (TS EN 1991-1-4:Çizelge 7.4a) .....	113
Çizelge 4. 8 Etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları .....	115
Çizelge 4. 9 Etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları .....	116
Çizelge 4. 10 Yerel zemin sınıfları (bkz. TBDY 2018§16.4 Tablo 16.1) .....	119
Çizelge 4. 11 Yerel Zemin Etki Katsayıları .....	121
Çizelge 4. 12 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları.....	123
Çizelge 4. 13 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS).....	124
Çizelge 4. 14 Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları.....	124
Çizelge 4. 15 Performans Hedefleri ve Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları.....	125
Çizelge 5. 1 Düşey Yer Değiştirme (Sehim) Kontrollü .....	168
Çizelge 5. 2 Düşey Yer Değiştirme (Sehim) Kontrollü .....	186
Çizelge 5. 3 Kolon – kiriş birleşimindeki kesit özellikleri .....	188
Çizelge 5. 4 Kesitlerin 1 ile 5 arası kesilme kontrolü.....	191
Çizelge 5. 5 Kesitlerin 1 ile 5 arası basınç etkisi kontrolü .....	191
Çizelge 5. 6 Eğilme momenti dayanımına göre kesit kontrolü .....	192
Çizelge 5. 7 Kesitlerin 1'den 5'e kadar olan kesitlerin doğrulanması.....	193

Çizelge 5. 8 Tip 3 yapısının tasarım türleri için maliyeti .....	194
Çizelge 7. 1 Yapı maliyetleri ve çelik konstrüksiyon ağırlıklarının karşılaştırılması .....	197
Çizelge 7. 2 yapı birim maliyetleri .....	198



## GRAFİKLERİN LİSTESİ

<b>Grafik</b>	<b>Sayfa</b>
Grafik 5. 1 Yapı yaklaşık maliyeti (Tip 1) .....	139
Grafik 5. 2 Yapı yaklaşık maliyeti (Tip 1) .....	146



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A</b>	Eleman enkesit alanı
<b>A<sub>g</sub></b>	Kayıpsız enkesit alanı
<b>A<sub>n</sub></b>	Net (kayıplı) enkesit alanı
<b>A<sub>e</sub></b>	Etkin net enkesit alanı ( $A_e = UA_n$ )
<b>A<sub>w</sub></b>	Tüm enkesit yüksekliği ile hesaplanan gövde alanı, ( $dt_w$ )
<b>C<sub>b</sub></b>	Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda moment düzeltme katsayısı
<b>C<sub>v1</sub></b>	Gövde kesme kuvveti dayanımı katsayısı
<b>C<sub>w</sub></b>	Çarpılma sabiti
<b>d</b>	Eleman kesitin düz gövde yüksekliği
<b>h</b>	Dikkate alınan uzunluğun herhangi bir ucundaki alt sütunun yüksekliği
<b>P<sub>g</sub></b>	Güvenli basınç kuvveti dayanımı
<b>P<sub>e</sub></b>	Elastik kritik burkulma yükü
<b>P<sub>n</sub></b>	Karakteristik eksenel kuvvet dayanımı
<b>P<sub>r</sub></b>	Yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı
<b>P<sub>br</sub></b>	Stabilite elemanın dik doğrultuda gerekli dayanımı
<b>P<sub>d</sub></b>	YDKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli eksenel kuvvet dayanımı
<b>F<sub>cr</sub></b>	Kritik burkulma gerilmesi
<b>F<sub>y</sub></b>	Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
<b>F<sub>u</sub></b>	Yapısal çelik karakteristik çekme dayanımı
<b>F<sub>e</sub></b>	Elastik burkulma gerilmesi
<b>F<sub>Ed</sub></b>	Yapı üzerindeki tasarım yüklemesi
<b>E</b>	Yapısal çelik elastisite modülü (210 000 Mpa)
<b>L</b>	Mesnet noktaları arasında kalan eleman uzunluğu

$L$	Çerçeve aralığı
$L$	Aşık veya döşeme rayının açıklığıdır.
$L_b$	Stabilite bağlantısı ile desteklenmeyen eleman uzunluğu
$L_{br}$	Desteklenmeyen kolon uzunluğu
$L_c$	Burkulma boyu ( $L_c = KL$ )
$L_p$	Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
$L_r$	Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma durumu için sınır uzunluk
$L_1, L_2$	Plastik mafsalsın saçaklara veya geçiş noktalarına olan mesafelerdir.
$M_n$	Karakteristik eğilme momenti dayanımı
$M_p$	Plastik eğilme momenti
$M_{maks}$	En büyük eğilme momenti dayanımı
$M_A$	Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki 1/4 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri
$M_B$	Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki 1/2 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri
$M_C$	Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki 3/4 noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri
$M_{cy}$	YDKT için tasarım eğilme momenti dayanımı veya GKT için güvenli eğilme momenti dayanımı
$M_{ry}$	Gerekli eğilme momenti dayanımı
$N_{pl,Rd}$	Brüt kesitin normal kuvvetlerine plastik direnç tasarımı
$N_{Ed}$	Tasarım eksenel kuvveti
$N_{cr}$	Kiriş çiftinin tamamı için elastik kritik burkulma yüküdür.
$N_{f,Ed}$	Plastik mafsalsal konumunda sabitlenmiş elemanın sıkıştırılmış flanşındaki eksenel kuvvettir.
$i$	Atalet yarıçapı
$i_y$	y-y eksenine göre atalet yarıçapı
$i_z$	z-z eksenine göre atalet yarıçapı
$\Omega$	Güvenlik katsayısı



$\Omega_c$	Basınç kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı
$\Omega_t$	Çekme kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı
$\Omega_v$	Kesme kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı
$\Phi$	Dayanım katsayısı
$\Phi_v$	Kesme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı
$\Phi_c$	Basınç kuvveti etkisi için dayanım katsayısı
$K$	Burkulma boyu katsayısı
$I_y$	y – eksenine göre atalet momenti
$I_z$	z – eksenine göre atalet momenti
$J$	Burkulma sabiti
$U$	Gerilme düzensizliği etki katsayısı
$T_a$	GKT yük birleşimleri altında hesaplanan gerekli çekme kuvveti dayanımı
$T_g$	Güvenli çekme kuvveti dayanımı
$m$	Kısıtlanan üye sayısıdır.
$f_y$	Çerçeve elemanının akma dayanımıdır.
$\beta_{br}$	Gerekli kayma rijitliği
$\lambda$	Genişliğin kalınlığa oranı
$\lambda_r$	Narinlik sınır değeri
$\lambda_p$	Kompak elemanlar için narinlik sınır değeri
$\bar{\lambda}$	Kiriş boyunca ölçülen sistem uzunluğunun uçlarında mafsallaşmış olarak kabul edilen kiriş veya kirişler için hesaplanan düzlem dışı boyutsal görünüştür.
$\alpha_{cr}$	Global modda elastik dengesizliğe neden olmak için tasarım yüklemesinin artırılması gereken faktör
$\alpha_{cr}$	Elastik kritik burkulma yük faktörüdür.
$\alpha_m$	Bir üye grubunu bireysel üye ile karşılaştırmaktan kaynaklanan istatistiksel faydaları tanımak için bir katsayıdır.
$\gamma_{M0}$	Kesitlerin direnci için kısmi faktör
$t_w$	Eleman gövde et kalınlığı

<b>h</b>	Kesme kuvveti etkisindeki eleman yüksekliği
<b>h<sub>0</sub></b>	I kesitli profil başlık ağırlık merkezleri arasındaki mesafe
<b>i<sub>ts</sub></b>	Etkin atalet yarıçapı
<b>t<sub>f</sub></b>	I kesitli profil başlık et kalınlığı
<b>k<sub>v</sub></b>	Eleman gövde levhası burkulma katsayısı
<b>V<sub>n</sub></b>	Karakteristik kesme kuvveti dayanımı
<b>V<sub>a</sub></b>	GKT yük birleşimleri ile elde edilen gerekli kesme kuvveti dayanımı
<b>V<sub>br</sub></b>	Gerekli kesme kuvveti dayanımı
<b>V<sub>g</sub></b>	Güvenli kesme kuvveti dayanımı
<b>V<sub>u</sub></b>	YDKT yük birleşimleri ile elde edilen gerekli kesme kuvveti dayanımı
<b>V<sub>d</sub></b>	Tasarım kesme kuvveti dayanımı
<b>W<sub>ply</sub></b>	y-ekseni etrafında plastik mukavemet momenti
<b>W<sub>ey</sub></b>	y-eksenine göre elastik mukavemet momenti

#### **Kısaltmalar Açıklama**

<b>AISC</b>	American Institute of Steel Construction
<b>ASCE</b>	American Society of Civil Engineers
<b>ASD</b>	Allowable Stres Design
<b>EYK</b>	Eşdeğer Yatay Kuvvetler
<b>KSD</b>	Kullanılabilirlik Sınır Durumu
<b>TS 648</b>	Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
<b>TS</b>	Türk Standardı
<b>TBDY 2018</b>	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
<b>TÇY 2018</b>	Türkiye Çelik Yapılar Yönetmeliği 2018
<b>GKT</b>	Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
<b>YDKT</b>	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım
<b>EN 1993-1-1</b>	Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings
<b>SAP 2000</b>	Structural Software for Analysis and Design

## 1. GİRİŞ

Ülkemizde çelik yapıların daha fazla gelişmesinin önündeki en büyük engellerden biri; yönetmelik, standart ve teknik şartname gereksiniminin yeterince karşılanmaması olmuştur. Tasarım konusunda bu sorun kısmen giderilmiş olsa da imalat ve uygulama safhasında standartlar ve teknik şartnameler yetersiz kalmıştır. Son 15 yılda meydana gelen büyük depremler sonrasında gerek yapı stoğumuzun mevcut durumuna, gerekse yapıların tasarım ve imalatına ve imar mevzuatına yönelik yoğun tartışmalar ve eleştiriler başlamıştır.

Ülkemizde çelik yapıların deprem yükü altındaki analizleri için DBYBHY-2007 ve tasarımı için TS 648 esasları kullanılıyordu [1]. Fakat söz konusu yönetmeliklerin çelik yapılarla ilgili kapsamlı bilgiler içermemesi sebebiyle daha çok başka ülkelerin kullanmış olduğu yönetmeliklere ihtiyaç duyulmaktaydı. Bunun sonucu olarak tüm bu konulara ilişkin gerekli düzeltme, düzenleme ve değişiklik çalışmaları yapılarak 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ve Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TÇY 2018) yönetmelikleri kullanılmaya başlanmıştır. [2].

### 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Tez çalışmasının amacı ; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) ve Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TÇY 2018) yönetmeliklerinde verilen ilgili koşullar esas alınarak, farklı tip çelik sanayi yapıların, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) kriterlerine göre analiz ve tasarım açısından irdelemektir.

Tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırması sonucunda, çelik yapıların analizinin farklı yönetmelik koşullarının dikkate alınması ile gerçekleştirildiği saptanmıştır. Benzer şekilde süneklik düzeyi sınırlı sistemler için çelik sanayi yapılarının TBDY 2018 ve TÇY 2018 esasları dikkate alınarak irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu sayede, TBDY 2018 ve TÇY 2018'nin esasları dikkate alınarak tasarlanacak çelik yapıların maliyet ve yapısal güvenlik açılarından bakıldığında getireceği avantajlar veya eksikliklerin belirlenmesi hedeflenmektedir.

## **1.2. Çalışmanın Yöntemi**

Çalışma kapsamında ülkemizde yeni kullanılan TBDY 2018 ve TÇY 2018’de verilen ilgili koşullar esasları açısından incelenmiştir. Yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi sınırlı sistemlerden oluşan tek katlı çelik sanayi yapıları ile yatay yük taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşan farklı çelik sanayi yapıların, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) kriterlerine göre analiz ve tasarımı yapılarak ve çelik yapıların maliyet ve yapısal güvenlik açılarından irdelenmiştir.

Yapı sistemlerinin analizlerinde SAP 2000 v19.2.1 ve C++ programları kullanılmıştır. Ayrıca analizlerde matris deplasman yöntemi kullanılarak yazılan yazılımdan faydalanılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde boyutlandırmanın temel ilkeleri, yapı güvenliği kavramları açıklanmış, emniyet gerilmesi yöntemi ve taşıma gücü yöntemi hesap esasları sunulmuştur.

## **1.3. Literatürde Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar**

Günümüzde TBDY 2018 ve TÇY 2018 yönetmeliklerinin anlaşılabilmesi, yorumlanabilmesi için, üniversiteler ve mühendisler tarafından çeşitli yayınlar yapılmaya başlanmıştır. Yönetmeliklerin yeni olmasından dolayı, ülkemizde konu ile ilgili olarak yapılmış yüksek lisans tez çalışmaları çok fazla bulunmamaktadır. Ancak, çelik yapıların analiz ve tasarımı incelemek için bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmaların bir kısmı şu şekilde sıralanabilir.

Ülkemizde deprem yönetmeliğine uyumlu, yeterli deprem dayanımı sağlanmış yeni bina ihtiyacı, aynı zamanda çelik bina ihtiyacını da tetiklemektedir. Ülkemizde, yapısal çeliği yüksek teknoloji olanaklarıyla üretecek, projelendirecek, uygulamasını gerçekleştirecek bilgi birikimine sahip, donanımlı, nitelikli, çelik yapı firmaları da mevcuttur. Fakat Türkiye gibi sürekli deprem riski altında olan bir ülke için çelik binaların avantajının anlaşılıp, uygulamasının yaygınlaşabilmesi için çelik yapılarında yaygınlaşarak toplumda aşinalık uyandırılması, tasarım standartlarının geliştirilmesi için akademik çalışmaların artırılması, sürekli eğitim ve bilinçlendirme çabalarının yoğunlaştırılması gerekmektedir [3].

Gardner ve Nethercot (2007) yaptıkları “Designers’ Guide to EN 1993-1-1 Eurocode 3: Design of steel structures general rules for buildings” adını taşıyan çalışmada Eurocode 3’ün anlaşılabilirliği ve yorumlanabilirliği için genel hesap esaslarını ve kurallarını açıklamış ve bu kurallar ile ilgili olarak sayısal örneklere yer vermişlerdir [4].

Çelik I kesitli profillerin yapılarda konsol kiriş olarak düzenlenmesi sık rastlanan bir durumdur ve bu elemanlar yapı içerisinde çoğunlukla kesitin kuvvetli eksenine etrafında basit eğilme etkisi altındadır. Kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine, kesit boyutlarına ve konsol boyuna bağlı olarak, kuvvetli eksenine etrafında basit eğilme etkisi altındaki elemanlarda önemli bir stabilite problemi olan yanal burulmalı burkulma oluşabilir. Bu durum elemanların tasarımında ilk akma momenti veya tam plastik moment gibi gerilme problemleri yanı sıra yanal burulmalı burkulma gibi stabilite problemlerinin de analizinin yapılması gerektiğini ortaya koyar. Yanal burulma burkulma halini incelemek için bugüne kadar birçok çalışma yapılmıştır [5].

Andrade, Camotim ve Providência e Costa, çelik kirişlerin elastik kritik yanal burulmalı burkulma momentinin tespiti için yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan üç faktörlü formülün uygulama alanına, tek eksene veya iki eksene göre simetrik, mesnette çarpılma serbest bırakılmış ya da önlenmiş I kesitli çelik konsol kirişleri de dahil etmişlerdir. Serbest uçta tekil yük ya da kiriş boyunca düzgün yayılı yük durumlarını, kuvvetin kesme merkezine veya başlıklarından birine etki etmesi hallerini de göz önüne alarak incelemişlerdir. Sınır şartlarına ve yükleme durumuna bağlı olan C1, C2 ve C3 faktörlerinin, I kesitli konsol kirişler için de bulunabilmesi için yaklaşık analitik denklemler sunmuşlardır [4].

Zhang ve Tong, ince duvarlı elemanların yanal burulmalı burkulmasını incelemek için kullanılan ve aralarında küçük farklar bulunan yaygın iki teori olan geleneksel teoriyi ve nispeten daha yeni olan diğer bir teoriyi incelemişlerdir. Bu iki teoriye göre hesaplanan tek eksene göre simetrik basit kirişlerin kritik yanal burulmalı burkulma yüklerinin birbirlerinden dikkate değer derecede farklı olabileceğini vurgulamışlar ve ince duvarlı elemanların yanal burulmalı burkulma analizi için yeni bir teori önermişlerdir [1]. Önerilen yöntem ve yukarıda söz edilen diğer iki yöntemle konsollarda düzgün yayılı yük ve uç noktada tekil yük durumları için çözümler yapmışlardır.

ŞENGEL ve KIRAÇ, çelik yapılarda elastik ve plastik yöntem çözümleri ve birleşimler için çelik bir yapının iki farklı hesap yöntemiyle çözümünü ele almışlardır. Kirişlerde, plastik hesap elastik hesaba göre %30 daha ekonomik, kolonlarda ise plastik hesap %10 daha ekonomiktir. Sistemin tümünde ise plastik hesap elastik hesaba göre %20 daha ekonomiktir [6].

Birçok çalışmada, çelik yapıların deprem yükleri altındaki davranışı 2007 deprem yönetmeliğine göre incelenmiştir. Deprem yükleri Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemine göre hesaplanmıştır. Depreme dayanıklı tasarım koşulları çeşitli örnek yapılar üzerinde analizleri yapılarak araştırılmıştır. Yapı analiz ve tasarımları için sonlu elemanlar yöntemine dayalı, genel amaçlı SAP2000 gibi paket programlarda yararlanılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar irdelenerek kıyaslamalar yapılmıştır [7].

2007 deprem yönetmeliğinde, moment aktaran çerçevelerden oluşan sistemleri oluşturan elemanlarının tasarımında deprem yüklerinin iletilmesinde etkin olan elemanlarla ilgili kriterler sunulmaktadır. Yönetmelik kriterleri doğrultusunda birtakım akademik çalışma yapılmıştır [8].

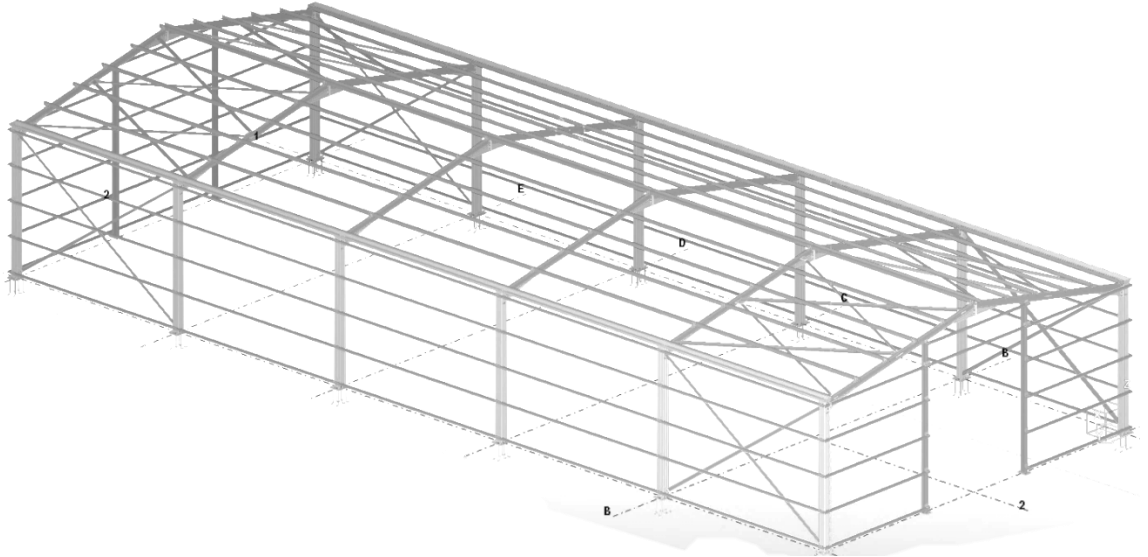
Çelik yapıları maliyet açısından ele alınması önem arz etmektedir. Bu tip yapıların, betonarme ve ahşap gibi yapılarla estetik ve yapım maliyeti açısından kıyaslandığında avantaj ve dez avantajları gözönünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda, çoğunlukla betonarme yapılarla kıyaslanma yapılmıştır. Sonuç olarak, çelik yapıların maliyeti betonarme yapılara nazaran daha yüksek çıkmaktadır [9].

Yavuz ve Olgun yaptıkları çalışmada, çelik yapılar ile çerçeve sistemleri bakımında incelenmiş ve kendi içerisinde bir takım parametreler kıyaslamışlardır. Bu çalışmada, genellikle maliyet açısından kıyaslama yapılmıştır [10].

## 2. ÇELİK PORTAL ÇERÇEVELER

Çelik portal çerçeveler, kullanım açısından oldukça verimli ve ekonomiktir. Tek katlı binalar, tasarım detaylarının maliyeti etkin olması koşuluyla ve tasarım parametreleri ve varsayımları iyi seçildiğinde ekonomik olur. Bu kriterlerin bulunduğu ülkelerin teknolojisi son derece gelişmiştir. Çelik portal çerçeve baskın biçimde tek katlı endüstriyel ve ticari binalar için kullanılır. Eğimli çatı binalarında en yaygın yapısal biçim ekonomi ve çok yönlü genişlik aralığı için önem arz etmektedir.

Portal çerçeve tek katlı sanayi yapıları arasında en yaygın olarak kullanılan yapısal formlardır. Bunun sebebi; çelik portal çerçeveli yapıların yapım maliyetinin düşük olması, çok yönlü genişlik aralığı olması ve bu binaların bakımının yapılması da basit olduğundan dolayıdır. Bu yapılar çeşitli ölçülerde tasarlanabilir. Tek katlı ve çift eğimli bir tipik portal çerçeve örneği Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2. 1 Tipik Portal Çerçeve Yapısı Aksonometrik Görünüşü

Bu bölümde, TBDY 2018 ve TÇY 2018 yönetmelikleri çelik portal çerçevelerin analiz ve tasarımı hakkında rehberlik etmektedir. Ayrıca, portal çerçeve yapımının avantajlarını gözden geçirir ve çalışmanın tamamı, çok aralıklı çerçeveler için sınırlı yönlendirmeli tek aralıklı çerçevelerle ilgilidir.

## 2.1. Kapsam

Bu çalışmada, tasarımcı dikkate alınarak TBDY 2018 ve TÇY 2018 esasları doğrultusunda çelik portal çerçevelerin analiz ve tasarımı incelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında, tek katlı ve tek açıklıklı portal çerçeveli yapıları ele almaktadır. Bu tip yapılar en yaygın olarak kullanılan yapısal formlardır. Portal çerçeve tasarımı için, SAP 2000 v19.2.1 yazılımı kullanılarak birinci mertebeden analiz temel alınmıştır. Ayrıca, ikinci mertebeden analiz içinde bu yazılım programı kullanılabilir.

## 2.2. Bilgisayar Destekli Tasarım

Portal çerçeve tasarımı için çok sayıda uygun olmayan yazılımlar yaygın olarak mevcuttur. Bu nedenle, yapıların analiz ve tasarımı için yapısal yazılımlar kullanılmaya dikkat edilmelidir. Analiz ve tasarım aşamaları aşağıda verilen sıralamaya göre yapılmalıdır.

- Elastik-plastik analiz yönteminin belirlenmesi
- İkinci dereceden etkilere izin verilmesi
- Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrulanması
- Bağlantıların doğrulanması.

Bu çalışmalar, yönetmeliklerde belirtilen bir dizi farklı yük kombinasyonu dikkate alınarak yapılır. Bir portal çerçevesinin tasarımı için, yapısal yazılımların kullanılması tasarım sürecini önemli ölçüde kısaltır. Manuel tasarım, elemanların başlangıçta boyutlandırılması için yararlı olabilirken tasarım sürecinin kapsamlı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Bunun için, yapısal yazılım programları kullanılmalıdır.

## 2.3. Portal Çerçevelerin Yapısı

### 2.3.1. Çerçeve Davranışı

Herhangi bir yapı için güç kontrolü, ancak genel analizin gerçek yapının davranışını iyi gösterdiği takdirde geçerlidir.

Herhangi bir çerçeve yüklendiğinde şekil değiştirir ve yük altındaki şekli deforme olmamış şekilden farklıdır. Şekil değiştirmeler, elemanlardaki eksenel yüklerin, Şekil 2.2'de şematik

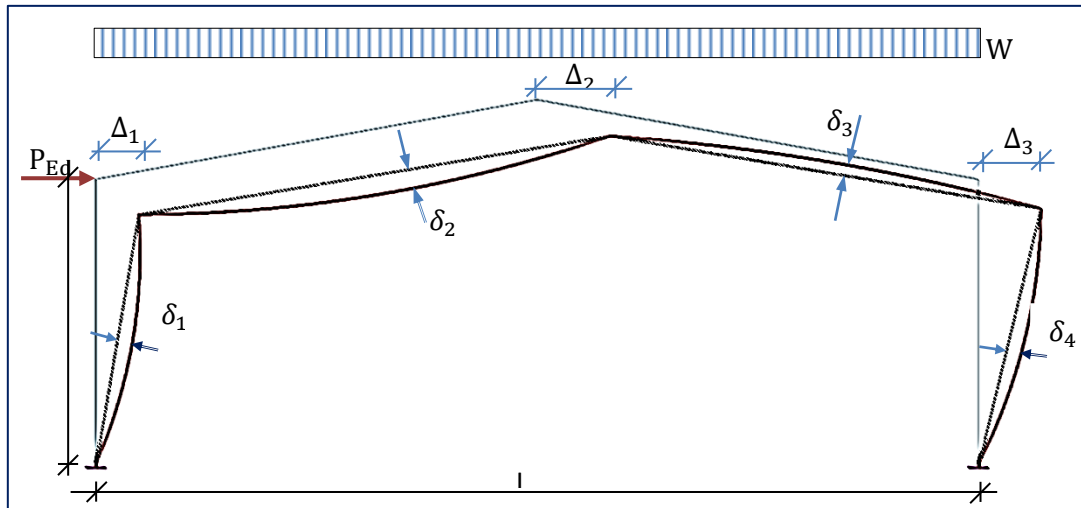


olarak gösterildiği gibi, analizde varsayımlardan farklı çizgiler boyunca hareket etmesine neden olur. Şekil değiştirmeler küçükse, sonuçlar çok küçüktür ve birinci derece analiz (şekil değiştirmenin etkisi ihmal edilir) yeterince doğrudur. Bununla birlikte, sapmalar eksenel yükün şekil değiştirmiş model üzerindeki etkileri önem arz edecek boyuttaysa, çerçevenin ikinci dereceden etkilere duyarlı olduğu söylenir. Bu ikinci dereceden etkiler veya P-delta etkileri, çerçevenin direncini azaltmak için yeterli olabilir.

Bu ikinci dereceden etkiler geometrik etkilerdir ve malzemelerin doğrusal olmayan davranışıyla karıştırılmamalıdır. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi, ikinci dereceden etkilerin iki kategorisi vardır.

- ✓ Sapmaların eleman uzunluğu dâhilindeki etkileri, genellikle P –  $\delta$  etkileri.
- ✓ Elemanların kesişme yer değiştirmelerinin etkileri genellikle P –  $\Delta$  etkileri olarak adlandırılır.

P –  $\delta$  ve P –  $\Delta$  etkilerinin pratik sonucu, birinci mertebeden analiz ile hesaplananların altında çerçeve ve elemanlarının rijitliğini azaltmaktır. Tek katlı portal çerçeveler, kirişlerde ve kolonlarda eksenel sıkıştırma kuvvetlerinin etkilerine duyarlıdır. Bu eksenel kuvvetler, kiriş ve kolonların elastik kritik burkulma yüklerinin yaklaşık %10'u civarındadır; bu seviyenin etrafında etkin rijitlikteki azalma önemli hale gelir.



Şekil 2. 2 Yapı doğal titreşim moduna ait deplasmanlar

### 2.3.2. İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkileri, yalnızca sapmaları değil aynı zamanda birinci dereceden analizle hesaplananların ötesinde momentler ve kuvvetler de artar. İkinci dereceden analiz, artan yük altında artan sapmanın etkilerinin kabul edildiği bir analiz yöntemidir. Sonuçlar, birinci derece analiz sonuçlarına göre, elemanlardaki  $P - \delta$  ve sistem genelindeki  $P - \Delta$  etkilerinin büyüklüğüne bağlı olarak farklılık gösterecektir.

Deforme olmuş geometrinin etkileri (ikinci mertebeden etkiler), yapısal davranışı önemli ölçüde değiştirirlerse dikkate alınmalıdır. EN 1993-1-1§5.2.1(3)'e göre, ilgili iç kuvvetlerin veya deformasyonların neden olduğu yapısal davranış değişikliklerinin ihmal edilmesi durumunda, yapı için birinci dereceden analizde ikinci dereceden etkiler göz ardı edilebilir. İkinci dereceden etkiler şu durumlarda ihmal edilebilir [4]:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10 \text{ ise elastik analiz; } \alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ ise plastik analiz} \quad (2.1)$$

TÇY 2018§6.2.1(b) 'ye göre,  $P - \delta$  etkiler şu durumlarda ihmal edilebilir:

- ✓ Düşey yüklerin düşey kolonlar ve perdeler tarafından taşınması
- ✓ Gözönüne alınan burkulma doğrultusundaki moment aktaran çerçeve kolonlarının taşıdığı düşey yüklerin toplam düşey yüklerin 1/3 ünü aşmaması
- ✓ YDKT yük birleşimlerinden veya GKT yük birleşimlerinin 1,6 katına eşit bir yüklemekten dolayı ve azaltılmış rijitlikler kullanılarak hesaplanan ikinci mertebe yerdeğiştirmelerin birinci mertebe yerdeğiştirmelere oranı olan  $B_2$  katsayısının 1,7 ye eşit veya daha küçük olması

Ancak, aksenal basınç ve eğilme etkisindeki tüm tekil elemanların değerlendirilmesinde daima  $P - \delta$  etkileri hesaba katılmalıdır.

- ✓ Analizde, sistem stabilitesini etkileyen tüm düşey yükler gözönüne alınacaktır.
- ✓ YDKT yönteminde, ikinci mertebe hesabı YDKT yük birleşimleri için yapılacaktır. GKT yönteminde ise, ikinci mertebe hesabı GKT yük birleşiminin 1,6 katına eşit bir yüklemeye için yapılacaktır, ancak elde edilen sonuçlar 1,6 kat sayısına bölünerek gerekli dayanım bulunacaktır.

İkinci merteye etkileri için, daha fazla ayrıntı EN 1993-1-1§5.2 ve TÇY 2018§6.5 bölümlerinde verilmektedir.

İkinci dereceden etkiler önemli olduğunda, iki seçenek mümkündür:

- I. İkinci dereceden analiz yapabilen yazılım kullanmak.
- II. İkinci dereceden etkiler için birinci dereceden analiz kullanarak el hesapları.

Birinci dereceden hesaplama yapılırken, ikinci modda 'modifiye edilmiş birinci dereceden analiz' olarak da uygulanan eylemler artırılır ve ikinci dereceden etkilere izin verilir.

### 2.3.3. Tasarım Özeti

Portal çerçevelerin, detaylı analiz ve tasarımı için şu hususlara dikkat edilmelidir.

- ✓ İkinci dereceden etkiler, genel çerçeve  $P - \Delta$  ve elemanlardaki  $P - \delta$  etkileri içinde dikkate alınır.
- ✓ İkinci dereceden etkiler yönetmeliklerde belirtilen faktörü ile nitelendirilir.
- ✓ Portal çerçeveler için, EN 1993-1-1§5.2.1(4) 'te  $\alpha_{cr}$  hesaplamak için verilen ifade belirli sınırlar dâhilinde kullanılabilir.
- ✓ Pratik portal çerçevelerinde ikinci derece etkiler önemli olabilir.
- ✓ İkinci dereceden etkiler yazılım kullanılarak yapılan titiz ikinci dereceden analiz ya da eylemler üzerinde bir yükseltme faktörü tarafından değiştirilen bir birinci dereceden analiz ile açıklanabilir.

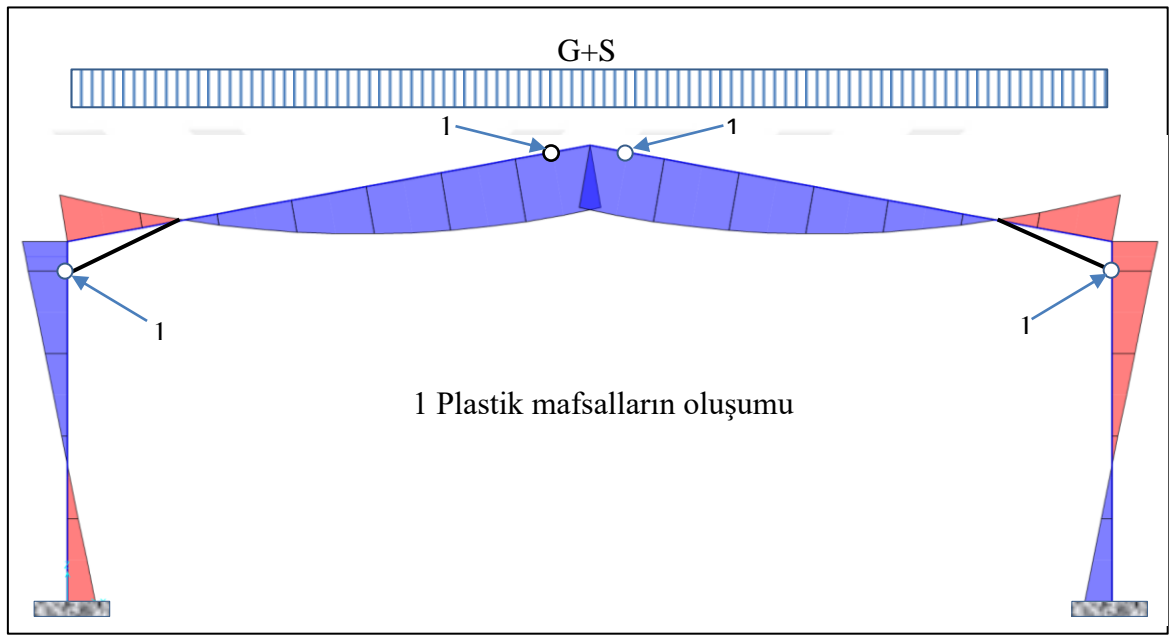
### 2.4. Nihai Limit Durumları

Nihai sınır durumu için, analizi yöntemleri genel olarak elastik ve plastik analiz olmak üzere iki çeşittir. İkinci merteye etkileri hem plastik hem de elastik-plastik analizleri kapsar.

Yapı elemanlarında mafsal oluşumu ve maksimum moment noktaları ve momentin çerçevenin etrafında plastik analizlere özgü olarak yeniden dağıtılması, çoğu portal çerçevesinin ekonomisinde anahtardır. Büyük gerilme oluşan bölgeleri 'rahatlatır' ve çerçevenin az kullanılan parçalarının kapasitesinin daha fazla harekete geçirilmesini

sağlarlar. Bu plastik mafsall oluşumları, eğilme momentinin yük birleşimlerinin altındaki yük seviyelerinde plastik momente veya dirence eriştiği kesimlerde meydana gelir.

Simetrik dikey yükler altında simetrik bir portal için ideal bir 'plastik' bükülme momenti diyagramı Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bu, plastik katlama mekanizması için plastik mafsalların konumunu gösterir. Şekillenecek ilk mafsall normal olarak birleşim bölgelerine yakın olur. Daha sonra, portal çerçevesinin orantılarına bağlı olarak, maksimum çökme anında mafsallar tepenin hemen altında oluşur.

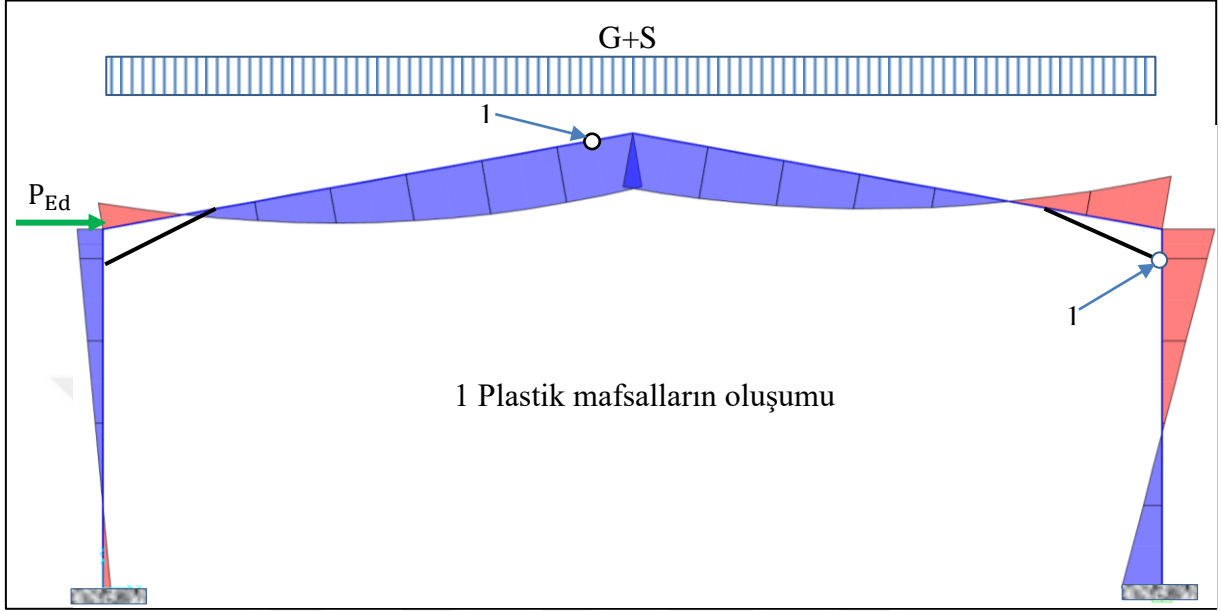


Şekil 2. 3 Düşey yüklemeler altındaki portal çerçevesinin eğilme momenti diyagramı

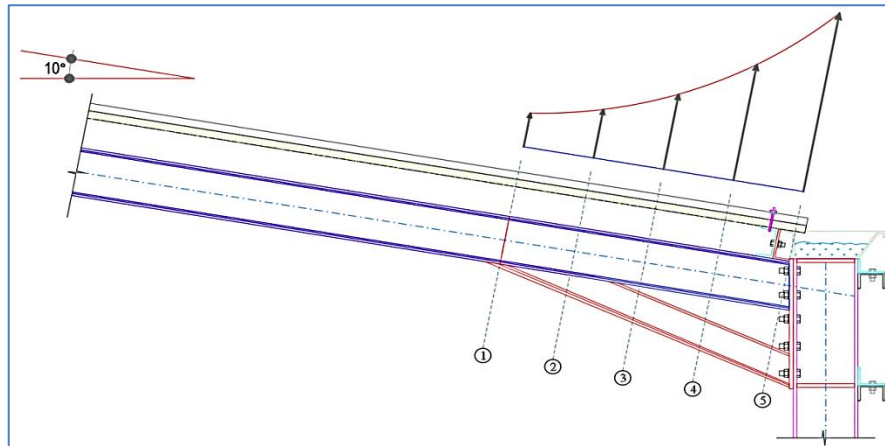
Temele ankastre olarak sabitlenmiş olan bir portal çerçeve yapısı, birinci dereceden hiperstatiktir. Bu nedenle, bir mekanizma yaratmak için iki mafsall oluşumu yeterlidir. Şekil 2.3'te gösterilen dört mafsall yalnızca simetri nedeniyle ortaya çıkar. Uygulamada, malzeme mukavemeti ve kesit boyutundaki değişiklikler nedeniyle, mekanizmanın yaratılması için sadece bir tepe ve bir saçak mafsallı oluşur. Gerçek yapıda hangi bölgelerde mafsall oluşacağı konusunda belirsizlik olduğu için, simetrik bir düzenleme varsayılır ve çerçevesinin her iki yanındaki mafsall konumları yönetmeliklerde belirtilen kriterler çerçevesinde sınırlandırılır.

Çoğu yük kombinasyonu, eşdeğer yatay kuvvetler veya rüzgar yükleri içerdikleri için asimetrik olacaktır. Şekil 2.4'de tipik bir yükleme diyagramı ve bükülme momenti

diyagramı gösterilmektedir. Hem rüzgâr hem de deprem yük etkilerinden dolayı her iki yönde de hareket edebilir, yani çerçevenin her iki yanındaki muhtemelen mafsall oluşum konumlarının sınırlandırılması gerekir.



Şekil 2. 4 Asimetrik yüklemeler altındaki portal çerçevesinin eğilme momenti diyagramı Eleman birleşim bölgeleri takviye ile sabitlenmiş bir çerçevenin elastik analizinden kaynaklanan tipik bir eğilme momenti diyagramı Şekil 2.4'teki gibi ele alırsak; maksimum moment (saçaklardaki) plastik bir analizden hesaplanan maksimum momentten daha yüksek olabilir. Bu daha büyük eğilme momentleri için hem kolon-kiriş birleşimin farklı tasarlanmalıdır. Daha yüksek eğilme momentine uyum sağlamak için Şekil 2.5'te gösterildiği gibi ağız boşluğunun yaklaşık %15'i kadar uzatılabilir.



Şekil 2. 5 Kolon – kiriş bölgesi tipik birleşim detayı

### 2.4.1. Geometrik Kusurlar

Çerçeve kusurları, EN 1993-1-1§5.3.2 ve TÇY 2018§6.2.2’de ele alınmıştır. Çerçeve geometrik kusurları genel olarak modellenmelidir. Çerçeve göbek dışı olarak modellenebilir veya alternatif olarak kusurlara izin vermek için çerçeveye eşdeğer yatay kuvvetler (EYK) etkitilebilir [11].

Yönetmeliklere göre geometrik ön kusurlar aşağıda verilmiştir.

#### EN 1993-1-1§ 5.3’e Göre Geometrik Kusurlar

Çerçeve kusurları EN 1993-1-1§5.3’e göre, başlangıçtaki bir takım geometrik kusurların etkilerini kapsayacak şekilde uygun analizler yapısal analizlere dâhil edilmelidir [4].

Eşdeğer geometrik kusurlar, eleman tasarımında dikkate alınmalı, tüm kusurların olası etkilerini yansıtan değerlerle birlikte kullanılmalıdır. EN 1993-1-1§5.3’e göre dikkate alınacak kusurlar aşağıda verilmiştir.

#### *Çerçeveler ve Destek Sistemleri İçin Küresel Kusurlar*

Çerçeveler ve destek sistemleri için küresel kusurlar EN 1993-1-1§5.3.2’de verilen esaslar dikkate alınarak belirlenebilir. Kusurlar aşağıda verilmiştir:

#### Küresel ilk darbe kusurları

Küresel ilk darbe çerçeve kusurları, EN 1993-1-1§5.3.2(a)’da verilen kriterler esas alınarak kontrol edilmelidir (Bkz. Şekil 2.6).

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m \quad (2.2)$$

Bu terimler :

$\phi_0$  : Temel değerdir ( $\phi_0 = 1/200$ )

$\alpha_h$  : Kolonlara uygulanan yükseklik h için azaltma faktörüdür:

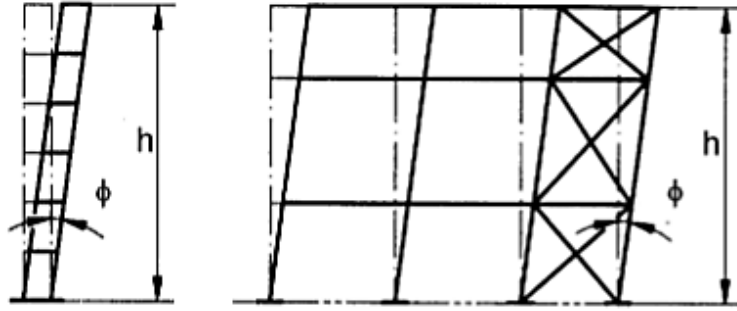
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \text{ fakat } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0$$

h : metre cinsinden yapının yüksekliği

$\alpha_m$  : Bir satırdaki kolon sayısı için azaltma faktörüdür:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

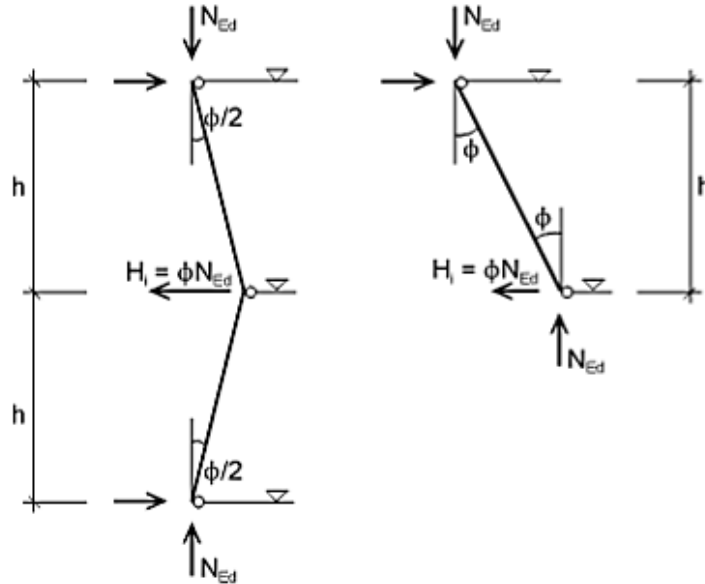
m : Sadece düşey yük taşıyan sütunları içeren bir satırdaki sütun sayısıdır. Düşey yük taşıyan,  $N_{Ed}$ , düşey düzlemde kolonun ortalama değerinin %50'sinden az olmamalıdır. Tekli portal çerçeve için,  $m = 2$ 'dir.



Şekil 2. 6 Eşdeğer sallanma kusurları (EN 1993-1-1 §5.3.2 Şekil 5.2)

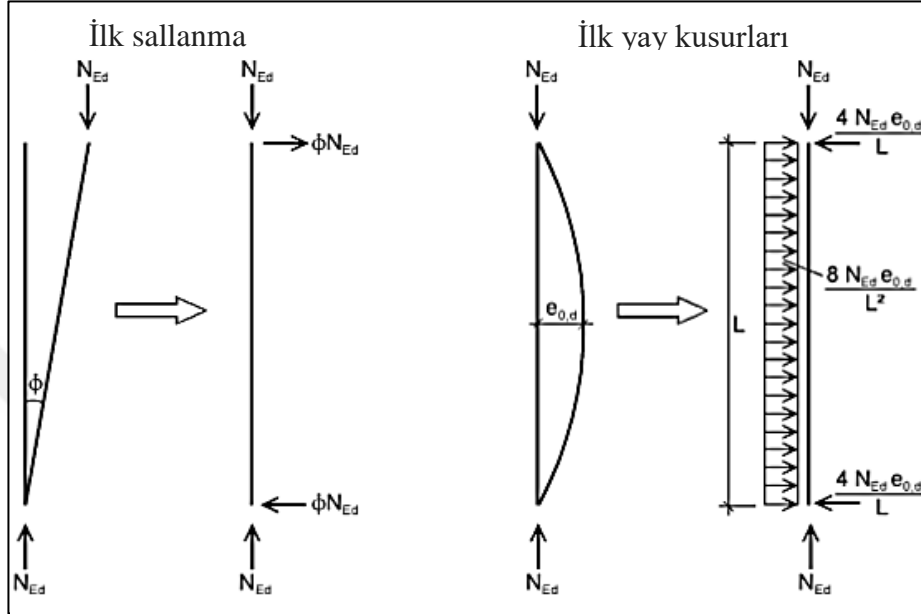
#### Eğilme burkulması için üyelerin nispi başlangıçtaki yerel yay kusurları

EN 1993-1-1 §5.3.2(5)B'de belirtilen, yatay kuvvetlerin zemin diyaframlarına tespiti için, Şekil 2.7'de verilen kusurların konfigürasyonu uygulanmalıdır; burada, yüksekliği h olan tek bir kat olduğu varsayılarak Denk. (2.2) 'den elde edilen bir darbe kusurudur.



Şekil 2. 7 Sallanma kusurlarının yapılandırma konfigürasyonu

Portal çerçeveler için, ara kat yapılması durumunda Şekil 2.7’de belirtilen bu kusur tipi oluşabilir. Bu kusurlar global analiz yapılması durumunda ihmal edilebilir. Ancak ikinci mertebeden duyarlı sistemler için, çerçevenin yapısal analizine EN 1993-1-1§5.3.2 (6)’deki esaslar baz alınarak dâhil edilmelidir.



Şekil 2. 8 İlk kusurların eşdeğer yatay kuvvetlerle değiştirilmesi

Bu ilk sallanma kusurları, tüm ilgili yatay yönlerde uygulanmalıdır, ancak her seferinde sadece bir yönde düşünülmelidir.

İlk sallanma kusurunun ve yerel yay kusurlarının etkileri, her bir sütun için uygulanan eşdeğer yatay kuvvetler sistemleriyle değiştirilebilir. Eşdeğer yatay kuvvetleri,  $\phi$  ve  $e_0$  değerlerinin tabandaki dikey reaksiyon ile çarpılarak hesaplanabilir. Eşdeğer yatay kuvvetler, her sütunun üstünde aynı yönde yatay olarak uygulanır. Bu değerler;  $\phi$  değeri Denk. (2.1) ile hesaplanır ve  $e_0/L$  değerleri EN 1993-1-1§5.3.2 Tablo 5.1’de verilmiştir.

EN 1993-1-1§5.3.2 (4),  $H_{Ed} \geq 0,15V_{Ed}$  olduğunda sallanma kusurlarının dikkate alınmayabileceğini belirtmektedir. Ancak, tabandaki net toplam yatay reaksiyonu net toplam dikey reaksiyonu ile karşılaştırarak test edilmesi önerilir. Çoğu durumda EN 1993-1-1§5.3.2 (4)’te verilen ifade, rüzgâr eylemlerini içeren yük birleşimlerinde eşdeğer yatay kuvvetlerinin gerekli olmadığı anlamına gelecektir. Bununla birlikte, Eşdeğer yatay kuvvetler, sadece yerçekimi eylemlerinin kombinasyonlarına dâhil edilmelidir.



### Destek Sistemlerinin Analizi İçin Kusur

Kiriş veya sıkıştırma elemanlarının uzunluğu içinde yanal stabilite sağlamak için gerekli olan destekleme sistemlerinin analizinde, kusurların etkileri, ilk yay kusuru şeklinde, tutturulacak elemanların eşdeğer geometrik kusurları ile dâhil edilmelidir.

$$e_0 = \alpha_m L / 500 \quad (2.3)$$

Bu terimler :

$\alpha_m$  : Bir satırdaki sütun sayısı için azaltma faktörüdür:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

m : Sadece düşey yük taşıyan sütunları içeren bir satırdaki sütun sayısıdır.

L : destek sisteminin açıklığıdır.

Kolaylık sağlamak için, üyelerin bir yaylama sistemi tarafından tutturulacak olan ilk yay kusurlarının etkileri, Şekil 2.9 gibi eşdeğer stabilizasyon kuvveti ile değiştirilebilir:

$$q_d = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} \quad (2.4)$$

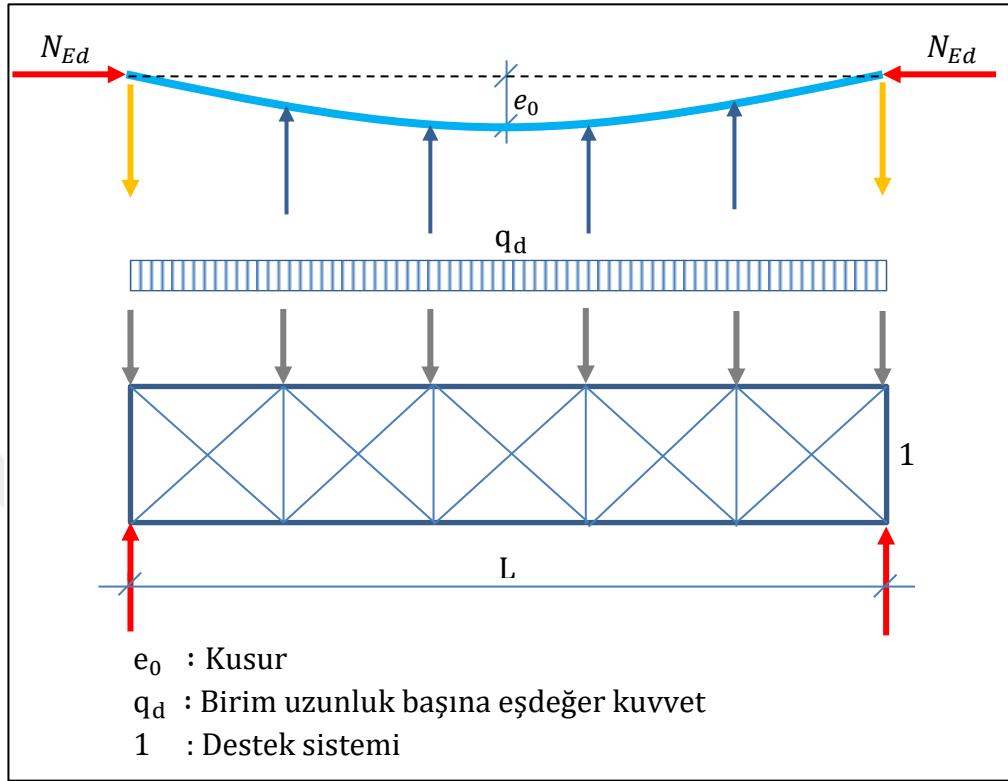
$\delta_q$  : kıvrım sisteminin, q artı birinci sipariş analizinden hesaplanan herhangi bir harici yük nedeniyle düzlemsel sapmasıdır. İkinci dereceden teori kullanılırsa 0 olarak alınabilir.

Sabit yükseklikteki bir kirişin sıkıştırma flanşını stabilize etmek için destek sisteminin gerekli olduğu durumlarda, Şekil 2.9'daki  $N_{Ed}$  kuvveti aşağıda verilen ampirik formülle hesaplanabilir:

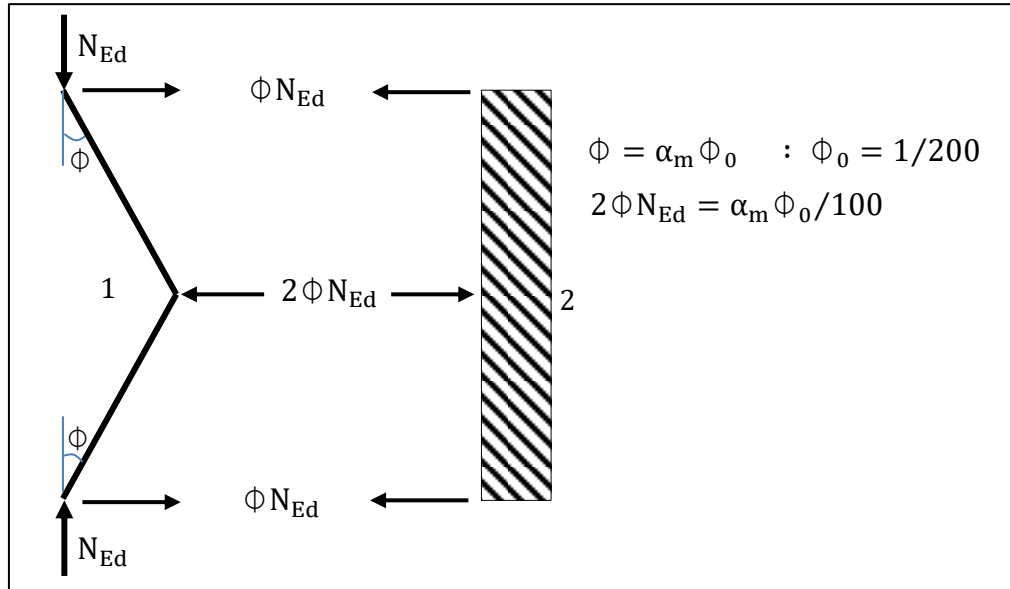
$$N_{Ed} = M_{Ed} / h \quad (2.5)$$

Kirişlerin veya sıkıştırma elemanlarının birleştirildiği noktalarda, destekleme sisteminin, bu noktaya eklenmiş olan her bir kiriş veya sıkıştırma elemanı tarafından kendisine uygulanan  $\alpha_m N_{Ed} / 100$ 'e eşit bir yerel kuvvete direnebildiği ve aktarılacağı da doğrulanmalıdır. Bu kuvvet, kiriş veya sıkıştırma elemanının bağlandığı bitişik noktalarına

uygulanır (Bkz. Şekil 2.10). Ayrıca, bağlama sistemlerine etki eden herhangi bir harici yük de dâhil edilmelidir.



Şekil 2. 9 Eşdeğer stabilize edici kuvvet



Şekil 2. 10 Sıkıştırma elemanlarında ek yerlerinde kuvvetlendirici kuvvetler

### *Eleman Kusurları*

Elemanların burkulma direncine yönelik formüller içerisinde, elemanların yerel yay kusurlarının etkileri, EN 1993-1-1 §6.3'te verilen kriterler esaslar baz alınacaktır.

EN 1993-1-1 §5.3.2'ye göre, eleman kusurları ve elemanların stabilitesinin hesaplanması değerlendirilmelidir.

Bir elemanın yanal burulma burkulması, profilin zayıf eksenini için eşdeğer ilk yay kusurudur. Genel olarak ek bir burulma kusuruna izin verilmesine gerek yoktur.

### TÇY 2018 § 6.2.2'ye Göre Geometrik Kusurlar

TÇY 2018 §6.2.2'de verilen ilgili koşullar esas alınarak geometrik ön kusurlar gözönüne alınması gerekmektedir. Bu kusurların yapısal stabiliteye etkileri doğrudan doğruya modellenemediği gibi, fiktif kuvvetler kullanarak da hesaba katılabilir. Yapısal stabilite analizinde gözönüne alınan sistem ön kusurları, düğüm noktalarının konumundaki geometrik ön kusurlar olarak tanımlanmaktadır.

### *Geometrik Ön Kusurların Doğrudan Doğruya Modellenmesi*

TÇY 2018 §6.2.2.1'e göre, geometrik ön kusurların modellenmesinin genel yöntemi, bu sistem ön kusurlarının analizde doğrudan doğruya gözönüne alınmasıdır. Bunun için yapı sistemi, düğüm noktalarının yerdeğiştirmiş konumları esas alınarak analiz edilir. Düğüm noktalarının konumlarındaki sapmaların değerleri ve sistem üzerindeki dağılımını en elverişsiz etkileri oluşturacak şekilde seçilmelidir.

Geometrik ön kusurların modellenmesinde, yapıya etki eden dış yüklerden oluşan yerdeğiştirme durumu ve olası burkulma modu ile benzer olması öngörülmelidir. Ön kusurları temsil eden yerdeğiştirmelerin değerleri, eğer biliniyorsa yapı sisteminin gerçek ön kusurlarına eşit olarak alınmalı ve ilgili yönetmeliklerin öngördüğü yapı toleransları kullanılmalıdır.

Düşey yüklerin düşey çerçeve, kolon ve perde tarafından taşındığı sistemlerde, TÇY 2018 §6.2.2.2 (a)'da verilen ilgili koşullar baz alınacaktır.

### *Geometrik Ön Kusurlar İçin Fiktif Yüklerin Kullanılması*

TÇY 2018§6.2.2.2'ye göre, düşey yüklerin düşey çerçeve, kolon ve perdeler tarafından taşındığı yapı sistemlerinde düğüm noktalarının konumundaki geometrik ön kusurların aşağıda tanımlandığı şekilde belirlenen yatay fiktif yükler ile gözönüne alınmasına izin verilebilir. Sistem ön kusurlarını temsil eden bu fiktif yükler şekildeğiştirmemiş orijinal sistem üzerine etkitilecektir.

- (a) Fiktif yükler her kat düzeyinde sisteme etkitilecektir. Bu yükler yapı sistemine etkileyen tüm düşey ve yatay yük birleşimlerine eklenecektir. Ancak, YDKT yük birleşimlerinden veya GKT yük birleşimlerinin 1,6 katına eşit yüklemelerden dolayı ve azaltılmış rijitlikler kullanılarak hesaplanan ikinci mertebe yerdeğiştirmelerin birinci mertebe yerdeğiştirmelere oranının 1,7 değerine eşit veya daha küçük olması halinde, geometrik ön kusurların yatay yükleri içermeyen düşey yük birleşimlerinde hesaba katılması yeterlidir.

Yatay fiktif yükler, TÇY 2018§6.2.2.2'de verilen Denk.(2.6) ile hesaplanacaktır.

$$N_i = 0,002\alpha Y_i \quad (2.6)$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

$\alpha = 1,0$  (YDKT) veya  $\alpha = 1,6$  (GKT) değerindeki katsayılar.

$N_i$  : (i) kat düzeyine etkitilecek yatay fiktif yük.

$Y_i$  : YDKT veya GKT yük birleşimleri ile belirlenen toplam düşey yük.

- (b) Her kat düzeyindeki düğüm noktalarına etkitilen fiktif yükler, yapısal stabilite açısından sistemde en elverişsiz etkileri oluşturacak doğrultu ve yönde uygulanacaktır.
- (c) Denk.(2.16) de yer alan 0,002 katsayısı, katlar arasında yapım toleransına bağlı olarak tanımlanan 1/500 oranındaki bir sistem ön kusuruna karşı gelmektedir.

## 2.5. Analiz yöntemleri

### 2.5.1. Elastik Analiz

Elastik analiz, genel yapılar için en yaygın analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemi, tüm durumlarda kullanılabilir. Genellikle plastik analizlere göre daha az ekonomik portal yapıları verecektir. EN 1993-1-1§5.4'te kesit sınıfı Sınıf 1 veya Sınıf 2 olması koşuluyla elastik analiz sonuçlarıyla plastik kesit direncinin kullanılmasına izin verir. Ek olarak, EN 1993-1-1§5.4.1 (4)B'de tanımlanan moment yeniden dağıtımının % 15'ine izin verir.

TÇY 2018§5.2.7'ye göre, doğrusal elastik teorisi ile analizi yapılan yapıların kirişlerinde, düşey yüklerden oluşan mesnet momentlerinin moment yeniden dağıtımının en çok %10'una izin vermektedir. Moment yeniden dağıtımının uygulanabilmesi için, bazı hususlar aşağıda verilmiştir.

- (a) Kiriş enkesiti, TÇY 2018§5.4.1 de tanımlanan kompakt enkesit sınıfına girmelidir.
- (b) Kirişin yanal olarak desteklenmeyen uzunluğu,  $L_b$ , TÇY 2018§9.13.5'te verilen koşulu sağlamalıdır.
- (c) Kiriş malzemesinin karakteristik akma gerilmesi 450 MPa değerini aşmamalıdır.
- (d) Kirişin moment aktaran mesnet birleşimleri yarı rijit (elastik) olmamalıdır.
- (e) Kirişin aksenal kuvveti, TÇY 2018§5.4.1(e)'de verilen sınır değerlerini aşmamalıdır.

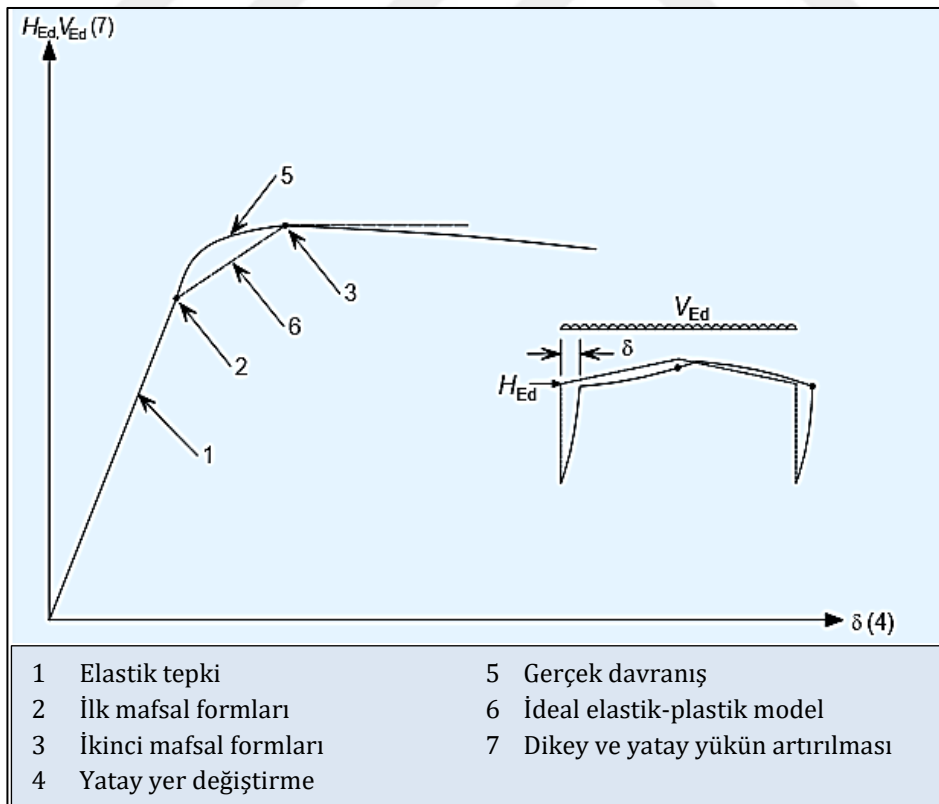
Çelik tasarımına daha az aşına olan tasarımcılar, plastik direnç momentinin kullanılması ve momentin elastik analizi ile birlikte yeniden dağıtılmasıyla şaşırabilirler. Bununla birlikte, uygulamada şunlar unutulmamalıdır:

- (1) Kalıntı gerilmeler, eleman kusurları, varsayımlardan farklı olan gerçek atalet, bağlantıda gerçek dış bağlantı sağlamlığı ve bağlantılarda uygunsuzluk farklı olduğundan, momentlerin herhangi bir karedeki gerçek dağılımı, elastik analizle öngörülen değerden büyük ölçüde farklılık gösterebilir.
- (2) Eleman kesitlerinde, yerel çökmelere bağlı olarak kapasitede önemli bir azalma olmadan önce bir miktar plastik dönüşüme muktedirdir. Bu, momentlerin yönetmeliklerde belirtilen (%15 veya %10) oranda elastik analizden belirlenen anlık momentlerden yeniden dağılımını haklı gösterir.

Elastik analizin sonuçları, bu nedenle, uygulanan yüklerle dengelenmiş olan makul derecede gerçekçi bir iç kuvvet sisteminden başka bir şey değildir.

Bir portal çerçeve kirişinde, mesnette eğilme momentinin %15'ine kadar olan kısmı, eğilme momenti, kirişin plastik direncini aşarsa ve yeniden dağıtımdan kaynaklanan momentler ve kuvvetler geri kalanı tarafından taşınabilirse yeniden dağıtılabilir. Alternatif olarak, kirişin açıklıktaki maksimum moment, mertebenin plastik direncini aşarsa, bu moment, yapının geri kalanının yeniden dağıtımdan kaynaklanan momentleri ve kuvvetleri taşıyabilmesi koşuluyla, yeniden dağıtılmak suretiyle %15'e kadar düşürülebilir. Ancak, TÇY 2018§5.2.7'de moment yeniden dağıtımının en çok %10'una izin vermektedir.

Elastik bir analiz, belirli bir konumdaki bükme momentinin plastik direnç momentini aştığını ortaya koyarsa, yeniden dağıtımdan sonraki o noktadaki minimum moment, plastik direnç momentini olmalıdır. Bu, o noktada bir plastik mafsalsın oluşabileceğini anlamak içindir. Plastik direncin altındaki indirgemeye izin vermek mantıksız olur ve eleman bükülme direncinin hesaplanmasında tehlikeli varsayımlarla sonuçlanabilir.

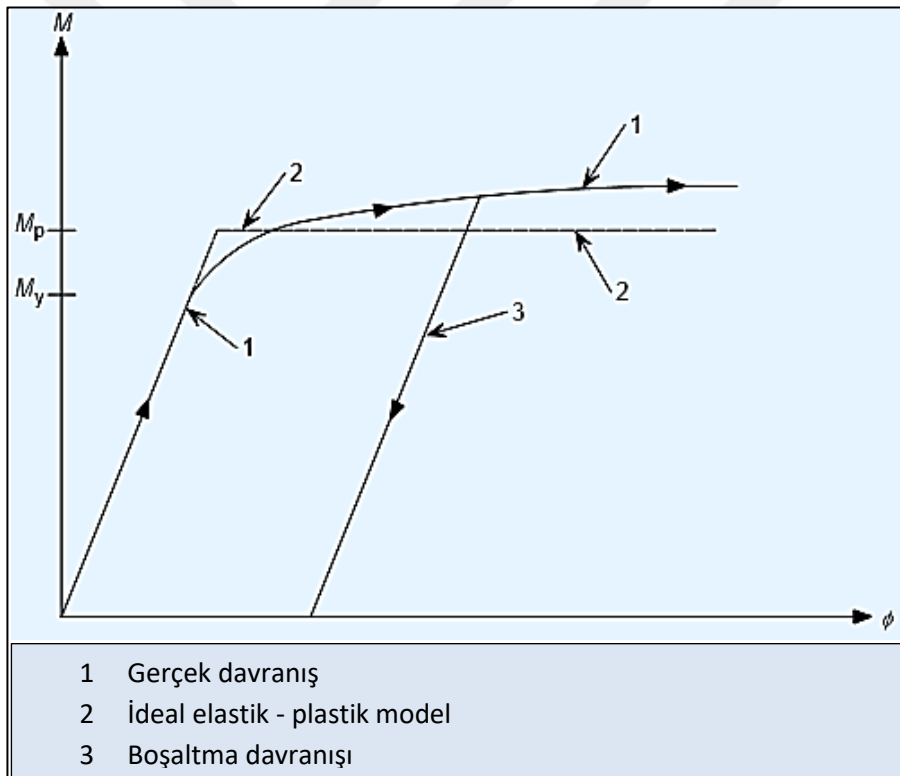


Şekil 2. 11 Artan yüklere tabi bir portal çerçevesinin modeli

### 2.5.2. Plastik Analiz

Plastik analiz, kanıtlanmış iyi bilinen bir analiz metodu olmasına rağmen, yaygın olarak kullanılmaz. Bununla birlikte, plastik analiz, İngiltere'deki portal yapıların %90'ından fazlası için kullanılmaktadır. Ancak, ülkemizde çok nadiren, plastik analiz yöntemi kullanılmaktadır.

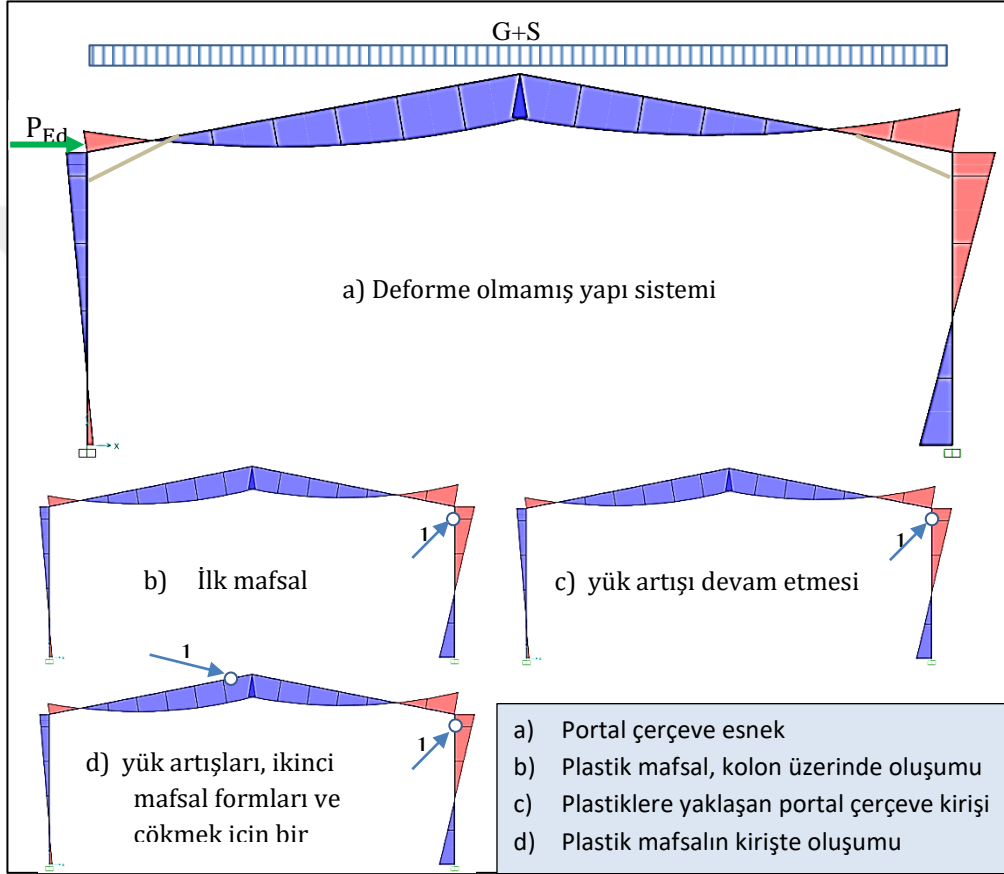
Geleneksel olarak, manuel hesaplama yöntemleri plastik bir analiz için kullanılmıştır (sözde grafik yöntem veya sanal çalışma yöntemi, vb.). Bu hesaplama yöntemleri, bu çalışmada yer almamaktadır. Zira plastik analiz genellikle yazılım ile yapılmaktadır. Çoğu zaman ideal elastik-plastik yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin ilkesi Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 12 Moment / Dönme Davranışı ve Elastik Mükemmel Plastik Modeli

İdeal elastik-plastik modeli, Şekil 2.12, uygulanan moment tam plastik momente,  $M_p$ , erişene kadar elemanların doğrusal elastik elemanlar olarak deforme olduklarını varsaymaktadır. Müteakip davranışın, gerilme sertleşmesi olmadan mükemmel plastik olduğu varsayılmaktadır.

İdeal elastik-plastik analiz, yük artışına bağlı olarak Şekil 2.13'de gösterildiği gibi tam plastik momentine ( $M_p$ ) ulaştığı her bölümde plastik mafsalların oluşumu dikkate alınarak analiz modeline eklenir. Uygun bilgisayar yazılımı kullanılıyorsa, mafsalların öngörülmesi, döndürülmesi, sonra boşaltılması veya tersine döndürülmesi mümkün olmalıdır. Son mekanizma gerçek göçme mekanizması olacak ve plastik yöntemle bulunabilen en düşük yük faktörü mekanizmasıyla aynı olacaktır.



Şekil 2. 13 Elastik mükemmel plastik analiz yöntemi

*İdeal elastik-plastik yöntemi aşağıdaki avantajlara sahiptir:*

- ✓ Yapı sistemi gerçek göçme mekanizması belirlenebilir.
- ✓ Oluşabilecek ve daha sonra boşaltabilecek her türlü plastik mafsallarda dahil olmak üzere tüm plastik mafsallar tanımlanabilir. Bu tür (geçici) mafsallar, son göçme mekanizması içinde görünmez, ancak yine de sınırlama gerektirmektedir.
- ✓ Yük birleşimlerinden daha büyük yüklerde oluşan mafsallar tanımlanabilir. Yapı, yük birleşimlerindeki yüklerini zaten taşıyabileceğinden, bu tür mafsalların sınırlanması



gerekmez. Bu, eleman direncinin gerekenden daha fazla olduğu yapılarda ekonomiyi üretebilir, çünkü sapmalar tasarıma yön verirken veya büyük boy bölümler kullanılırken meydana gelir.

- ✓ Göçme noktasındaki gerçek eğilme momenti diyagramı veya çöküşe kadar her aşamada tespit edilebilir.

### **2.5.3. Elastik ve Plastik Analizin Karşılaştırılması**

Daha önce belirtildiği gibi, plastik analiz genellikle daha ekonomik yapılara neden olur; çünkü plastik yeniden dağıtılması, daha küçük parçaların aynı yükleri taşımasına olanak tanır. Plastik analiz edilen çerçeveler için boyunluk uzunlukları genel olarak yayılma alanının yaklaşık %10'udur.

Yapı sistemlerinde, deplasmanların önem arz ettiği durumlarda, yük birleşimleri için plastik analizi kullanmanın hiçbir avantajı yoktur. Sapmaları kontrol etmek için tasarım yapılırsa, yük birleşimlerinde plastik mafsall oluşmaz ve çerçeve esnek kalır.

Plastik analizde, ekonomik sonuçların elde edilmesi destek sistemine bağlıdır. Çünkü önceki bölümlerde açıklandığı gibi plastik yeniden dağıtılması elemanlara yönelik kısıtlamalara ek şartlar getirmektedir. Çerçevenin genel ekonomisi, bu nedenle, çerçevenin sınırlanabilme kolaylığına bağlı olabilir.

Ticari yazılım mevcutsa, plastik analizi düşünülmelidir. Daha karmaşık yazılım paketleri doğrudan ikinci sıra (P-Δ) elastik-plastik analizi gerçekleştirir ve genel tasarım sürecini önemli ölçüde basitleştirir. Elastik / plastik tasarım yazılımının hazır olması, tam plastik analizi kolaylaştırır.

Elastik tasarımın kullanılmasıyla bile anların bir miktar yeniden dağılımının mümkün olduğu bilinmektedir. EN 1993-1-1§5.4.1.4(B) de belirtildiği gibi %15 yeniden dağıtılmaya izin verir, ancak bu uygulama pratikte nadirdir.

#### 2.5.4. Birinci ve İkinci Mertebeden Analiz

Çerçevelerin plastik ve elastik analizi için, birinci mertebeden veya ikinci mertebeden analizlerin seçimi, çerçevenin düzlem içi esnekliğine bağlıdır. EN 1993-1-1§5.2’de verilen ilgili kriterler baz alınarak  $\alpha_{cr}$  faktör ile ölçülür. Uygulamada, birinci ve ikinci dereceden analiz arasındaki seçim de yazılımın bulunabilirliğine bağlıdır. Bir portal çerçevesi, ikinci derece etkilerin gözardı edilebilecek kadar küçük olması için yeterince rijit olsa bile, ikinci dereceden analiz yazılımını kullanmak yine de uygun olabilir.

İkinci dereceden bir analiz gerekliyse ancak mevcut değilse, modifiye edilmiş birinci dereceden yöntemler hesaplamalar için yararlı olabilir. Modifiye birinci mertebeden yaklaşım elastik ve plastik analizler için biraz farklıdır. Elastik analizde yatay eylemler güçlendirilir; Plastik analizde, tüm eylemler güçlendirilir.

##### $\alpha_{cr}$ Faktörü :

EN 1993-1-1§5.2.1 (4) B’ye göre, sığ çatı eğimleri (çatı eğimi, 26<sup>0</sup>’den daha dik olmayan yapılar) ve kiriş-sütun tipi düzlem çerçeveli portal çerçeveler, her kat için EN 1993-1-1§5.2.1 Denk. (5.1) de belirtilen kriter ile karşılanırsa birinci derece analizle salınım modu arızası için kontrol edilebilir. Bu yapılarda,  $\alpha_{cr}$ , kirişlerde veya kirişlerdeki eksenel sıkıştırmanın önemli olmaması koşuluyla, aşağıdaki yaklaşım formülü kullanılarak hesaplanabilir:

$$\alpha_{cr} = \left( \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left( \frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right) \quad (2.7)$$

EN 1993-1-1§5.2.1 Not 2B’de, kirişlerde ve kirişlerdeki eksenel basınç kuvveti sınırlandırılmıştır. Böylece:

$$\bar{\lambda} \geq \sqrt{\frac{Af_y}{N_{Ed}}} \quad (2.8)$$

Eksenel kuvvette sınırlamanın ifade edilmesi için uygun bir yol, şu durumlarda aksiyel kuvvetin anlamlı olmadığıdır:

$$N_{Ed} \leq 0,09N_{cr}; \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.9)$$

Sınırlar yerine getirilirse,  $\alpha_{cr}$  ifadesi için Denk.(2.7) kullanılabilir. Çoğu pratik portal çerçevesinde, kirişteki aksenal yük anlamlı olacaktır ve Denk.(2.7) kullanılamaz.

Mertebedeki aksenal kuvvet anlamlı olduğunda, çerçeve kararlılığı ölçümünü hesaplamak için,  $\alpha_{cr}$  doğru değerleri yazılımlardan edinilebilir.

#### *Elastik Çerçeve Analizi İçin Uyarlanmış Birinci Mertebe Analiz*

EN 1993-1-1§5.2.2 (5) B'ye göre, elastik çerçeve analizi için ikinci dereceden etkilere izin verilmektedir. Bu yöntem en basit olanıdır.

Elastik küresel analizler temelinde tasarlanan tek katlı çerçeveler için düşey yükler nedeniyle ikinci mertebeden salınım etkileri, yatay yüklerin (örn. Rüzgâr) ve eşdeğer yüklerin kusurlara bağlı olarak arttırılmasıyla hesaplanabilir (bkz. EN 1993-1-1§5.3.2(7)) ve birinci mertebeden teoriye göre muhtemel diğer sallanma etkileri:

$\alpha_{cr} \geq 3$  sağlandığında, amplifikasyon faktörü şöyledir:

$$\left( \frac{1}{1 - 1/\alpha_{cr}} \right) \text{ Kirişteki aksenal kuvvetin bulunması halinde önemli.}$$

Eğer  $\alpha_{cr} < 3$  ise ikinci dereceden yazılım kullanılmalıdır.

#### *Plastik Çerçeve Analizi İçin Uyarlanmış Birinci Mertebe Analiz*

Plastik çerçeve analizi için uyarlanmış birinci mertebe analiz, ikinci mertebeden analiz yazılımların yokluğunda dolayı, yapının deforme geometrinin etkilerini hesaba katmak için güçlendirilmiş yükleri türetmektir (ikinci mertebeden etkiler). Bu kuvvetlendirilmiş yüklerin birinci mertebe analiz yoluyla uygulanması, ikinci mertebeden etkileri içeren eğilme momentleri, aksenal kuvvetler ve kesme kuvvetlerini yaklaşık olarak verir.

Büyütme, bazen Merchant-Rankine yöntemi olarak bilinen bir yöntemle hesaplanır. Plastik analizde, plastik mafsallar çerçeve tarafından dayatılan anları sınırlar, amplifikasyon, birinci mertebe analizine uygulanan tüm eylemler üzerinde yapılır (yalnızca rüzgar ve kusurlarla ilgili yatay kuvvetler harici tüm eylemler) .

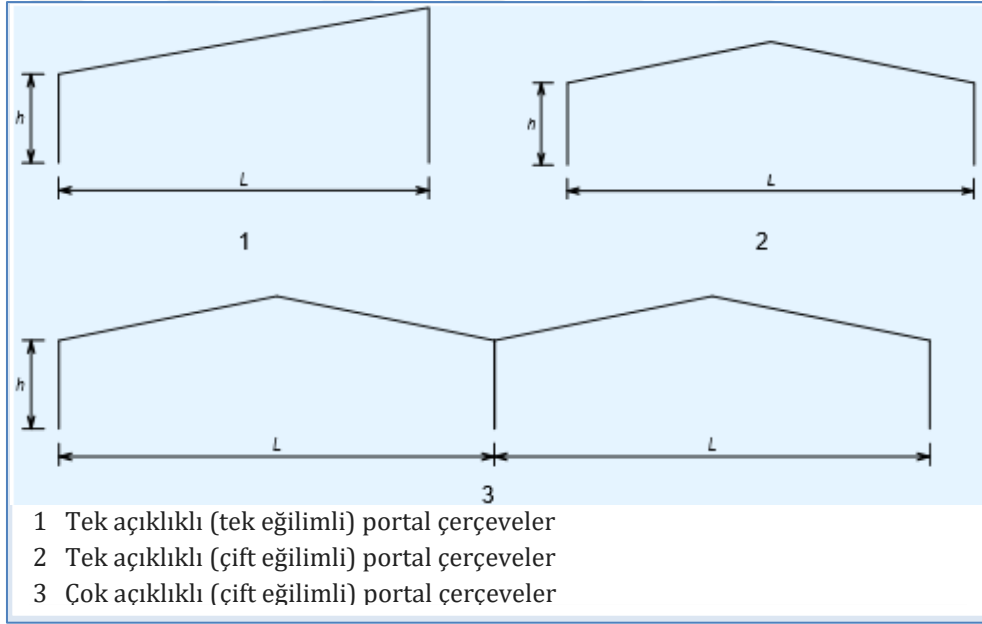
Bu iki çerçeve kategorisinin her biri için, eylemlere farklı bir kuvvetlendirme faktörü uygulanmalıdır. Merchant-Rankine yöntemi, aşağıdaki ölçütleri karşılayan çerçeveler için doğrulanmıştır:

- ✓ Herhangi bir aralık için  $L/h \leq 8$  olan çerçeveler.
- ✓  $\alpha_{cr} \geq 3$  olan çerçeveler.

Diğer çerçeveler, ikinci dereceden elastik-plastik analiz yazılımı kullanılarak tasarlanmalıdır.

Merchant-Rankine yöntemi çerçeveleri iki kategoriden birine yerleştirir:

- ✓ Kategori A : Düzenli, simetrik ve neredeyse simetrik perdeli ve tek perdeli çerçeveler.

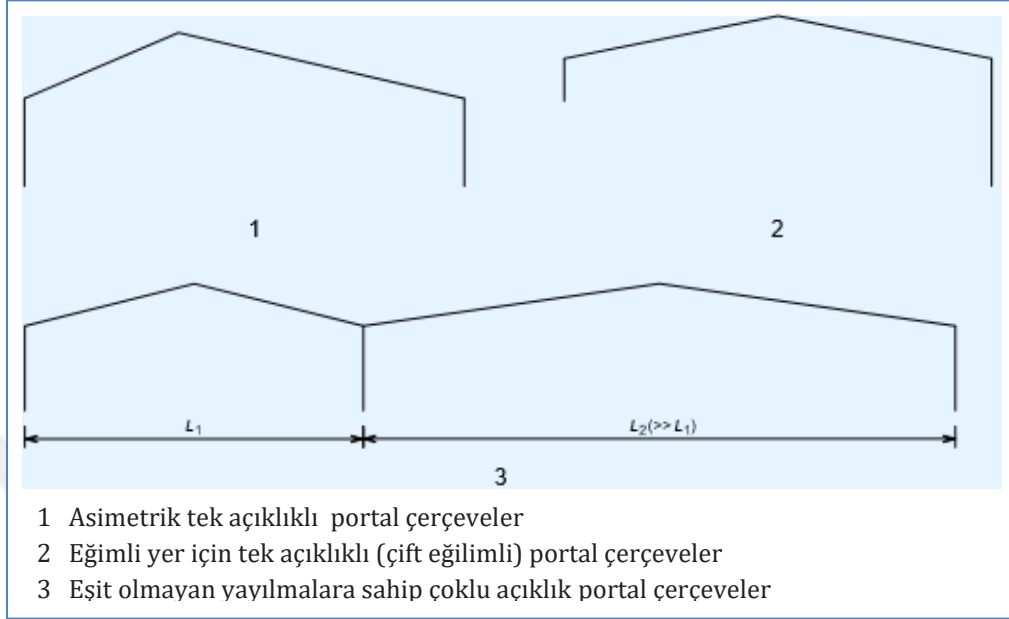


Şekil 2. 14 Kategori A çerçevelerinin örnekleri

Düzenli, simetrik ve tek perdeli çerçeveler arasında tek aralıklı çerçeveler ve farklı yaylar arasında yalnızca yükseklik (h) ve açıklık (L) arasında küçük bir varyasyon bulunan çoklu yayın çerçeveleri bulunur; Yükseklik ve aralıktaki değişimler %10 düzeyinde yeterince küçük kabul edilebilir.

Bu yaklaşımın geleneksel endüstriyel uygulamasında, uygulanan tüm eylemler tarafından büyütülürse, bu tür kareler için birinci derece analiz kullanılabilir.

- ✓ Kategori B : Kategori A'nın dışına çıkan ancak Bağılı portallar hariç olmak üzere Çerçeveser.



Şekil 2. 15 Kategori B çerçeveserinin örnekleri

Kategori A'nın dışında kalan çerçeveser için, uygulanan tüm yüklerin yönetmeliklerde verilen kriterlere bağılı olarak artırılması halinde, birinci dereceden analiz kullanılabilir.

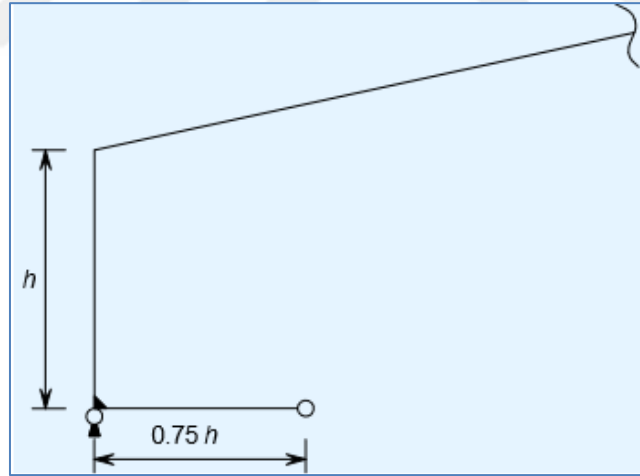
## 2.6. Yapı Temel Rijitliği

Analizde temellerin bağlantısında oluşabilecek direnç ve saptmalar hesaba katılmalıdır. Bu bölümdeki aşağdaki basit kurallar önerilir. Bu tavsiyeler bazı ÷lkelerde kabul edilmeyebilir; ilgili Ulusal Ek ve yerel düzenleyici otoritelere danışılmalıdır.

Kolon taban direncini ve kolon taban katılığını ayırt etmek önemlidir. Kolon taban direnci yalnızca saptmalara değil, çerçeve direncinin elastik plastik veya katı plastik hesaplamalarıyla ilgilidir. Kolon tabanı rijitliği hem direnç hem de sapma için elastik plastik veya elastik çerçeve analizi ile ilgilidir.

Yük birleşimlerindeki tasarımında taban sertliği varsayılırsa, taban detayları ve temel hesaplanan momentleri ve kuvvetleri sürdürmek için yeterli direnç gösterecek şekilde tasarlanmalıdır.

Birçok genel analiz bilgisayar programında, bu taban rijitliği, Şekil 2.16'da gösterildiği gibi, bir ilave eleman ile en uygun şekilde modellenmiştir.

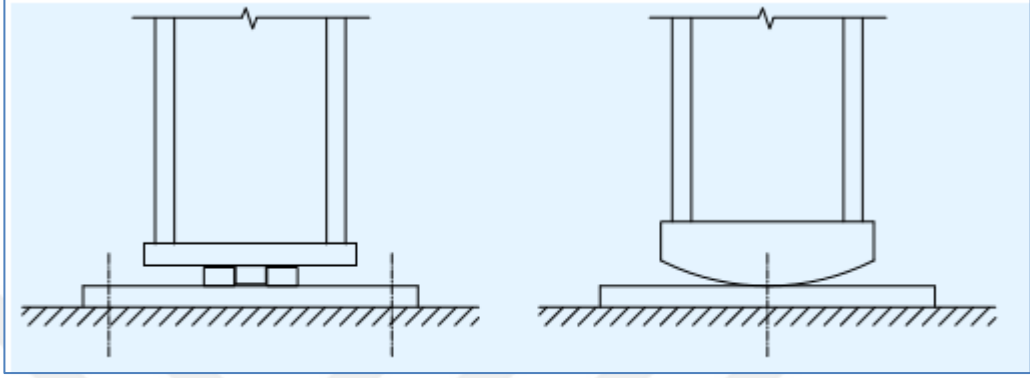


Şekil 2. 16 Nominal olarak sert kolon tabanına model tipi

İlave elemanın sabitlenmiş ucundaki reaksiyonun, kolon tabanındaki reaksiyonu etkileyeceğini unutmayın. Bu, tabandaki reaksiyonların toplamına ve manken elemanın sabitlenmiş ucuna eşit olan kolondaki aksenal kuvvete eşit baz tepkimesi alınarak düzeltilmelidir.

### Sabitlenmiş ve Ankastre Tabanlar

Şekil 2.17'de gösterildiği gibi, bir pim kullanıldığında, dönüş sertliği sıfırdır. Uygulamada bu tip bağlantılar nadiren mevcuttur. Kullanıldıkları yerlerde, kesme işleminin temele aktarılmasına ve ereksiyon sırasında kolonun geçici stabilitesine dikkat edilmelidir.



Şekil 2. 17 Mafsallı kolon taban örnekleri

### Nominal Olarak Rijit Kolon Tabanları

Bir kolon uygun bir temele sıkı bir şekilde bağlıysa, aşağıdaki öneriler kabul edilmelidir:

- (1) Elastik küresel analiz : Nihai Sınır Durumu hesaplamaları için, tabanın rijitliği kolonun sertliğine eşit olarak alınabilir.

Hizmet verilebilirlik sınırı durum hesaplamaları için taban, servis edilebilirlik yükleri altındaki sapmaları belirlemek için rijit olarak değerlendirilebilir.

- (2) Plastik küresel analiz : Yapının, bu varsayılan moment kapasitesine eşit bir ana, analizden elde edilen kuvvetlerle birlikte direnmek üzere tasarlanması koşuluyla, sıfır ile plastik moment kapasitesi arasındaki herhangi bir baz moment kapasitesi varsayılabılır.
- (3) Elastik - plastik küresel analiz : Varsayılan taban rijitliği, varsayılan ana moment kapasitesi ile tutarlı olmalı, ancak kolonun rijitliğini aşmamalıdır.

### Nominal Yarı Rijit Kolon Tabanları

Yapının, bu analizden elde edilen momentler ve kuvvetler için tasarlanması koşuluyla, elastik küresel analizde, kolonun %20'sine kadar bir nominal baz sertliği varsayılabılır.

### Nominal Tutturulmuş Tabanları

Bir kolon, anı momentinin sıfır olduğu varsayılarak tasarlanan bir temele nominal olarak bağlanırsa, nihai sınır durumu yüklemesi altındaki çerçevedeki momentleri ve kuvvetleri hesaplamak için elastik global analiz kullanılırken tabanın sabitleneceği varsayılmalıdır.

Tabanın sertliğinin, kolon sertliğinin aşağıdaki oranına eşit olduğu varsayılabilir:

1.  $\alpha_{cr}$  hesaplanırken %10
2. Hizmet verilebilirlik yükleri altında sapmaları hesaplarken %20.

Nispeten ince bir taban plakası ve kolon kesiti profilinin dışındaki dört civatanın bulunduğu kolon taban plakaları, bazı ülkelerde yarı-katı davranış sergileyecek olsalar bile, yeterli deformasyon kapasitesine sahip oldukları takdirde, nominal olarak tutturulmuş olarak kabul edilir. Bu gibi bazlar, kolonun ereksiyon sırasında serbest kalmasını sağlamak ve kolonun hizalanmasına yardımcı olmak için yeterli taban sertliği sağladıkları ilave pratik avantajlara sahiptir.

### Tasarım Özeti

Nihai Sınır Durumu için Analiz:

1. Elastik veya plastik analiz kullanılabilir.
2.  $\alpha_{cr} \geq 10$  (elastik analiz) veya  $\alpha_{cr} \geq 15$  (plastik analiz) olduğunda ikinci mertebeden (P- $\Delta$ ) etkilerini dikkate almalıdır.
3. Gerekirse, ikinci mertebe etkileri doğrudan (bir ikinci mertebe analizi kullanarak) veya bir amplifikasyon faktörü ile modifiye edilmiş bir birinci mertebe analizinin kullanımıyla açıklanabilir.

Çoğu yapı için, en büyük ekonomi (ve analiz ve tasarım kolaylığı) aşağıdakilerin kullanılmasıyla sağlanacaktır:

1. Elastik / ideal plastik moment / dönüş davranışına dayanır.
2. İkinci mertebeden (P~ $\Delta$ ) etkilerin doğrudan hesabını alır.

İkinci mertebeden etkilere karşı duyarlılık değerlendirmesi ilgili ülke yönetmeliklerinde ikinci mertebeden etkilere izin verecek büyütme katsayıları kullanılarak sağlanacaktır.



## 2.7. Sürülebilirlik Sınır Durumu

Bir yapı sisteminin tasarımı, öngörülen yük birleşimleri altında ve yapı ömrü boyunca, dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları aşılmayacak şekilde gerçekleştirilmelidir.

Yapı hizmeti boyunca işlevselliği sorunsuz yerine getirebilmelidir. Bunun için; sınır durumu analizi, yük birleşimleri temel alınarak, sapmaların kabul edilebilir olduğundan emin olmak için gerçekleştirilmelidir.

### Sapma Kriterlerinin Seçimi

TÇY 2018§15'de çelik yapı sistemlerinin kullanılabilirlik sınır durumları için belirli sapma limitleri verilmektedir. Bu sapma kriterleri TÇY 2018§15.1'deki yük birleşimleri esas alınarak belirlenir. EN 1993-1-1§7.2'ye göre, her proje için sapma sınırları belirlenmeli ve müşteri ile mutabık kalınmalıdır. EN 1993-1-1 ile ilgili Ulusal Ek, münferit ülkelerde uygulama için sınırlar belirlenebilir.

Yapı, üstten gezer vinçler içeriyorsa, kolonların vincin seviyesine yayılması, önemli bir tasarım kriteri olabilir. Birçok durumda, sapma sınır durumu tasarımı için gerekli olandan daha sert çelik bölümler sağlamak veya temel ve temelde bir miktar sabitlik sağlamak gerekli olacaktır.

### Sapma Kriterlerinin Analizi

Sürülebilirlik sınır durumu analizi normalde birinci dereceden (elastik) bir analizdir. Tasarımcı, sürülebilirlik sınır durumunda oluşmayan plastik mafsalları doğrulamak için sadece sapma hesaplarını doğrulamak zorundadır.

### Tasarım özeti

Hizmet verilebilirlik sınırı durumu :

- ✓ Birinci merteye analiz ile değerlendirilir.
- ✓ İlgili Ulusal Ek'te tanımlanan veya müşteri ile mutabık kalınan sapma kriterlerini kullanır.

## 2.8. Kesit ve Eleman Direnci

TÇY 2018 ve EN 1993-1-1, kesitlerin direncinin ve eleman burkulma direncinin ayrı hesaplamalarla kontrol edilmesini gerektirir. Enlemesine yüklerden dolayı ağların kayma burkulması ve burkulmaya karşı direnci için ek kontroller gereklidir.

### 2.8.1. Kesitin Sınıflandırılması

#### EN 1993-1-1'e Göre Kesit Sınıflaması

EN 1993-1-1'de, enine kesitler, flanşların ve ağın görelî kalınlığına göre ve bükme momentinin büyüklüğü ve kesit üzerindeki eksenel sıkıştırmaya göre sınıflandırılır. Flanş veya ağ elemanlarının inceltiliğine göre sınıflandırma EN 1993-1-1 Tablo 5.2'de verilmektedir. EN 1993-1-1, eksenel yük altındaki, saf bükme altında ve kombine eksenel yük ve eğilme momenti altındaki bölümleri kapsar. Bir kesit sınıfı ya flanşların ya da ağların en üst sınıfıdır.

Sınıflamanın kesit geometrisine ve kesitteki momentlerin ve eksenel kuvvetin oranına bağılı olduğuna dikkat etmek önemlidir. Örneğin, tipik bir I-kirişi kombine yükleme altında, dikkate alınan kesitteki eksenel kuvvet ve bükülme momentinin oranlarına bağılı olarak farklı sınıf kategorisinde olabilir.

Sınıflar aşağıdaki yapısal davranışları gösterir:

- ✓ Sınıf 1, dönen bir plastik mafsallı yerel çökmelerden herhangi bir direnç kaybı olmadan destekleyebilir.
- ✓ Sınıf 2, tam plastik moment geliştirebilir ancak yerel çökme, direnci azaltmadan önce sınırlı dönüş kapasitesine sahip olabilir.
- ✓ Sınıf 3, aşırı liflerde verim geliştirebilir ancak yerel çökme, plastik moment oluşumunu engeller.
- ✓ Sınıf 4, yerel çökeltmenin ilk verimin altındaki gerilmelerde oluşacağı oranlara sahiptir.

## TÇY 2018'ya Göre Kesit Sınıflaması

TÇY 2018'e göre; enkesitler, yerel burkulma sınır durumları temel alınarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırmada, eğilme momentinin büyüklüğü ve kesit üzerindeki aksel sıkıştırma etkileri dikkate alınır. Flanş veya ağ elemanlarının inceltiliğine göre sınıflandırma TÇY 2018§5.4 Tablo 5.1A ve Tablo 5.1B'de verilmektedir.

TÇY 2018§5.4.1'e göre, eleman kesitin kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesitler olarak sınıflandırılır. Bu sınıflandırma doğrultusunda eleman tasarımı yapılır.

### **2.9. Tasarım İçin Yapı Sünekliği**

Süneklik; deprem etkisi altında dayanımda önemli bir azalma olmaksızın, taşıyıcı sistemdeki elemanın plastik şekil değiştirme, taşıyıcı sistemin ise yer değiştirme yapabilme özelliğidir. Sayısal ifade ile göçme sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranı sistem süneklik oranı olarak tanımlanmaktadır. Göçmeden önce yapı yeterli düzeyde lineer olmayan şekil değiştirme yapabilmeli, yani sistem süneklik oranı büyük değerler alabilmelidir.

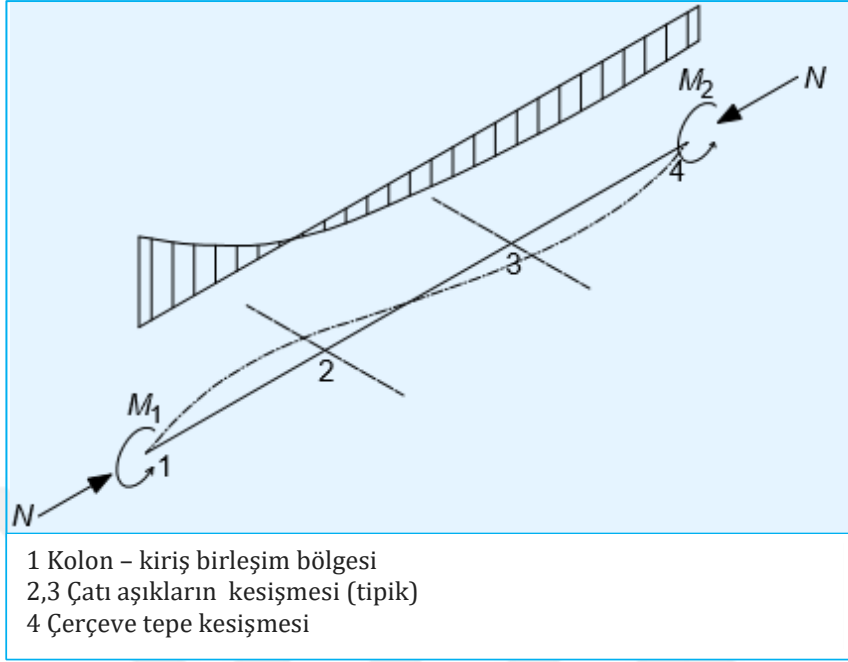
TBDY 2018§9.2'de belirtildiği gibi, çelik yapıların yatay yük taşıyıcı sistemleri, depreme karşı davranışları bakımında süneklik düzeyi yüksek sistemler, süneklik düzeyi sınırlı sistemler ve süneklik düzeyi karma sistemler olarak verilmektedir. Bu süneklik düzeyleri, yapı elemanlarının birleşimlerine bağlıdır. Bunun için, yapı elemanlarının birleşim tipine bağlı olarak süneklik düzeyleri değişir.

### **2.10. Elemanların Stabilitesi**

Eksenel yük ve burkulmanın kombine etkileri için elemanlar kontrol edilmelidir. Genel olarak, bu çalışmada elemanların tasarımı için, TBDY 2018 ve TÇY 2018'da verilen ilgili koşullar esas alınmıştır. Düzlemsel burkulma, elemanın ana ekseni etrafında oluşmaktadır. Önceki bölümde açıklandığı gibi, bir portal çerçevesindeki bir elemanın düzlemde bükülmesi düşünülürken ara kısıtlama bulunmamaktadır.

Düzlem dışı burkulma, elemanın yan ekseni etrafında bükülmesi ile ilgilidir. Bir portal çerçevesinde ikincil çelik elemanları kullanılarak sınırlama sağlatılabilir ve böylece elemanın burkulma direncini artırır.

### 2.10.1. Portal Çerçevelerinde Eleman Bükülmesi



Şekil 2. 18 Portal çerçeve kirişinin şematik gösterimi

Şekil 2.18, bir portal çerçevesindeki bir elemanın istikrarı ele alınması, gereken konuların basit bir şekilde gösterilmesini, bu örnekte kirişin kolona birleşimi ve tepe noktası arasında bir kiriş oluşturduğunu göstermektedir. Aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

- ✓ Çerçevenin ana düğümleri 1 ve 4 arasındaki düzlemsel burkulma için herhangi bir ara nokta bulunmayabilir.
- ✓ Ara katmanlar, düzlem dışı burkulmaya karşı (düğümler 2 ve 3) belirlenmelidir.

Pratik tasarım bu etkileşimi çeşitli şekillerde ele alır:

- ✓ Plastik mafsalların yakınındaki düzlem dışı istikrar genellikle kararlı uzunlukları ele alır. Bunların, düzlem içi kararlılık etkileriyle olan herhangi bir etkileşimden bağımsız olduğu varsayılmaktadır.
- ✓ Eğilme momenti ve eksenel yük arasındaki etkileşim, TÇY 2018§11.1.'de verilen ilgili koşullar ele alınacaktır. Bu genellikle, düzlem dışı ve düzlem içi burkulma kontrolleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilir.

## TÇY 2018'da Burkulma Dayanımı

Yapı elemanların burkulma dayanımının doğrulanması, TÇY 2018'de birkaç cümle ile ele alınmaktadır. Portal çerçeve tasarımında birincil ilgi maddeleri aşağıda açıklanmaktadır.

- ✓ Eksenel Basınç Kuvveti Etkisindeki Elemanlar : Bu madde, gergi burkulma dayanımını ve burkulma eğrilerinin seçimini kapsar. Bu madde esas olarak bükülme burkulmasıyla ilgilidir. Aynı zamanda burulma ve burulma-eğilme burkulmalarını da ele alır.

Eksenel basınç etkisindeki elemanlar için, TÇY 2018§8'de eksenel kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı ile ilgili kriterler verilmiştir. Bu kriterler baz alınarak portal çerçevelerin tasarımı yapılacaktır.

- ✓ Eğilme Momenti Etkisindeki Elemanlar: Bu madde, kirişlerin yanal burulma burkulmasını kapsar.

Bükülme momentlerinin sınırsız bir kiriş uzunluğu boyunca dağılımı, burkulma dayanımında önemli bir etkiye sahiptir. Bu, eğilme momenti hesaplanırken  $C_b$  faktörünün seçimi ile açıklanır (Bkz. TÇY 2018§9.1(c)).

- ✓ Bükme ve Eksenel Sıkıştırılmada Üniform Elemanlar : Bu madde, eksenel yük ve moment, düzlem içi ve düzlem dışı etkileşimi ele almaktadır.

TÇY 2018§11'e göre, tüm üye eksiklikleri ( $P - \delta$ , burulma ve yanal kusurlar) dâhil olmak üzere tam ikinci mertebeden analiz kullanılmadığı sürece aşağıdaki kontrollerin yapılmasını gerektirir.

$$\frac{P_r}{P_c} \geq 0,2 \text{ için; } \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.10)$$

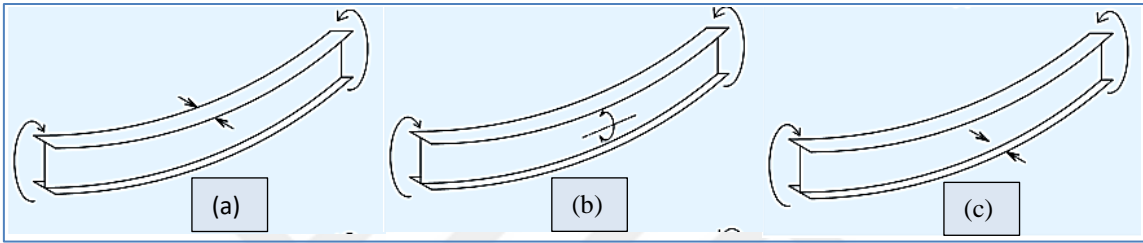
$$\frac{P_r}{P_c} < 0,2 \text{ için; } \frac{P_r}{2P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rz}}{M_{cz}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0 \quad (2.11)$$

Burulma dayanımı, kirişin ve kolonun sistem uzunluğuna bağlıdır. Bazı ulusal yönetmelikler azaltılmış bir sistem uzunluğunun ve burkulma uzunluğu faktörünü kullanabilir. Burkma uzunluğu faktörü 1,0 veya daha küçüktür. Burkulma uzunluğu, uzunluk ve burkulma uzunluğu faktörünün ürünüdür ve sistem uzunluğundan daha az olacaktır. Bu yaklaşım, bükülme dayanımının artmasına neden olacaktır.

Bir elemanın yanal burulma burkulma dayanımı analizi tek biçimli bir eğilme momenti en zahmetli yükleme sistemidir. Yapı üyeleri burkulma dayanımı, TÇY 2018§11'deki ilgili koşullar esas alınarak doğrulanacaktır.

Bu çalışma, TÇY 2018 çelik yapı elemanların analiz edilen çerçevelerdeki üyeler için rehberlik eder. Yönetmelikte, mafsal yerlerine yaslanma ve bu tür sınırlayıcılar ile diğer yanal tutma yerleri arasındaki sabit uzunlukların doğrulanmasını gerektirir. Bu konular sonraki bölümlerde daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

### 2.10.2. Portal Çerçevelerinde Düzlem Dışı Sınırlama

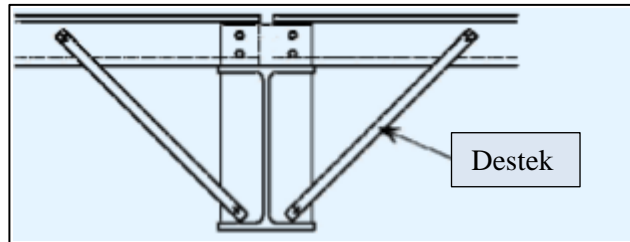


Şekil 2. 19 Düzlem-dışı burkulmaya karşı sınırlama türleri

Şekil 2.19, düzlem dışı burkulmayı azaltmak ya da önlemek için sağlanabilecek üç temel kısıtlama tipini göstermektedir:

- Sıkıştırma flanşının yanal hareketini önleyen yanal sınırlama.
- Bir elemanın uzunlamasına eksenini etrafında dönmesini engelleyen burulma sınırlaması.
- Gerilim flanşına ara yanal sınırlama. Bu tür kısıtlamalar sadece sınırlı fayda sağlamakla birlikte, düzlem dışı burkulma modunu değiştirir ve bu nedenle burulma kısıtlamaları arasındaki mesafenin artırılmasına izin verebilir.

Şekil 2.20'de gösterildiği gibi, pratik detaylar birden fazla tipte kısıtlama sağlanabilir.



Şekil 2. 20 Birleştirilmiş yanal ve burulma kısıtlamasına örnek

Kirişin üst flanşına ve kolonun dış flanşına tutturulmuş yan raylara tutturulan aşıklar, elemana çeşitli şekillerde stabilite sağlar:

- ✓ Dış flanş sıkıştırılmada olduğunda, doğrudan yanal sınırlama.
- ✓ Dış flanş gerginlikte olduğunda, burulma kısıtlamaları arasındaki gerilim flanşına ara yanal sınırlama.
- ✓ Gerilim flanşına bağlanmış ve kiriş ile birlikte kullanıldığında kirişe burulma ve yanal sınırlama.

Her durumda, çatı ve yan cephe aşıkları, kirişlerin düzleminde bir destek sistemine geri bağlanmalıdır. Genellikle, kuvvetlerin çatı diyaframı vasıtasıyla destek sistemine geri döndürülmesi varsayımı, birçok ülkede, hatta hesaplamaları desteklemeden kabul edilir. Diğer ülkelerde hesaplamalar gereklidir ya da aşıklar doğrudan destek sistemi ile hizalanırsa kısıtlama getirdiği varsayılabilir.

Çatı ve cephe aşıklarının konumu, aşıkların kendileri kapasitesi ile birincil çelik elemanlarını dizginlemek için gerekli boşluk arasında bir denge olacaktır. Maksimum aralık genellikle üreticinin yük tablolarından belirlenir. Boşluk, kiriş veya kolon boyunca stratejik noktalarda iç flanşa tutturma sağlamak için azaltılmalıdır, bu nedenle, mesnet bölgeleri gibi yüksek eğilme momentindeki bölgelerde azaltılmış aralıklarda aşıkların sağlanması yaygın olacaktır.

Normal uygulama, aşıklar düzenli aralıklarla konumlandırmaktır. Araya giren uzunluk düzenli aralıklarla - genellikle çatı ve cephe kaplama tipine bağlı olarak belirlenir. Başka ülkelerin yönetmeliklerinde çatı aşıkları portal çerçevesi eğilme momentine bağlı olarak düzenlemektedir. Sürüklenen karı taşımak için ek aşıklar gerekebilir - bunlar kısıtlama sağlamak için de kullanılabilir.

Yan cephe aşıkları genellikle kaplamaya, kapılara ve pencerelere uygun konumlarda bulunur. Kaburganın alt kısmındaki flanşın iç kısmı her zaman kısıtlama gerektirir - yan rayın bu seviyede konumlanması genel bir gerekliliktir.

Şekil 2.20'de gösterildiği gibi, emniyet mandalları ve yan cephe aşıkları yeterli dayanma gücü sunmak için sürekli olmalıdır. Sürekli olmayan (örneğin endüstriyel kapılar tarafından kesilen) bir yan cephe aşığı yeterli kısıtlama sağlamak için güvenilemez.

### 2.10.3. Plastik Menteşelere Bitişik Stabil Uzunluklar

TBDY 2018 ve TÇY 2018’da, kirişlerde yanal burkulmaya karşı stabilite bağlantıları için sınırlama getirilmiştir. Yanal destek elemanları arasındaki en büyük uzaklık,  $L_b$ , yatay yük taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeylerine bağlı olarak verilmiştir.  $L_b$ , doğrulama ve ara dayanakların gerginlik flanşına stabilizasyon etkilerini tanımlamak için kullanılır.

#### TBDY 2018§9.2.8’e Göre Stabilite Bağlantı Uzunlukları

Süneklik düzeylerine bağlı olarak tasarlanan yatay yük taşıyıcı sistemlerin çelik kirişleri, yönetmelikte verilen koşulları sağlayacak şekilde yanal burkulmaya karşı desteklenmelidir.

Yanal destek elemanları arasındaki en büyük uzaklık, aşağıda verilmiştir.

- (a) Süneklik düzeyi yüksek elemanlar olarak tasarlanan kirişler için;

$$L_b \leq 0,086i_y \frac{E}{F_y} \quad (2.12)$$

- (b) Süneklik düzeyi sınırlı elemanlar olarak tasarlanan kirişler için;

$$L_b \leq 0,17i_y \frac{E}{F_y} \quad (2.13)$$

Ayrıca, sistemin doğrusal olmayan şekildeğiştirmesi sırasında plastik mafsall oluşmasına meyilli bölgeler, tekil yüklerin etkidiği noktalar ve kiriş enkesitinin ani değıştiği bölgelerde kiriş başlıkları yanal ötelenmeye ve burulmaya karşı desteklenecektir.

#### TÇY 2018’e Göre Stabilite Bağlantı Uzunlukları

TÇY 2018§6.4.3’e göre, basınç etkisindeki elemanların stabilite kontrollerinde, burkulma boyu yöntemi ile basınç elemanın burkulma boyu doğrulanmalıdır.

Burkulma boyu, yanal yerdeğiştirmeye bağlı olarak moment aktaran çerçevelerde burkulma boyu katsayısı,  $K$ , kolonun üst ve alt uçlarında Denk. (2.14) ile belirlenen  $G_A$  ve  $G_B$  büyüklüklerine bağlı olarak, Denk.(2.15) ve Denk.(2.16) ile veya yönetmelikte verilen nomogramdan yararlanarak hesaplanır.



$$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)} \quad (2.14)$$

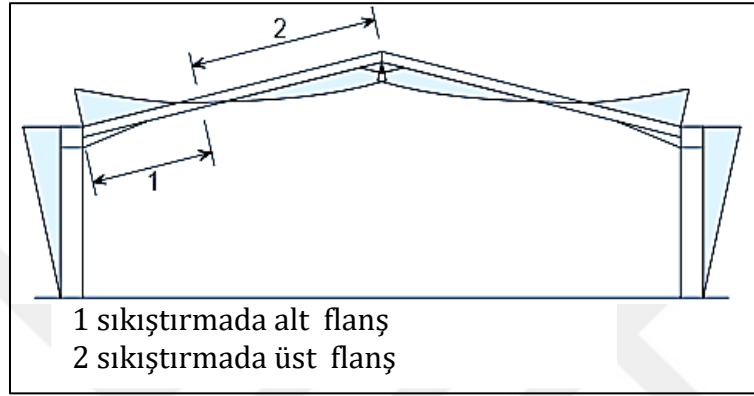
$$K = \frac{3G_A G_B + 1,4(G_A + G_B) + 0,64}{3G_A G_B + 2,0(G_A + G_B) + 1,28} \quad (2.15)$$

$$K = \sqrt{\frac{G_A(1,6G_B + 4,0) + (4G_B + 7,5)}{G_A + G_B + 7,5}} \quad (2.16)$$

$G_A$  ve  $G_B$  büyüklükleri, kolonların ve kirişlerin sınır koşullarına bağlı olarak belirlenir. Bu sınır koşullar, yönetmelikteki kriterler baz alınarak doğrulanır. Denk. (6.5) yanal yerdeğiştirmesi önlenmiş ve Denk. (2.16) yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş moment aktaran çerçeveler öngörölmüştür.

## 2.11. Çelik Portal Kirişi Tasarımı

Portal çerçeve tasarımı genellikle yük birleşimleri altındaki üyelerin doğrulanması ile düzenlenir. Yapı elemanların KSD sapma limitleri önemlidir. Portal çerçeveler genellikle KSD saptırma limitlerini karşılamak için yeterince serttir. Genel çerçeve içindeki ekonomi genellikle plastik analiz kullanılmasıyla sağlanabilir; Bu, dönmesi beklenen bir mafsallın olmasıyla sağlanabilir.



Şekil 2.21 Tipik portal çerçeve eğilme momenti diyagramı

Çatı kirişleri, Şekil 2.21'deki gibi, çerçeve düzleminde, kolon ile birleşimde maksimum 'sallama' momentinden tepeye en yakın sarkma momentine kadar değişen yüksek eğilme momentlerine maruz kalır. Ayrıca, çerçeve eyleminden dolayı sıkıştırmaya tabidirler.

Üye direnci önemli olmakla birlikte, deforme geometrinin etkilerini sınırlamak ve KSD sapmalarını sınırlamak için çerçevenin rijitliği de gereklidir. Bu sebeplerden dolayı, yüksek mukavemetli elemanlar genelde portal çerçevelerde kullanılmaz, daha düşük atalet derecesine sahip çelik kaliteleri kullanılır. Portal çerçeve kirişlerinin optimum tasarımı genel olarak:

- ✓ Kombine ana eksen bükme ve aksel sıkıştırma altında malzeme özellikleri gerekliliklerine uyan  $I_{yy}$ 'dan  $I_{zz}$ 'e yüksek bir kesit.
- ✓ Kolondan, çerçevenin yaklaşık %10'u kadar uzanan bir bölge, genel olarak, çerçeve kirişi uzunluğundaki maksimum sarkma ve sarkma momentlerinin benzer olduğu anlamına gelir.

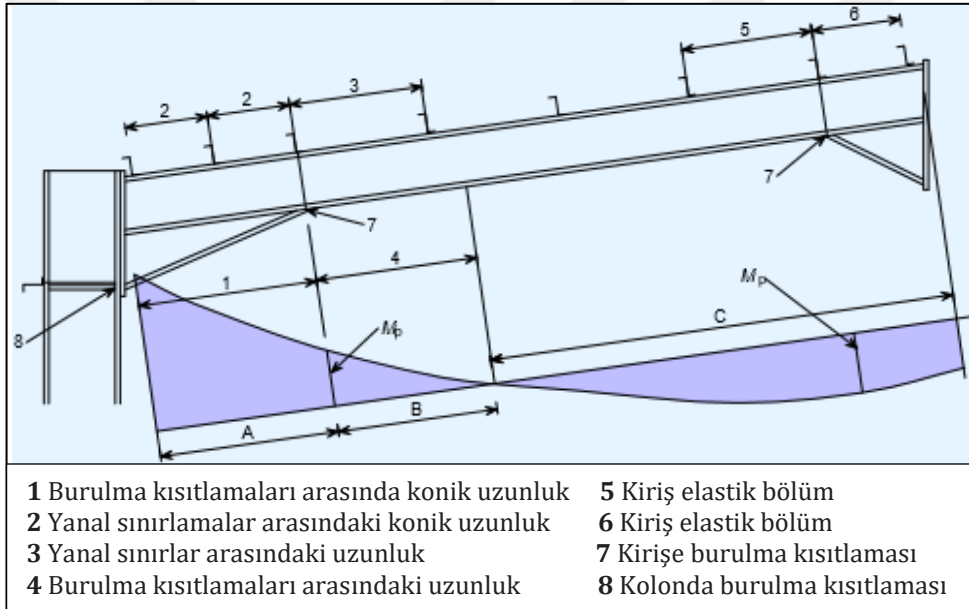
### 2.11.1. Kirişin Dayanımı

Kirişin tüm kritik kesitlerinin dayanımı, TBDY 2018§9 ve TÇY 2018’da verilen ilgili esaslar doğrultusunda uygun olarak doğrulanmalıdır.

### 2.11.2. Kirişin Düzlem Dışı Dengesi

#### Maksimum Moment Esnasında Kiriş ve Birleşim Bölgesi Sürekliliği

Hem düzlem içi hem de düzlem dışı kontroller gereklidir. İlk olarak, sınırların uygun pozisyonlarda ve aralıklarda yerleştirildiğinden emin olmak için düzlem dışı kontroller doğrulanmalıdır.



Şekil 2. 22 Tipik portal çerçeve kiriş moment diyagramı

Şekil 2.22, kalıcı artı değişken eylemler ve tipik çatı aşıkları konumları ve tipik tutma konumları için tipik bir moment dağılımını göstermektedir.

Çatı aşıkları kaplama çeşidine bağlı olarak konumlandırılır, ancak bu aralık, saçakların yakınındaki yüksek moment bölgelerinde azaltılması gerekebilir. Portal çerçeve kirişinde atıfta bulunulan Şekil 2.22’de (A, B ve C bölgeleri) üç istikrar bölgesi gösterilmektedir.

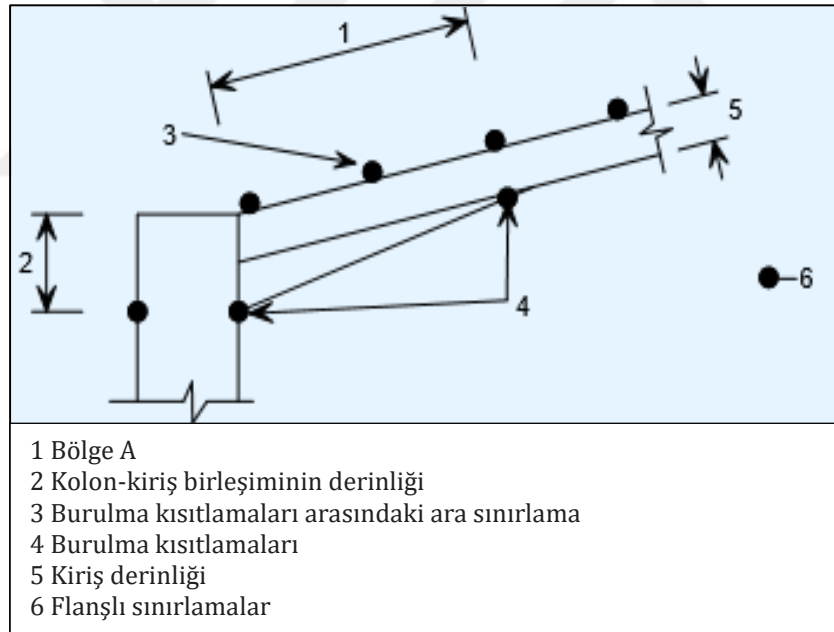
Kirişte plastik mafsalların bulunması, yükleme, geometri ve kolon ve kiriş bölümlerinin seçimine bağlı olacaktır.

Uygun kontrolün seçimi, bir plastik menteşenin varlığına, eğilme momenti diyagramının şekline ve bölümün geometrisine (üç flanş veya iki flanş) bağlıdır. Kontrollerin amacı, kirişin düzlem dışı olması için yeterli kısıtlamalar sağlamaktır.

#### *A Bölgesindeki Stabilite Kararlılığı*

A bölgesinde, portal çerçeve kirişin alt flanşı sıkıştırılmış haldedir. Kararlılık kontrolleri, kabuğun geometrisindeki değişimden dolayı karmaşıktır.

Kolon flanşının ve altlığın alt tarafının (Şekil 2.22'deki nokta 8) birleşimi her zaman sınırlandırılmalıdır. Kabuğun 'keskin' ucu (Şekil 2.22'deki nokta 7), genellikle bu noktada bir burulma kısıtlaması oluşturan bu konumda bulunan bir çatı aşığı tarafından alt flanşa kısıtlama getirir. Bu konumda bir plastik mafsal tahmini olarak oluşabilir. Şekil 2.22'de nokta 7'de bir mafsal öngörülmüş ve alt flanşa bir sınırlama getirilmiştir. Kabuk bölgedeki her flanş sınırlayıcıları Şekil 2.23'te gösterilmektedir.



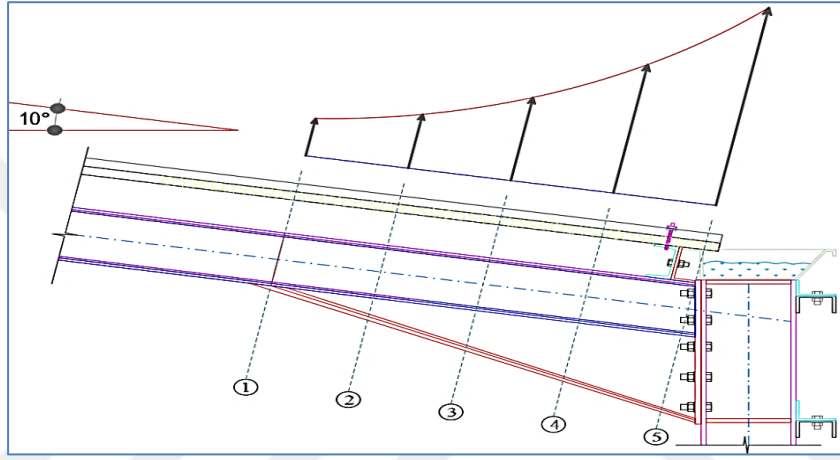
Şekil 2. 23 Bir portal çerçevesinin yanmış bölgesinde kısıtlamalar

Plastik bir mafsalın her iki tarafındaki burulma engelleri arasındaki mesafenin (Şekil 2.22'de bölge A'da '1) TÇY 2018§9.13.5'de verilen  $L_m$ 'yi aşmadığını emin olmak gereklidir. A bölgesinde, üye inceltirilmiş ve bükme momenti sabit değildir.

TÇY 2018§5.2.7 ye göre kirişlerde yeniden dağılım prensibinin uygulanabilmesi için, yeniden dağılımın uygulanacağı mesnette komşu kiriş açıklığında basınç başlığının yanıl olarak desteklenmeyen uzunluğu,  $L_b$ , aşağıda verilen değeri aşmamalıdır.

$$L_m = \left[ 0,12 + 0,076 \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \right] \left( \frac{E}{F_y} \right) i_y \quad (2.17)$$

Şekil 2.24'teki kesitlerde ilgili parametreleri hesaplayarak doğrusal olmayan moment değerleri hesaba katılır. Şekil 2.22'de '2' ile verilen iki uzunlukta bu kontrolü sağlamalıdır.



Şekil 2. 24 Birleşim bölgesi için dikkate alınması gereken kesitler

Şekil 2.24'te gösterildiği gibi, üç flanşlı bir birleşim ve iki flanşlı birleşim için kullanılır. Kaburga, kirişin alt kısmına kesilmiş ve kaynak yapılmış bir kesimden imal edildiğinde, üç flanşlı bir kabuklanma yaygın bir durum olacaktır.

#### *B Bölgesindeki Stabilitte Kararlılığı*

B Bölgesi genel olarak kesmenin keskin ucundan kontrast tutma noktasının ötesine kadar uzanır (bkn. Şekil 2.22). Alt flanş kısmen veya tamamen bu uzunluk üzerinden sıkıştırılmıştır. Genel analize bağlı olarak, bu bölge keskin ucunda bir plastik mafsal içerebilir veya içermeyebilir.

Bu bölgede, burun deliğinin 'keskin' ucunda burulma ve yanıl tutma sağlanacaktır. Üst ucunda, sınırlama, karşı plaklaştırma noktasının ötesinde bir çatı aşığı tarafından sağlanacaktır. Bazı ulusal otoriteler, aşağıdaki koşulların sağlanması koşuluyla, sınırlayıcı olmayan bir noktanın bir sınırlama olarak kabul edilmesine izin vermektedir.

- ✓ Kiriş haddelenmiş profillerden olmalıdır.
- ✓ Kiriş-kiriş bağlantılarında en az iki cıvata ile birleştirilmelidir.
- ✓ Çatı aşıkların derinliği, kirişin derinliğinin 0,25 katından daha az olmamalıdır.

Kaburganın 'keskin' ucu üzerinde bir plastik mafsal öngörülüyorsa, kiriş kesitine uygun olarak bir sınırlama mesafesinde bir burulma kısıtlaması sağlanmalıdır. Sınırlandırma mesafesi varsayarak hesaplanabilir:

- ✓ Sabit bir moment
- ✓ Doğrusal bir moment gradyanı
- ✓ Doğrusal olmayan bir moment gradyanının kullanılması.

Buna ek olarak, ara yanal dayanma noktaları arasındaki mesafe (Şekil 22'de "3" olarak belirtilmiştir) TÇY 2018§9.13.5'de verilen  $L_m$ 'yi gerekliliklerini karşılamalıdır. Plastik mafsal yoksa ve elastik bölgelerde üye yönetmeliklerde verilen kriterler çerçevesinde uygun olarak doğrulanmalıdır.

#### *C Bölgesindeki Stabilite Kararlılığı*

C Bölgesinde, çatı aşıkları, bazı genel tutma sistemine bağlandıklarında, üst (sıkıştırma) flanşa yanal tutma kuvveti sağladığı varsayılabilir. Birçok ülkede, çatı örtüsünün diyafram hareketinin dayatma kuvvetlerini destek sistemine taşımak için yeterli olduğu kabul edilir; Diğer ülkelerde kısıtlama sağlayan herhangi bir çatı aşığı doğrudan destek sistemine bağlanmalıdır.

Düzlem dışı kontroller, üyenin yönetmeliklerdeki ifadelerine uygun olarak doğrulamasını gerektirir. Normalde, çatı aşıkları düzenli aralıklarla yerleştirilirse, azami eğilme momenti ve maksimum eksenel yük varsayılarak tutucular arasındaki portal çerçeve kirişleri kontrol etmek yeterlidir.

Plastik bir mafsalın tepe noktasının bitişiğinde olması öngörülüyorsa, bunun sınırlanması gerekir. Buna ek olarak, bir plastik mafsalın yakınında stabilite için olağan şartlar yerine getirilmelidir:

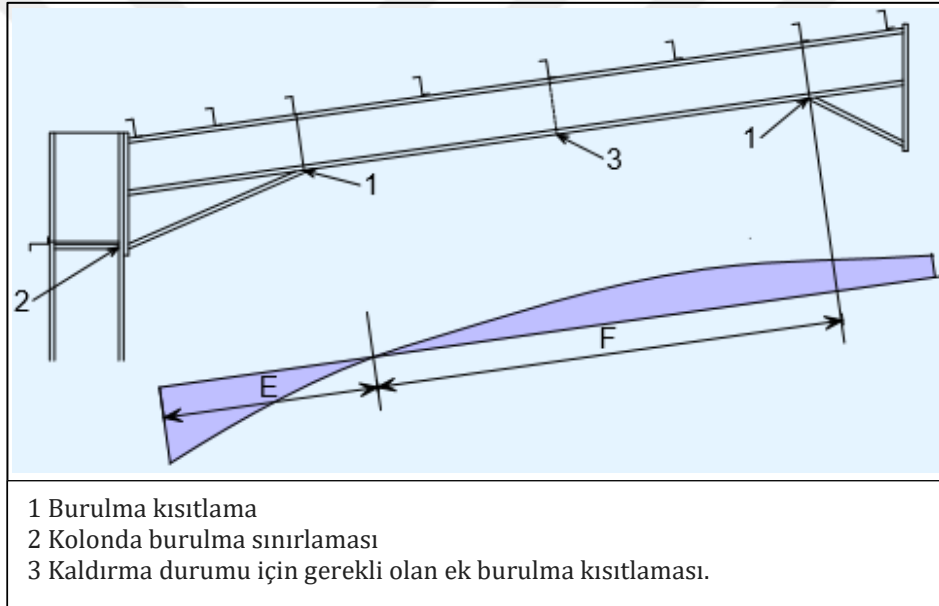
- ✓ Plastik mafsaldaki tutucu ile bir sonraki yan emniyet arasındaki mesafe, sınırlama mesafesi  $L_m$ 'yi aşmamalıdır.

- ✓ Mafsallın her bir yanındaki bir sonraki burulma kısıtlamasına olan mesafe, bölge B için tanımlandığı üzere, ara dayanakların  $L_m$  için şartları sağlayan aralığı ile sınırlandırıcı mesafeyi  $L_m$ 'yi aşmamalıdır.

Kirişlerin tepe noktası bitişiğinde herhangi bir plastik mafsal olmasa bile, bu noktada bir burulma kısıtlaması sağlamak normal bir uygulamadır; çünkü bu, hareketlerin yukarı kaldırma kombinasyonları düşünüldüğünde gerekli olacaktır - alt flanş sıkıştırılacaktır.

### Yükselme Koşulları İçin Kiriş ve Bölgelerin Stabilitesi

Yükseltme altında, portal çerçeve kirişin alt flanşının çoğu sıkıştırılmış haldedir. Tipik bir ters bükme momenti diyagramı Şekil 2.25'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 25 Rüzgar yükseltme için tipik çatı aşıkları aralığı düzenlemesi

Bu tip eğilme momenti diyagramı genellikle iç basınç ve rüzgar yükselmesi altında ortaya çıkar. Normalde, bükme momentleri yer çekimi yük kombinasyonlarından daha küçüktür ve elemanlar elastik kalacaktır. Aşağıda önerilen stabilite kontrolleri, bu yukarı kaldırma durumunda plastik mafsalların oluşmayacağını varsaymaktadır.

### *E Bölgesindeki Stabilite Kararlılığı*

E bölgesinde, (Şekil 2.25'e bakınız) portal çerçeve kirişin üst flanş sıkıştırılacak ve çatı aşıkları tarafından engellenecektir.

Anlıklar ve eksenel kuvvetler yerçekimi yük birleşimlerdeki momentlerden daha küçüktür. Üyelerin, TÇY 2018§11’de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanması gerekir. Muayene edilerek, bu bölgedeki kirişin tatmin edici olacağı açık olmalıdır.

#### *F Bölgesindeki Kararlılık*

F Bölgesinde, çatı aşıkları sıkıştırılmış olan portal çerçeve kirişin alt flanşı tutmazlar.

Kiriş, burulma kısıtlamaları arasında doğrulanmalıdır. Şekil 2.25’de gösterildiği gibi, tepe bitişik bir burulma kısıtlaması genellikle sağlanmıştır. Kiriş, bu nokta ile ardışıklık noktasındaki sanal sınır arasında sabit olabilir. Kiriş bu süre boyunca stabil değilse, ek burulma kısıtlamaları getirilebilir ve her bir kiriş uzunluğu doğrulanır.

#### Düzlem İçi Stabilité

Düzlem dışı kontrollere ek olarak, Düzlem içi kontrollerde yerine getirilmelidir. Düzlem içi kontroller için eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkilerine dayanmaktadır. TÇY 2018’da verilen ilgili koşullar esas alınarak, kirişin uzunluğu en az dayanım olarak dikkate alınmalıdır.

#### Tasarım Özeti

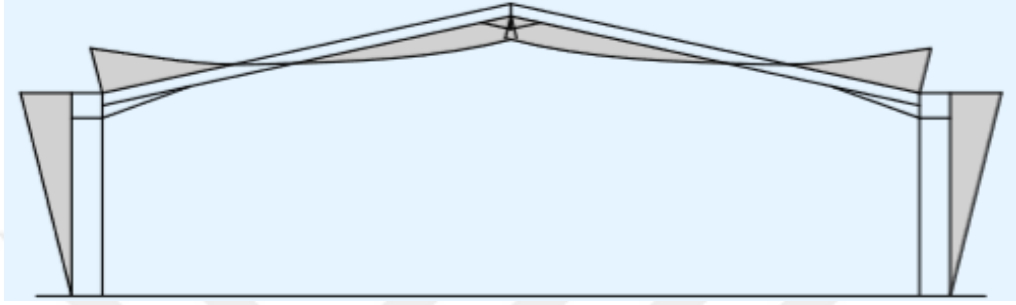
Portal çerçeve kirişi kombine moment ve eksenel yük altında IPE benzer kesitler olmalıdır. Plastik mafsalları içeren bölümler yönetmeliklerde belirtilen malzeme özelliklerine uygun olmalıdır.

- ✓ Kesitler TÇY 2018 veya EN 1993-1-1 gibi ulusal yönetmeliklerde belirtilen esaslar temel alınarak kontrol edilmelidir.
- ✓ Yerçekimi ve kaldırma koşullarında düzlem dışı istikrarı sağlamak için ayrıntılı kontroller yapılmalıdır.
- ✓ Kirişlerin düzlem içi kararlılığı ve düzlem dışı istikrarla etkileşim, TÇY 2018§11’de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmalıdır.



## 2.12. Kolon Tasarımı

Şekil 2.26'de gösterildiği gibi, kirişin en yüklü bölgesi olukla güçlendirilmiştir. Aksine, kolon, zıplayanın alt kısmında benzer bir eğilme momentine maruz kalır. Bu nedenle kolon, kirişten önemli ölçüde daha büyük bir kesit olmalıdır - genellikle kiriş boyutunun %150'si ile orantılıdır.



Şekil 2. 26 Düşey için tipik eğilme momenti diyagramı

Çoğu kolona optimum tasarım genellikle aşağıdakilerin kullanılması ile sağlanabilir:

- ✓  $I_{yy}$  ile  $I_{zz}$  oranının yüksek olduğu, kombine büyük eksen eğilimi ve aksel sıkıştırma altında yönetmelikte belirtilen malzeme özelliklerine uyan bir kesit
- ✓ Mermerinkinden yaklaşık %50 daha fazla plastik kesit modülü.

Kolon büyüklüğü genel olarak ön tasarım aşamasında gerekli bükülme ve sıkıştırma direnci temel alınarak belirlenecektir.

### 2.12.1. Kolon Ağı Dayanımı

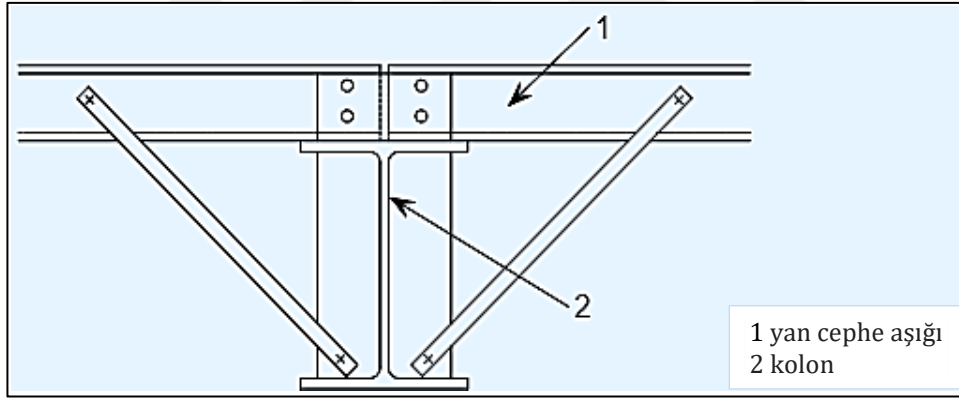
Kolon ağı, paçavra alt flanş seviyesinde yüksek sıkıştırmaya tabidir. Buna ek olarak, EN 1993-1-1§5.6(2) uygulanan enine kuvvet üyenin kesme direncinin %10'unu aşıyorsa, gövde mafsalların plastik mafsal konumlarında sağlanmasını gerektirir. TBDY 2018§9.3.3.1(b)'de ise; uygulanan enine kuvvet üyenin kesme direncinin %20'sinde az olması koşulu aranmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, tam derinlik takviyelerinden ağın güçlendirilmesi genellikle gereklidir.

## 2.12.2. Kolon Kararlılığı

### Düşey Yük Birleşimleri Altında Kolon Kararlılığı

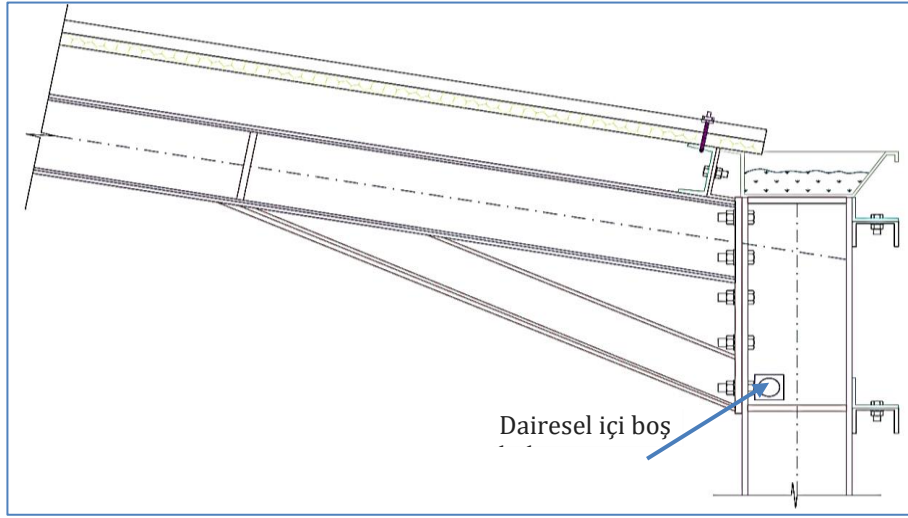
Çerçevenin plastik veya elastik olarak dizayn edilip edilmemesine bakılmaksızın, pervazın alt kısmında bir burulma kısıtlaması olmalıdır. Kolon uzunluğu boyunca ilave burulma kısıtlamaları gerekebilir. Çünkü yan cephe aşıkları sıkıştırma flanşından ziyade (dış) gerginlik flanşına tutturulmuştur. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi, sürekli olmayan (örneğin, endüstriyel kapılar tarafından kesilen) bir yan cephe aşığı yeterli kısıtlama sağlamak için kullanılamaz. Ara kısıtlamalar sağlanamıyorsa, kolon sayısının artırılması gerekebilir.

Şekil 2.27'de gösterildiği gibi, iç flanşa kalıcı olarak engelleme sağlanabilir, bunlar sadece sıkıştırma sertleştiricileri olarak işlev gören kaburganın alt kısmında tipik olan kolondaki sertleştiricileri göstermektedir. Diğer yerlerde genellikle takviye elemanları gerekli değildir.



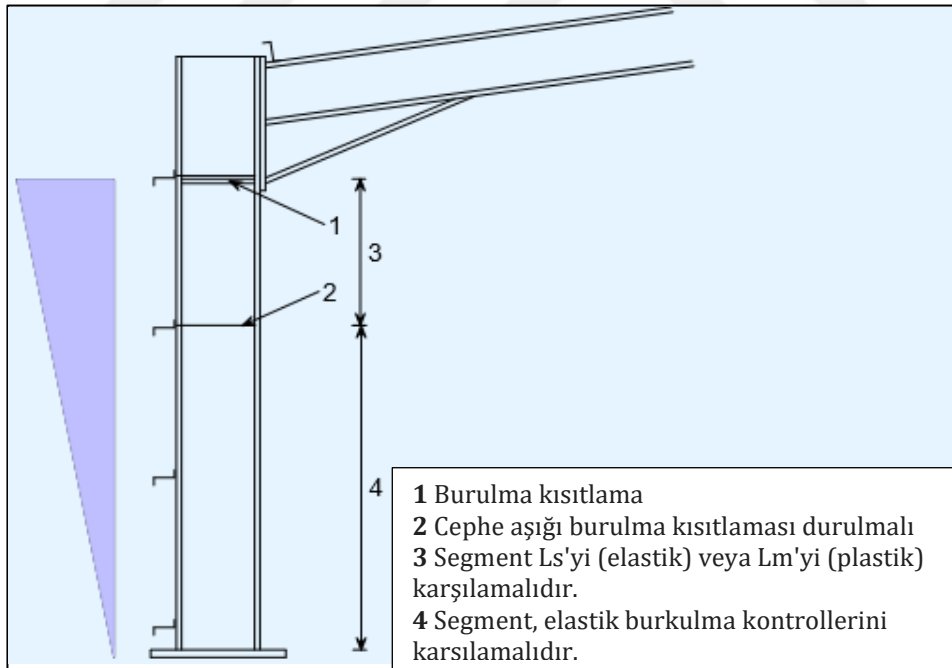
Şekil 2. 27 Tipik bir kolonun cephe aşığının takviye eleman ayrıntısı

Kolon seviyesinin alt kısmında, sınırlama sağlamak için genelde oyuk bir bölüm olan bir eleman ile sağlamanız uygun olabilir (Bkz. Şekil 2.28). Binanın uzunluğundaki bir noktada iç flanştaki desteklemeyi dış flanşa bağlamak esastır.



Şekil 2. 28 Tipik saçak detayı

Şekil 2.29, kalıcı ve değişken eylemler için tipik bir moment dağılımını gösterir ve sınırlamaların tipik bir kolon üzerindeki konumlarını gösterir. Plastik bir menteşenin varlığı yükleme, geometri ve kolon ve kiriş bölümlerinin seçimine bağlı olacaktır. Mertek benzer şekilde, düzlem dışı ve düzlem içi stabilite doğrulanmalıdır.



Şekil 2. 29 Kabuğun alt tarafındaki plastik mafsallı ile tipik portal çerçeve kolonu

Kabuğun alt kısmında bir plastik mafsallı oluşursa, bitişik burulma kısıtlamasına olan mesafe EN 1993-1-1§BB.3.1.2 tarafından verilen sınırlama mesafesi  $L_s$ 'den daha az

olmalıdır. İfade EN 1993-1-1§BB.7, moment doğrusal olduğunda ve EN 1993-1-1§BB.8 momenti doğrusal olmadığında kullanılmalıdır. Buna ek olarak, ara yanal dayanma noktaları arasındaki boşluk, EN 1993-1-1§BB.3.1.1'de verilen  $L_m$  gerekliliklerini karşılamalıdır.

Burulma kısıtlamaları arasındaki istikrar doğrulanamazsa, ilave burulma kısıtlamaları getirmek gerekli olabilir. Şekil 2.29'da, burulma dayanağı (şekilde '1' olarak gösterilmiştir) ile taban arasındaki kontrol uygun değildi - '2' konumunda ek bir burulma kısıtlaması getirildi. İlave ara kısıtlamalar sağlamak mümkün değilse, elemanın büyüklüğü arttırılmalıdır. Her durumda, bir plastik mafsallın  $L_m$  içinde bir yanal kısıtlama sağlanmalıdır

Plastik bir mafsal yoksa, kolonun stabilitesi, TÇY 2018§11'de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmalıdır.

#### Kaldırma Kombinasyonları Altındaki Kararlılık

Çerçeve yükselirken, kolonun momenti tersine döner. Eğilme momentleri, genellikle, yer çekimi yükleme kombinasyonlarına göre çok daha küçük olacak ve kolon elastik kalacaktır.

### **2.12.3. Düzlem İçi Stabilite**

Taşıyıcı sistem kolonların düzlem içi kontrollerde yerine getirilmelidir. Düzlem içi kontroller için eksenel kuvvet ve eğilme momenti etkilerine dayanmaktadır. TÇY 2018'da verilen ilgili koşullar esas alınarak üyenin tasarımı doğrulanacaktır.

#### Kolon Tasarımının Genel Özeti

- ✓ Kolonlarlar, kombine moment ve eksenel yük altında HEA, IPE veya IPN benzer kesitler olmalıdır.
- ✓ Kesit, makaslama bağlantısının derinliği dahilinde makaslama sertliği olmadan yüksek makaslara karşı ideal bir şekilde direnebilir olmalıdır.
- ✓ Kritik kesitler, TÇY 2018, EN 1993-1-1 veya ilgili ülkelerin yönetmelikleri temel alınarak kontrol edilmelidir.
- ✓ Stabilite kontrolleri, yeterli kararlılığı sağlamak için yürütülmelidir.

## 2.13. Stabilite Elemanların Tasarımı

Destekleme, uzunlamasına hareketlere esas olarak rüzgar etkilerine direnecek ve elemanlara kısıtlama getirmek için gereklidir.

Eksenel basınç kuvveti, eğilme momenti ve eksenel basınç kuvveti ile eğilme momentinin ortak etkisi altındaki elemanlarda, olası yanal yerdeğiştirmenin veya burulmanın önlenmesi amacıyla, uç ve ara noktalarına uygulanan stabilite bağlantı elemanları TÇY 2018§16'de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmalıdır

### 2.13.1. Dikey Destek

TÇY 2018§16.2'ye göre, kolonların uç ve ara noktalarının yanal yerdeğiştirmesinin, kolon yüksekliği boyunca önlenmesi gerekmektedir.

Çerçevenin yan duvarlarındaki dikey perçinleme işlevleri şunlardır:

- ✓ Yatay yükleri zemine iletmek.
- ✓ Yan cephe aşıklarının bağlanabileceği sağlam bir çerçevenin sağlanması, böylece, taşıyıcı kolonlara kararlılık kazandırır.
- ✓ Ereksiyon sırasında geçici stabilite sağlamak.

EN 1993-1-1'e göre destek, küresel analiz ve destek sistemi içindeki kusurlar için EN 1993-1-1§ 5.3.1, 5.3.2 ve 5.3.3'ün gerekliliklerini yerine getirmek zorundadır.

TÇY 2018§16.2'ye göre destek sistemi genelde şu şekilde olacaktır:

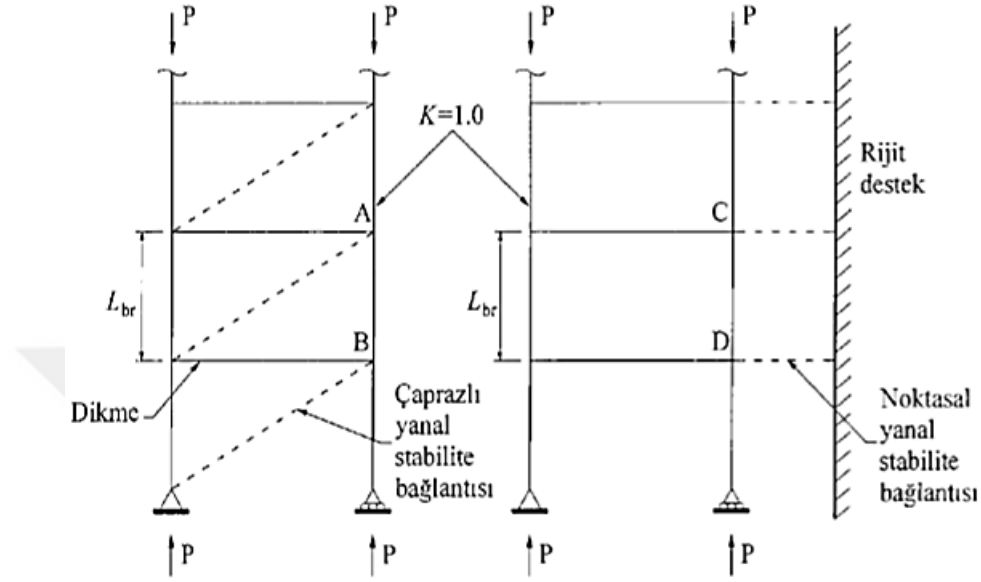
- ✓ Çaprazlı yanal stabilite bağlantısı
- ✓ Noktasal yanal stabilite bağlantısı

Destek sistemi genelde yapının geometrisine bağlı olarak düzenlenmektedir. Bu düzenleme sisteme şu şekilde olabilir:

- ✓ Yapının bir veya iki ucunda, yapının uzunluğuna bağlı olarak
- ✓ Yapının merkezinde
- ✓ Genleşme derzleri arasındaki her bölümde (bunlar oluştuğunda).

Yan duvarların desteklenmesi, çatıda yapılan planlarla aynı bölmede bulunmuyorsa, çatılardan gelen kuvvetleri duvar desteklerine iletmek için bir saçak dikmesi gereklidir.

TÇY 2018§16.2 ifade edilen, kolon için stabilite bağlantısı Şekil 2.30’da gösterilmiştir.



Şekil 2.30 Kolon için stabilite bağlantıları

Yük etkisi altındaki üyelerin tasarımında burkulma boyu,  $L_{br}$ , nin (genel burkulma durumu için  $L_c$  ve yanal burulmalı burkulma durumu için  $L_b$ ) eleman uzunluğu boyunca uç ve ara stabilite bağlantıları ile desteklenen (yanal yerdeğiştirmenin ve/veya burulmanın önlendiği) noktalar arasındaki uzaklığa eşit alınmasına, ( $K=1,0$ ), izin vermektedir.

TÇY 2018§16.1’e göre, stabilite bağlantısı elemanlarının ve birleşimlerinin mevcut dayanımı, daha küçük bir değer kullanılması bilimsel bir yöntemle kanıtlanmadığı sürece, gerekli dayanım ve rijitlikten az olmamalıdır.

#### Çaprazlı Yanal Stabilite Bağlantısı

TÇY 2018§16.2.1’de verilen ilgili koşullar esas alınarak çaprazlı yanal stabilite bağlantısının analiz ve tasarımı yapılacaktır. Yanal stabilite bağlantılarının uygun dayanım ve rijitliğe sahip olduğu doğrulanacaktır.

Kolonun boyuna eksenine dik doğrultuda, stabilite sisteminin gerekli kesme kuvveti dayanımı,  $V_{br}$ , TÇY 2018§16.2.1’de verilen Denk. (2.18) ve gerekli kayma rijitliği,  $\beta_{br}$ , Denk. (2.19) ile belirlenmektedir.

$$V_{br} = 0,005P_r \quad (2.18)$$

$$\beta_{br} = \frac{2}{\Phi} \left( \frac{P_r}{L_{br}} \right) \text{ (YDKT) veya } \beta_{br} = 2\Omega \left( \frac{P_r}{L_{br}} \right) \text{ (GKT)} \quad (2.19)$$

#### Noktasal Yanal Stabilite Bağlantısı

TÇY 2018§16.2.2’de verilen ilgili koşullar esas alınarak noktasal yanal stabilite bağlantısının analiz ve tasarımı yapılacaktır.

Yanal yerdeğiştirmenin önlenmesi amacıyla kullanılan noktasal yanal stabilite elemanın kolunun boyuna eksenine dik doğrultuda dayanımı,  $P_{br}$ , Denk. (2.20) ve gerekli rijitliği,  $\beta_{br}$ , Denk. (2.21) ile belirlenmektedir.

$$P_{br} = 0,01P_r \quad (2.20)$$

$$\beta_{br} = \frac{8}{\Phi} \left( \frac{P_r}{L_{br}} \right) \text{ (YDKT) veya } \beta_{br} = 8\Omega \left( \frac{P_r}{L_{br}} \right) \text{ (GKT)} \quad (2.21)$$

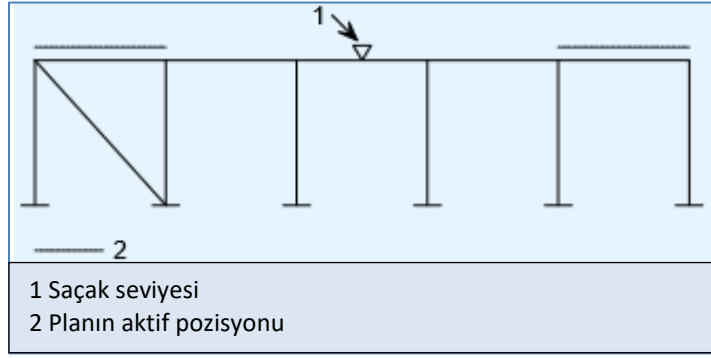
Not A : Çaprazlı veya noktasal stabilite elemanı tarafında desteklenen noktanın her iki tarafındaki kolon bölümlerinin farklı  $P_r/L_{br}$  değerine sahip olursa, gerekli rijitliğinin belirlenmesinde büyük olan değer esas alınır.

Dikey destekleme tipleri aşağıda verilmiştir.

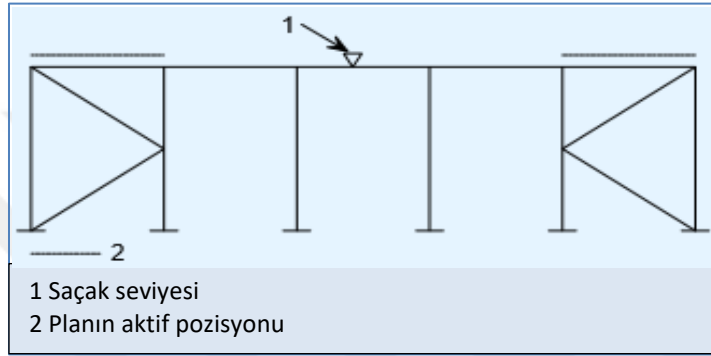
#### Dairesel İçi Boş Bölümleri Kullanarak Destekleme

Boşluklu kısımlar sıkıştırımda çok etkilidir ve çapraz destek gereksinimini ortadan kaldırır. Saçak yüksekliği yaklaşık olarak çerçevelerin aralığına eşitse, her konumda tek bir destek elemanı ekonomiktir (Şekil 2.31). Saçak yüksekliği, çerçeve aralığı ile bağlantılı olarak büyük olduğunda, genellikle K tipi çapraz sistemi kullanılır (Bkz. Şekil 2.32).

Plan desteklerinin konfigürasyonuna bağlı olarak son bölmelerde saçak dikmesi gerekebilir.



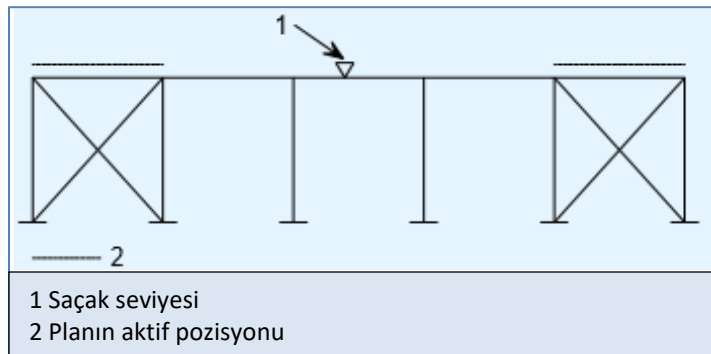
Şekil 2. 31 Alçak çerçeveler için tek çapraz destek



Şekil 2. 32 Uzun çerçeveler için K çapraz düzenlemesi

#### Açı Bölümleri veya Daireler Kullanarak Destekleme

Çapraz köşeli köşeler veya düzlemler (duvar boşluğu duvarı içinde) destek olarak kullanılabilir (Şekil 2.33'te gösterildiği gibi). Bu durumda sadece gerilimdeki çapraz elemanların etkili olduğu varsayılır.

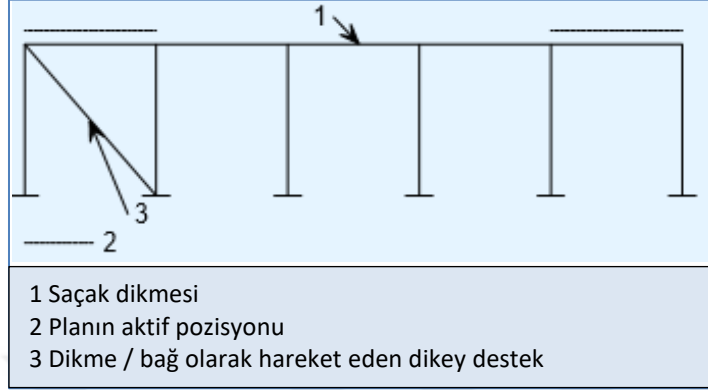


Şekil 2. 33 X tipi çapraz destek sistemi



### Tek Bir Bölmede Destek

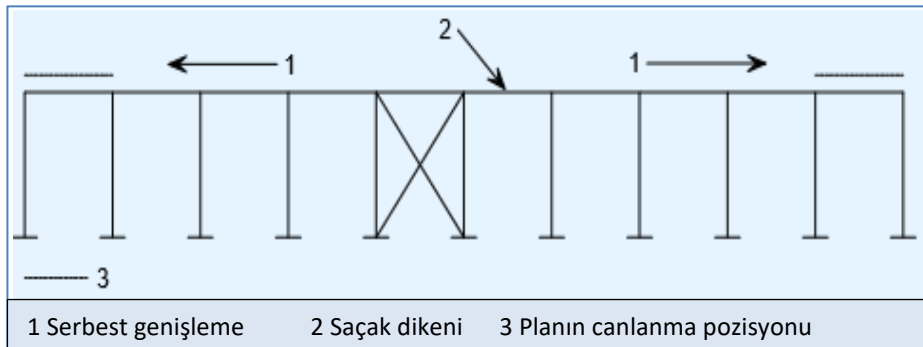
Tek bir bölmede bulunan dikey destek için, rüzgar kuvvetlerini çatıdan dikey bağlamaya doğru iletmek üzere bir saçak dikmesi gereklidir (Şekil 2.34).



Şekil 2. 34 Bir saçak dikmesi ile tek bir bölümde destek

### Tek Merkezde Sabitlenmiş Bölme

Bir yapının ortasına yakın tek bir destek sistemi sağlama kavramı (Şekil 2.35), sertleşmiş bir bölgede montaj yapılmasına ve bu noktadan bir binanın tam uzunluğunun azaltılması gereği nedeniyle popüler değildir. Bununla birlikte, binanın ortasındaki destek, günlük sıcaklık aralığının çok büyük olduğu yerlerde özellikle değerli olan yapının serbest ısıl genişlemesine izin vermesi avantajına sahiptir. Ülkemizin çoğu bölgesinde, beklenen sıcaklık aralığı daha ılımlı, tipik olarak  $-5^{\circ}\text{C}$  ila  $+35^{\circ}\text{C}$  arasındadır ve genel genişleme genellikle bir problem olarak kabul edilmez. Merkezi bir destekli bölme kullanılıyorsa, ereksiyona yardımcı olmak için uç yuvalarda ek geçici destek sağlamak gerekebilir.

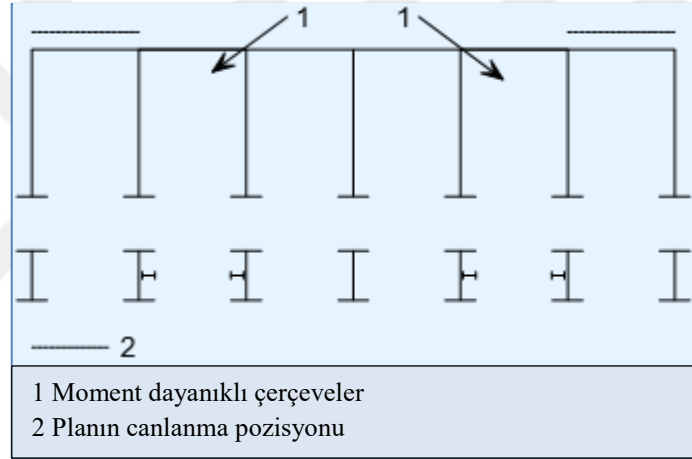


Şekil 2. 35 Termal genişlemeye izin vermek için tipik çapraz destek

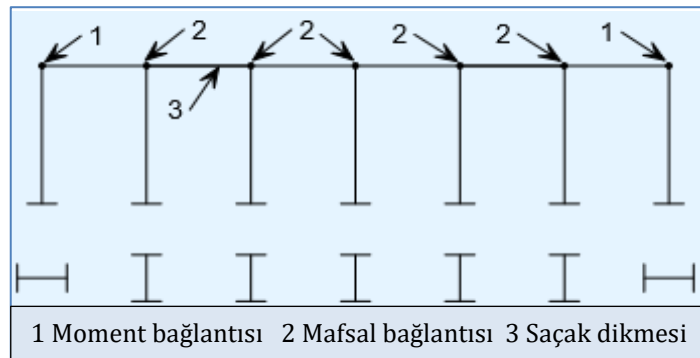
## Momentlere Dayanıklı Çerçeveleri Kullanarak Destekleme

Çerçeveyi geleneksel destekle dikey olarak desteklemenin zor veya imkansız olduğu durumlarda, yükseltilere moment dayanımlı çerçevelerin sokulması gerekmektedir. İki temel olasılık var:

- ✓ Şekil 2.36'ya göre, bir veya daha fazla bölgede momente dayanıklı bir çerçeve.
- ✓ Şekil 2.37'de gösterildiği gibi, uzunlamasına güçlere direnmek için tam yüksekliğin kullanımı, genellikle dayanak bağlantılı, uç bölmelerde bulunan ve son sütunun 90° döndürülmesiyle uzunlamasına yönde sertlik kazandıran bir bağlantıdır. Bu düzenleme ancak son çerçeve (köşebent) bir portal çerçeve yerine bir kiriş ve kolon düzenlemesinden yapılırsa mümkündür.



Şekil 2. 36 Bireysel, yerel rota çerçeveleri

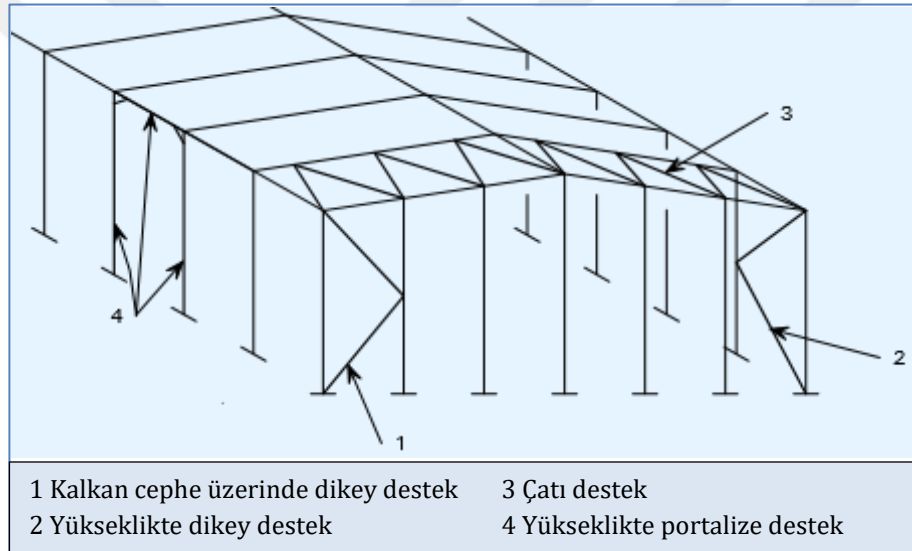


Şekil 2. 37 Binanın tam uzunluğu boyunca hibrid çerçeve

Her iki sistemin tasarımında şunları önerilmektedir:

- ✓ Portalize bölümün bükülme dayanımı (ana portal çerçevesi değil) elastik çerçeve analizi kullanılarak kontrol edilir.
- ✓ Eşdeğer yatay kuvvetler altındaki sapma  $h/1000$  ile sınırlıdır.
- ✓ Sertlik, servis verilebilirlik sapmalarını en yüksek  $h/360$ 'a sınırlamak suretiyle sağlanır, burada  $h$ , portalize edilmiş bölge yüksekliğidir.

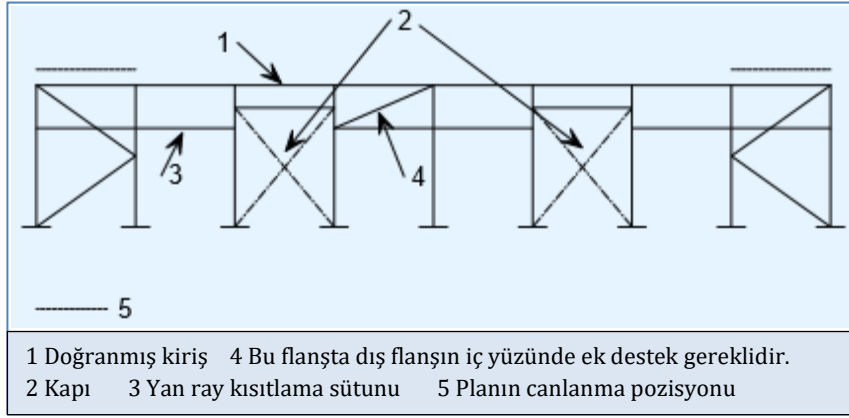
Bazı durumlarda, bir kot üzerinde konvansiyonel destek sağlamak ve diğerinde de ani dayanıklı çerçeveler sağlamak mümkündür. Çatının diyafram hareketine bağlı olarak kenarların sertlik farkından ötürü raf hareketinin etkileri genellikle ihmal edilebilir.



Şekil 2. 38 Yapının diğerk tarafında geleneksel destek ile bir taraftaki bir açıklığı portalize etmek

### Kolonları Tutmak İçin Destek

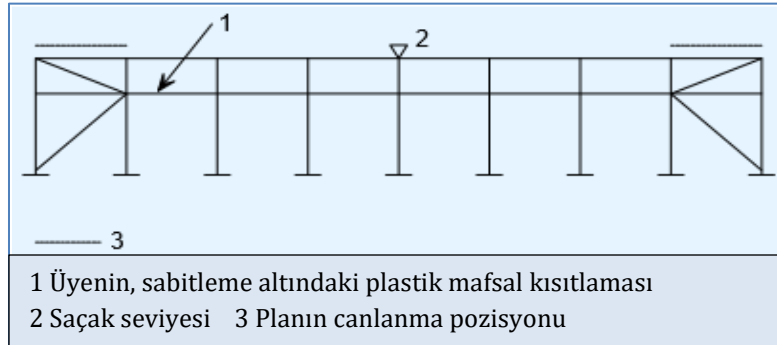
Yan raylar ve sütun yatakları sütuna yanal veya burulma kısıtlaması sağlıyorsa, tutucu kuvvetin dikey destek sistemine giden yolunu belirlemek önemlidir. Binanın yan tarafında birden fazla açıklık varsa ek ara dayanak gerekebilir. Bu dirsek yan ray düzlemine, tercihen dış flanşın iç yüzünde yakınına yerleştirilmelidir (Şekil 2.39).



Şekil 2. 39 Açıklıklar ile bina tarafında tipik destek desen

Normal olarak, sütun durma konumlarında kısıtlama sağlayan yan rayın dikey destek sisteminin bir düğümüyle hizalanması gerekli değildir. Dikey tabakadaki diyafram hareketinin ve kolonun enine sertliğinin yükü dikey destekleme sistemine geçirebileceği varsayılabilir.

Kolonda bir plastik mafsalın konumunu sınırlamak için bir üye kullanılırsa, mafsal sisteminin içine doğru bağlanması esastır. Bu, Şekil 2.40'da gösterilen yapılandırmaya neden olabilir. Binanın yan tarafında birden fazla açıklık olması durumunda yukarıda tarif edilenle aynı şekilde ek ara dayanak gerekir.

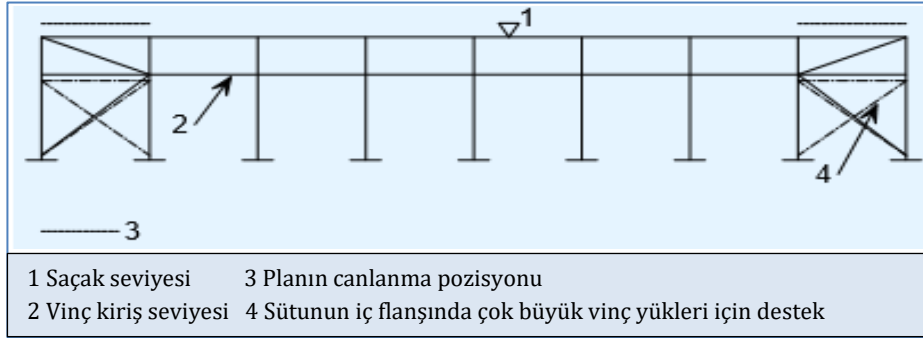


Şekil 2. 40 Tipik destekleme sistemi

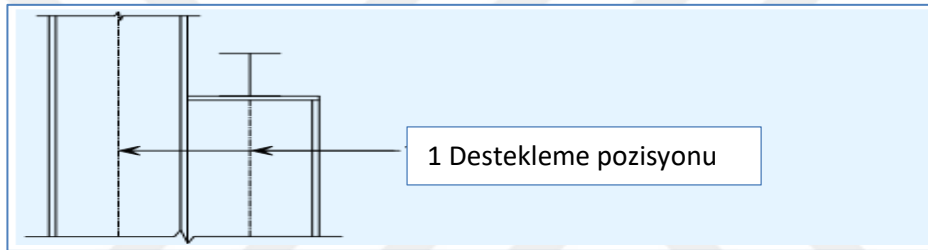
### Vinçlerden Uzunlamasına Yükleri Dizmek İçin Destek

Bir vinç doğrudan çerçeveye destekleniyorsa, uzunlamasına yükselen kuvveti kolona eksantrik olacak ve ek kısıtlama sağlanmadıkça kolonun bükülmesine neden olacaktır. Kiriş üstü flanş seviyesindeki yatay bir kafes veya daha hafif vinçler için, dikey desteklemeye bağlanan kolon flanşının iç yüzündeki yatay bir eleman gerekli kısıtlamayı sağlamak için yeterli olabilir.

Büyük yatay kuvvetler için vinç kirişinin düzleminde ek destek sağlamalıdır (Şekil 2.41 ve Şekil 2.42). Çizelge 2.1'de verilen kriterler, destek gereksinimlerini tanımlamak için verilmiştir.



Şekil 2. 41 Tipik vinç kirişinin destekleme sistemi



Şekil 2. 42 Vinç kirişinin düzleminde ek desteğini gösteren ayrıntı

Çizelge 2. 1 Vinç kirişleri için destek gereksinimleri

Faktöre boyuna kuvvet	Destek gereksinimi
Küçük (<15 kN)	Rüzgar destek kullan
Orta (15 - 30 kN)	Yatay destek kullanınız.
Büyük (> 30 kN)	Uzunlamasına vinç kuvvetlerinin düzleminde ek destek sağlamayı

### 2.13.2. Çatı Destek Çaprazları

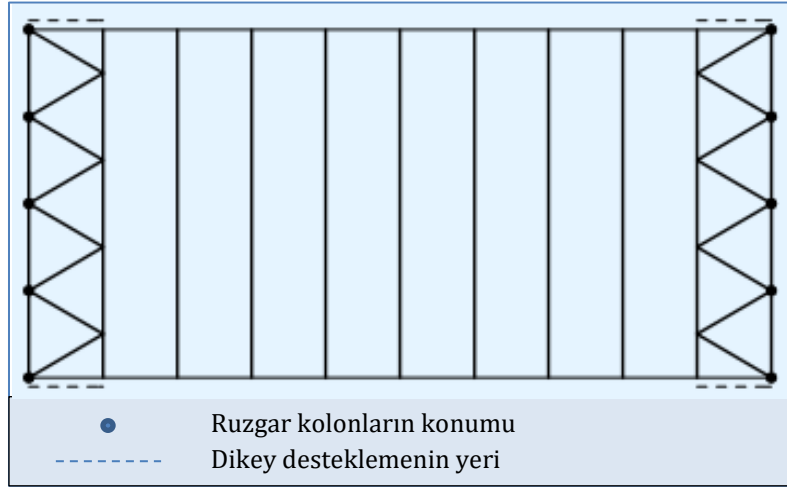
Plan desteği, yatay düzleme veya çatı düzlemine yerleştirilir. Planın desteklenmesinin başlıca işlevleri şunlardır:

- ✓ Yatay rüzgâr kuvvetlerini duvar direklerinden duvarlardaki dikey dayanma noktasına iletmek
- ✓ Tavan üzerindeki rüzgâr şeklindeki sürüklenme kuvvetlerini dikey dayanma noktasına iletmek
- ✓ Montaj sırasında stabilite sağlamak
- ✓ Kirişleri engellemek için kullanılan çatı aşıkları için sağlam bir ankraj sağlamak.

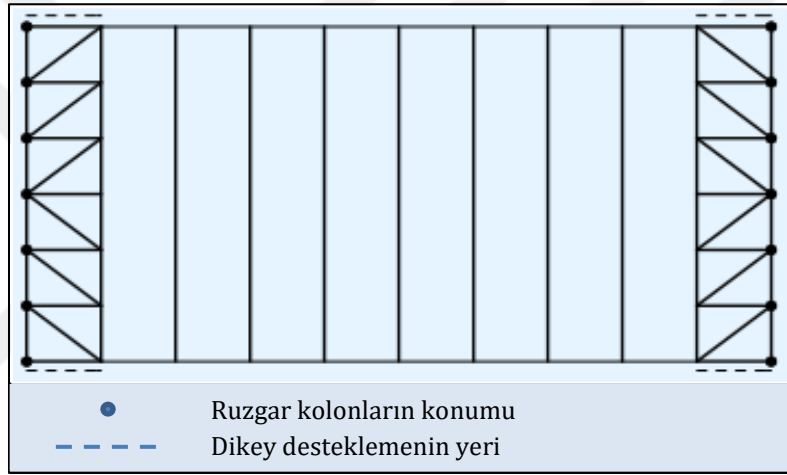
Rüzgâr kuvvetlerini verimli bir şekilde iletmek için, plan rampası direk direklerinin tepesine bağlanmalıdır. EN 1993-1-1'e göre destek, küresel analiz ve destek sistemi içindeki kusurlar için §5.3.1, 5.3.2 ve 5.3.3'ün gerekliliklerini yerine getirmek zorundadır.

#### Dairesel Oyuk Kesitlerle Destekleme

Modern yapılarda, çatıda dairesel boşluklu destek elemanları genel olarak kullanılır. Bu elemanlar, gerilim ve sıkıştırmaya karşı dayanımlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Çerçevelerin aralığı ve kalkan cephelerin kolon konumlarına bağlı olarak birçok düzenleme mümkündür. İki tipik düzenleme Şekil 2.43 ve Şekil 2.44'te gösterilmektedir. Destek genellikle kiriş ağında bulunan payandalara tutturulmaktadır. Bağlantı noktaları, üst flanşa mümkün olduğunca yakın olmalı ve üye ve bağlantı boyutuna izin verilmelidir.

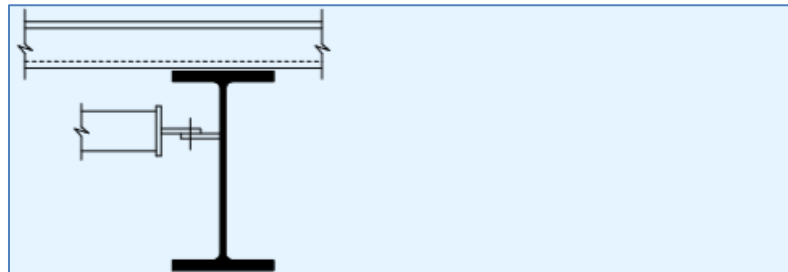


Şekil 2. 43 Her iki bitiş yuvasını gösteren plan görünüşü



Şekil 2. 44 Rüzgar kolonlarının yerleşimi ve plan görünüşü

Plan desteklerinin konfigürasyonuna bağlı olarak, son bölmelerde bir saçak dikmesi gerekebilir. Her durumda, binanın uzunluğu boyunca bir saçak sağlamak için iyi bir uygulamadır.



Şekil 2. 45 Dairesel destekleme için tipik bağlantı detayı

### Açı Bölümlerini Kullanarak Destekleme

Modern yapılarda açılarının kullanımını yaygın değildir, ancak çapraz köşeli açıların avantajı, diyagonal elemanların nispeten küçük olmaları nedeniyle avantajlıdır, çünkü sadece gerilime direnecek şekilde tasarlanabilirler (Şekil 2.46).



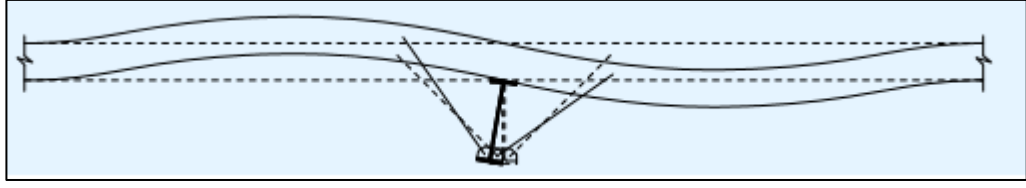
Şekil 2. 46 Çapraz açılı kesitler kullanılarak her iki uç yuvasını gösteren plan görünüşü

### İç Flanşlara Sabitleme

Kirişlerin veya kolonların iç flanşlarına kısıtlama, çoğunlukla, çatı aşıkları veya tabakalardan, iç flanşa ve ağa kaynaklı küçük plakalara kadar olan köşegen çubuklarla oluşturulur. Preslenmiş çelik bağlar sıklıkla kullanılır. Bağlar yalnızca gerilim altında hareket ederken, sınırların yalnızca bir tarafta sağlanması gereken yerlerde açıların yerini alması gerekir.

Bu tür bir kısıtlamanın etkinliği sistemin sertliğine, özellikle de çatı aşıklarının sertliğine bağlıdır. Aşık esnekliğinin burkulma üzerindeki etkisi Şekil 2.47'de gösterilmiştir. Üyelerin, aşıkların ve boşlukların oranları kanıtlanmış önceki uygulamalardan farklı olduğunda, etkililik kontrol edilmelidir. Bu, U-çerçeve eylemi için köprü kodlarında bulunabilecek şekilde yöntemlerdir.





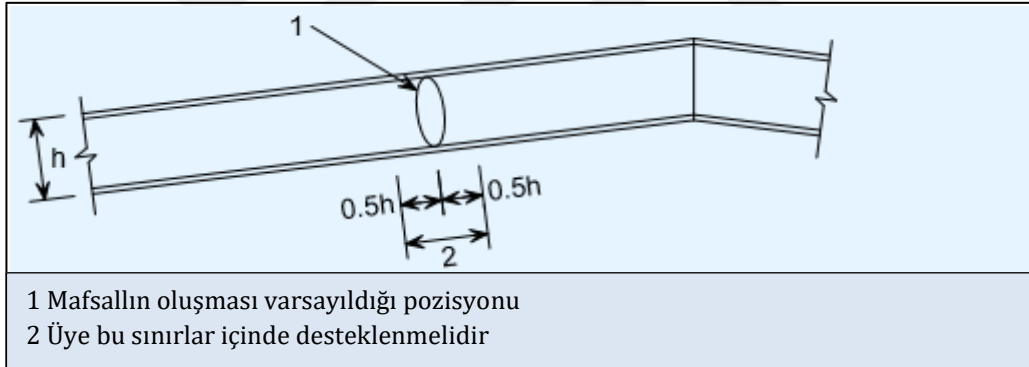
Şekil 2. 47 İç flanşlara sabitleminin esneklik üzerindeki etkisi



Şekil 2. 48 Tipik sert burulma kısıtlama

### Plastik Menteşelerde Destek

EN 1993-1-1§6.3.5.2'ye göre, germe ve sıkıştırma flanşlarına, hesaplanan plastik mafsalların 0,5h'inde veya bu değerlerin 0,5h'inde destek sağlamanızı önerir.



Şekil 2. 49 Plastik mafsallarda destekleme

EN 1993-1-1§6.3.5.2 (3)B'ye göre, bir plastik mafsalla olan desteğin, sıkıştırma flanşının, flanş kuvvetinin %2,5'luk bir yanal yükünü (plastik moment direnci / derinliği olarak alınmıştır) dikey olarak dik olarak uyguladığı varsayılarak tasarlanmalıdır.

Buna ek olarak, EN 1993-1-1§6.3.5.2(5)B maddesine göre, destekleme sistemi, her bir stabilize edilmiş parçaya uygulanan yerel kuvvetlerin  $Q_m$ 'nin plastik mafsal konumlarına etkilerini karşılayabilmelidir;

$$Q_m = 1,5\alpha_m \frac{N_{f,Ed}}{100}; \quad \alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$$

ifadesindeki m, kısıtlanacak eleman sayısıdır.

Plastik mafsallın, aşıklardaki köşegenlerle paralel olduğu yerlerde, pervane ve diyagonallerin oluşturduğu "U-çerçevesinin" sertliği özellikle önemlidir. Üyelerin, aşıkların veya boşlukların oranlarının önceki uygulamadan farklı olduğu durumlarda etkinlik kontrol edilmelidir. Böylece, destek elemanının (aşık veya döşeme rayının) aşağıdaki gibi olması gerekir: Böylece, destek elemanı (aşık veya tabaka rayı)  $I_{y,s}$ 'ye sahip olmalıdır, öyle ki:

$$\frac{I_{y,s}}{I_{y,f}} \geq \frac{f_y}{190 \times 10^3} \times \frac{L(L_1 + L_2)}{L_1 L_2} \quad (2.22)$$

Bu şekildeki mafsallar, döndürülerek durdurulur veya ters çevrilerek boşaltılır ve tamamen döndürülerek takılmalıdır. Bununla birlikte, çöküş mekanizması içerisinde ortaya çıkan, ancak KSD'nun üstünde döndürülen mafsallar yük birleşimlerindeki kontrolleri için plastik menteşeler olarak düşünülmemelidir. Bu menteşeler elastik plastik veya grafik analiz ile kolayca tanımlanır.

Analiz, tüm bölüm toleranslarını, artık gerilmeleri ve malzeme toleranslarını açıklayamaz. Bu etkilerin mafsal konumlarını etkileyebilecek noktaları sınırlamaya özen gösterilmelidir. Bükülme momentleri plastik moment kapasitesine yaklaştığında, bir mafsal imkânı düşünülmemelidir.

#### Destek Sistemlerin Tasarım Özeti

Yapıya genel bir istikrar sağlanmalıdır. Taşıyıcı sistem kolon ve kirişlerine lokal istikrar sağlamak için çatı aşıkları, yan cephe aşıkları ve saçak kirişleri ile birlikte hareket ederek rüzgar da dahil olmak üzere yatay eylemlere direnecek sağlamlık ve rijitlik sağlanmalıdır. Destek sağlamalar aşağıda verilmiştir:

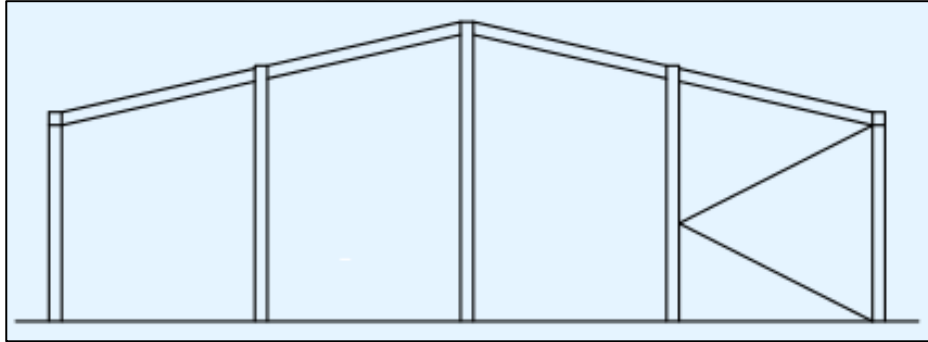
- ✓ Yan duvarlara, dikey bir düzlemde destek sağlama,
- ✓ Binanın çatısında veya yakınında plan üzerinde destek sağlama,
- ✓ Sıkıştırma ve potansiyel olarak kararsız oldukları kolonların ve kirişlerin iç flanşlarını stabilize etmek için konaklamalar gereklidir.
- ✓ Burulma kısıtlaması sağlamak için plastik mafsal pozisyonlarında veya yakınında destek sağlama.

## 2.14. Geçiş Çerçevelerin Tasarımı

### 2.14.1. Taşıyıcı Çerçeve Türleri

Geçiş çerçeveleri genellikle iki formdan oluşur:

- ✓ Gelecekte yapının kalanına aynı portal çerçeve ilave edilmesine olanak sağlar. Geçiş çerçeve kolonları, taşıyıcı kirişleri desteklemeyecek şekilde tasarlanır. Geçiş çerçevenin bu biçimi basitlik için kullanılır, ya da gelecekte yapıyı genişletme olasılığı olduğu için.
- ✓ Geçiş çerçeve kolonları ve basitçe desteklenen kirişleri içeren bir ızgara çerçevesi oluşturulur. Geçiş çerçeve kolonları, taşıyıcı kirişleri desteklemeyecek şekilde de tasarlanabilir. Bu formun geçiş çerçeveleri, Şekil 2.50'de gösterildiği gibi, geçiş düzleminde destek gerektirir. Bu geçiş formunun avantajı, kirişlerin ve dış kolonların portal çerçevesindekilerden daha küçük olmasıdır.

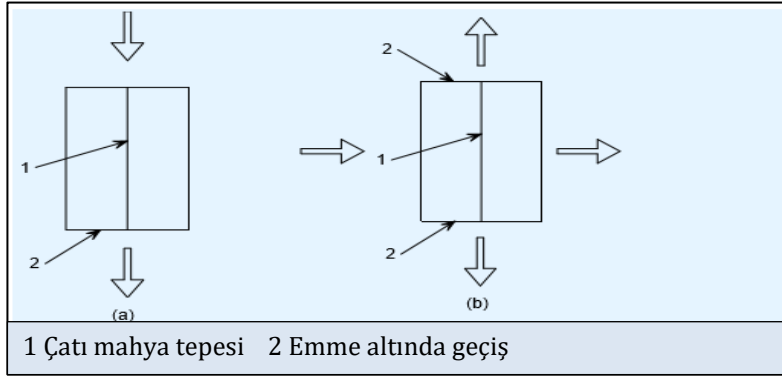


Şekil 2. 50 Sütunlar, kirişler ve desteklerden sürülebilir çerçeve

### 2.14.2. Geçiş Çerçevesi Kolonları

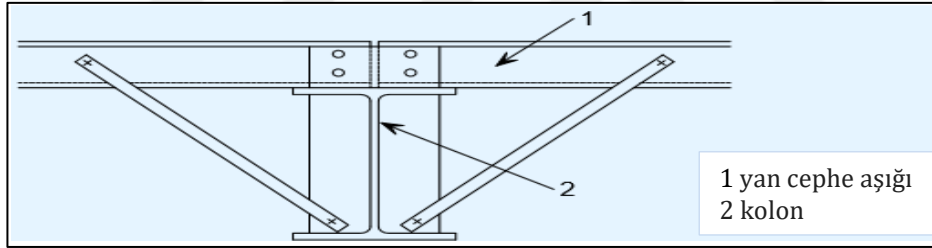
Geçiş çerçevesi kolonları, taban ve kiriş arasına uzanan dikey kirişler olarak tasarlanmıştır. Kiriş seviyesinde, geçiş kolonun yatay yükü çatı kirişine, saçaklara ve daha sonra yükselmelerdeki tutamak yoluyla zemine aktarılır.

Geçiş çerçevesi kolonları, basınç ve çekme dayanımları için tasarlanmaktadır. Maksimum çekme, Şekil 2.51(a) 'da gösterildiği gibi, rüzgâr inişinde olduğunda veya Şekil 2.51(b)' de gösterildiği gibi, rüzgâr yönüne paralel olduğunda daha muhtemel olabilir.



Şekil 2. 51 Geçiş çerçevesi üzerinde rüzgar yükler

Dâhili basınç veya emme, ızgara üzerindeki net yüklere katkıda bulunur. Net yükler harici bir basınca eşdeğer olduğunda, geçiş çerçevesi kolonlarının dış flanşları sıkıştırmadadır, ancak yan cephe aşıkları tarafından düzlem dışı tutulur. Net yükler harici bir emmeye eşdeğer olduğunda, geçiş çerçevesi kolonlarının iç flanşları sıkıştırmadadır. Bu tasarım durumu, iki koşulun en zorlu olabilir. Şekil 2.52'te gösterildiği gibi, geçiş çerçevesi kolonların tutturulmuş iç flanşının uzunluğunun azaltılması mümkün olabilir.



Şekil 2. 52 Tipik bir kolonun cephe aşığının takviye eleman ayrıntısı

### 2.14.3. Geçiş Çerçevesi Kirişleri

Geçiş çerçevesi Şekil 2.50'de gösterilen formda ise, geçitli kirişler genellikle basitçe I kesit tipine sahip üyeleri tarafından desteklenmektedir. Düşey yükleri taşımaya ek olarak, çatı kirişleri genellikle çatı kiriş sisteminde kiriş elemanları olarak hareket eder ve bu tasarım durumu doğrulanmalıdır.

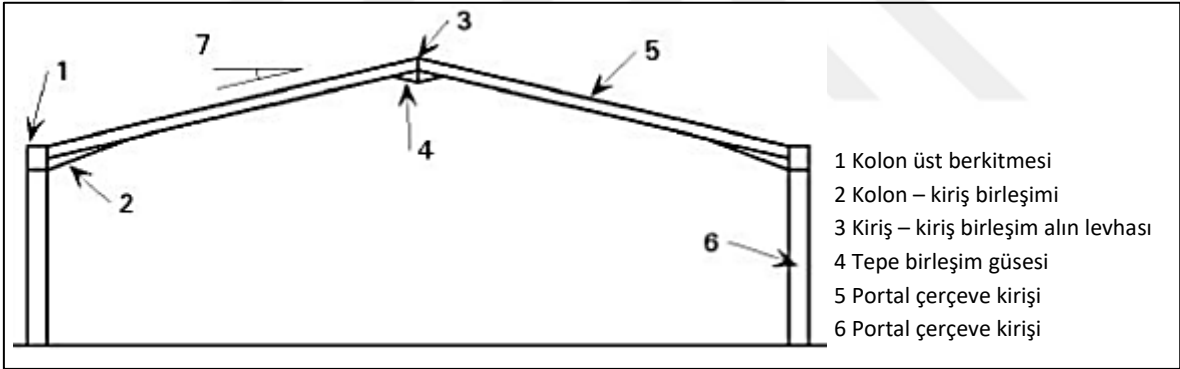
Bir portal çerçeve bir kafes çerçevesi olarak kabul edilirse, uç çerçevedeki düşey yükler daha az olsa da, özdeş bir çerçeve boyutunu benimsemek yaygındır. Genel olarak, düşürülmüş dikey yükleme, kirişin kesit boyutunu arttırmaya gerek kalmadan çatı destek sisteminin bir parçası olarak aksenal kuvveti taşıyabileceği anlamına gelecektir.

## 2.15. Çerçeve Bağlantıları

Bir portal çerçevesindeki ana bağlantılar, her ikisi de dirençli olan saçak ve tepe bağlantıdır. Özellikle saçak bağlantısı genellikle çok büyük bir eğilme momenti taşıyabilmektedir. Hem saçakların hem de tepe bağlantılarının, bazı eylem kombinasyonlarında tersine dönme olasılığı vardır ve bu önemli bir tasarım durumu olabilir. Ekonomi için, ek takviye gerekliliklerini en aza indirmek için bağlantılar (genellikle takviye olarak adlandırılır) düzenlenmelidir. Bu genellikle şu şekilde elde edilir:

- ✓ Takviyeyi daha derine getirmek (kaldıraç kollarını arttırmak)
- ✓ Bağlantıyı, kirişin üst flanşının üstüne uzatmak (ek bir cıvata satırı)
- ✓ Cıvata satırları ekleme
- ✓ Daha güçlü bir sütun bölümü seçmek

Portal bağlantı detayları Şekil 2.53'te gösterilmektedir.



Şekil 2. 53 Portal bağlantı detayları

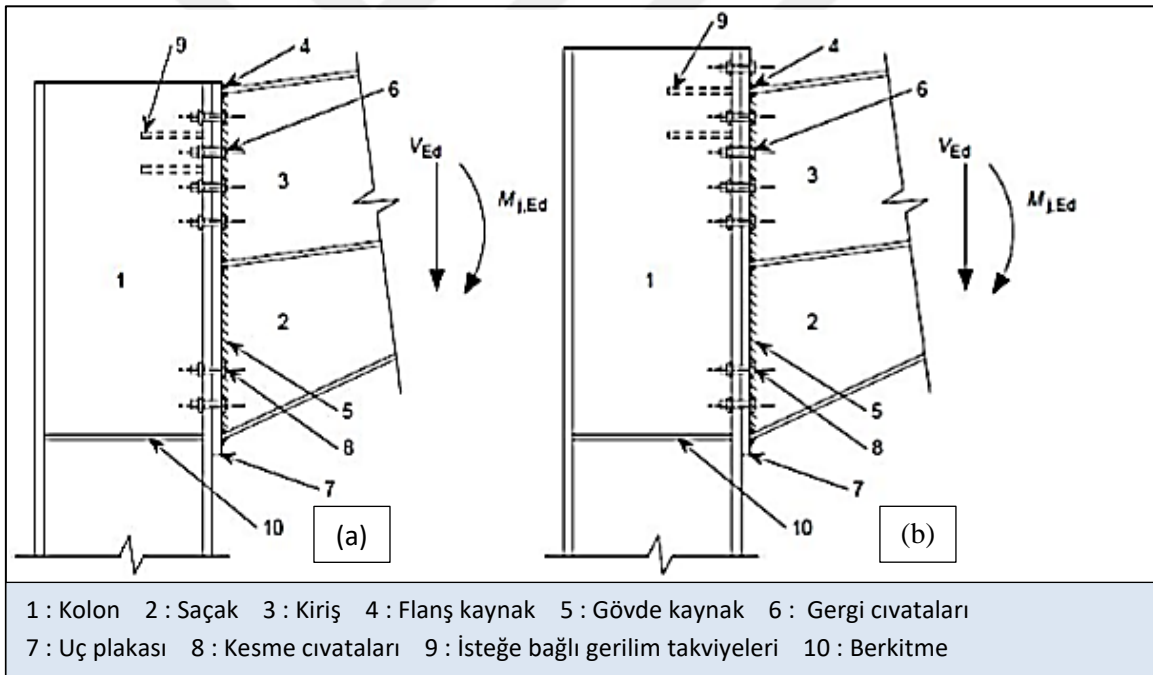
### Saçak Bağlantıları

Kirişin moment dayanımını arttırmaya ek olarak, ağız varlığı, bağlantı bölgesinde büyük bir eğilme momenti taşıyorsa önemli olan, gergi bölgesindeki cıvataların kollarını arttırır. Genel olarak gerginlik bölgesindeki cıvatalar (konvansiyonel yerçekimi yüklemesi altındaki üst cıvatalar), uygulanan momentten gerilimi taşımak için nominal olarak tahsis edilirken, alt cıvatalar (sıkıştırma sertleştiricisine bitişik), genellikle dikey kaymayı taşımak için nominal olarak tahsis edilir. Bu genellikle birbirine paraleldir.

Portal çerçeve elemanları bükme direnci için seçildiğinden, portal çerçevelerinde nispeten ince ağlara sahip derin elemanlar yaygındır. Kolonda bir sıkıştırma sertleştiricisi genellikle gereklidir. Kolonun ağ paneli, ya bir diyagonal sertleştiriciyle takviye edilmeli veya bir ilave tabakası gerektirebilir.

Uç plakası ve kolon ek bir çift cıvata ile kirişin üst kısmının üzerine uzatılabilir. Kiriş üzerindeki uç plakası, daha kalın hale getirilebildiğinden sertleştirme gerektirmeyebilir, ancak kolon flanşının gergi cıvatalarına lokal olarak kuvvetlendirilmesini gerektirdiği yaygındır. Takviyeler pahalıdır, bu yüzden iyi bir bağlantı tasarımı, bağlantı geometrisinin mantıklı seçimi ile takviye elemanlarına olan ihtiyacı en aza indirecektir.

Tersine çevrilmiş bir eğilme momenti altında, kolonun üstündeki kolon tabakasına, kirişin üst flanşı ile hizalı bir sertleştirici sağlamak gerekli olabilir.



Şekil 2. 54 Portal çerçevede tipik uç plaka saçak bağlantısı

Şekil 2.54'te (a) ve (b) tipi portal çerçeve kolon kiriş bağlantısı gibi bağlantılar teşkil edilebilir. Farklı tip bağlantı detayları da öngörülebilir.

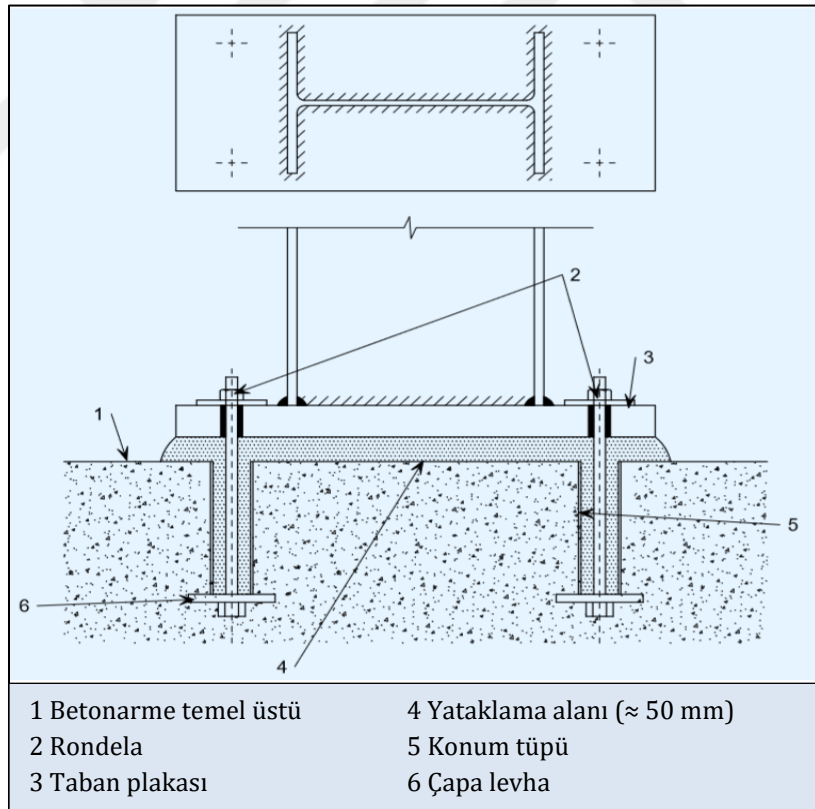


bağlantısı sadece daha pahalı olmakla kalmıyor, aynı zamanda vakfa da direnmeli, bu da maliyetleri önemli ölçüde artırıyor.

Vinç kirişlerinin kolon tarafından desteklendiği durumlarda, bükülmeleri kabul edilebilir sınırlara indirgemek için moment dirençli bazlar gerekebilir.

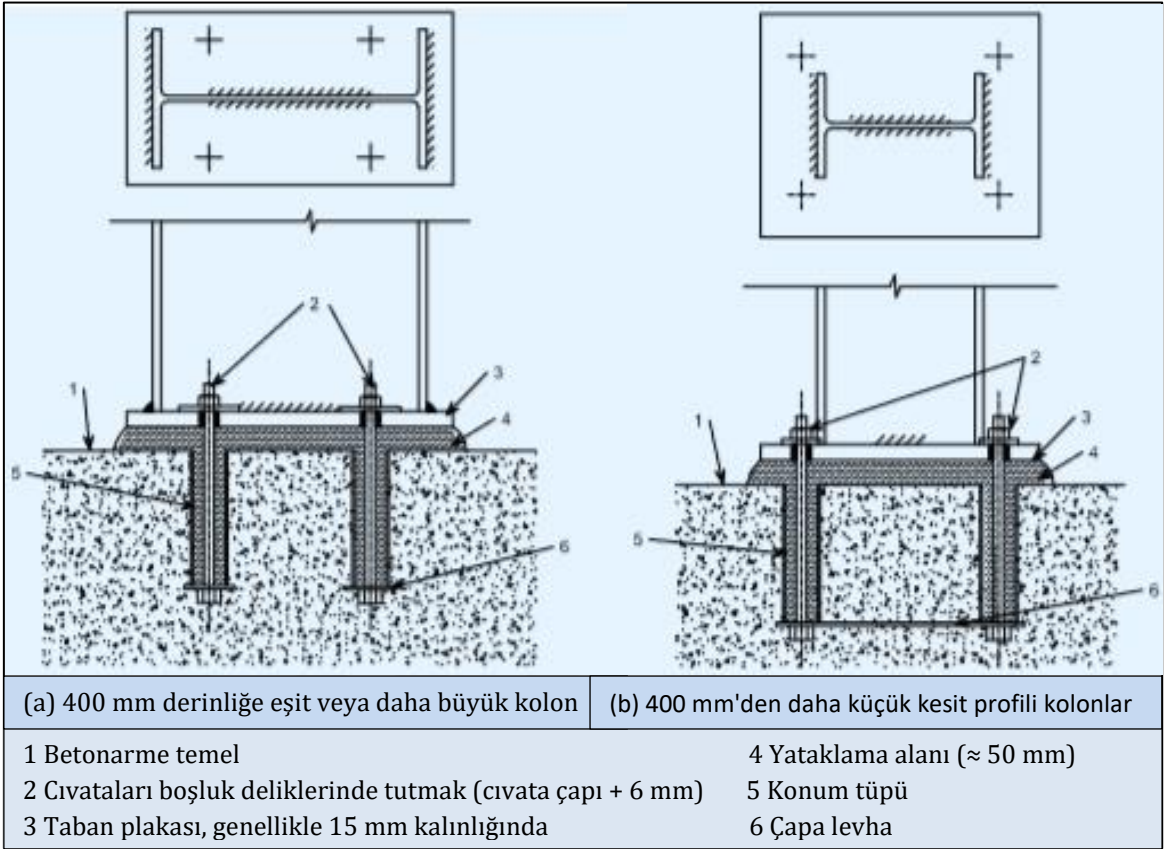
Kesiti büyük kolonlar için nominal olarak sabitlenmiş bir tabanda, cıvatalar tamamen kolon profiline yerleştirilebilir (Şekil 2.57(a)). Daha küçük kolonlar için (yaklaşık 400 mm'den daha az), taban plakası daha büyük yapılır, böylece cıvatalar flanşların dışına taşınır (Şekil 2.57(b)).

Şekil 2.56'da gösterildiği gibi plaka kalınlığını artırarak cıvatalar için daha büyük bir kol kolu ve daha sert bir taban plakası sağlayarak, nominal olarak rijit, an dirençli bir taban elde edilir. Şekil 2.58'te gösterildiği gibi, ağır moment bağlantıları için ek köşebent plakaları gerekli olabilir.

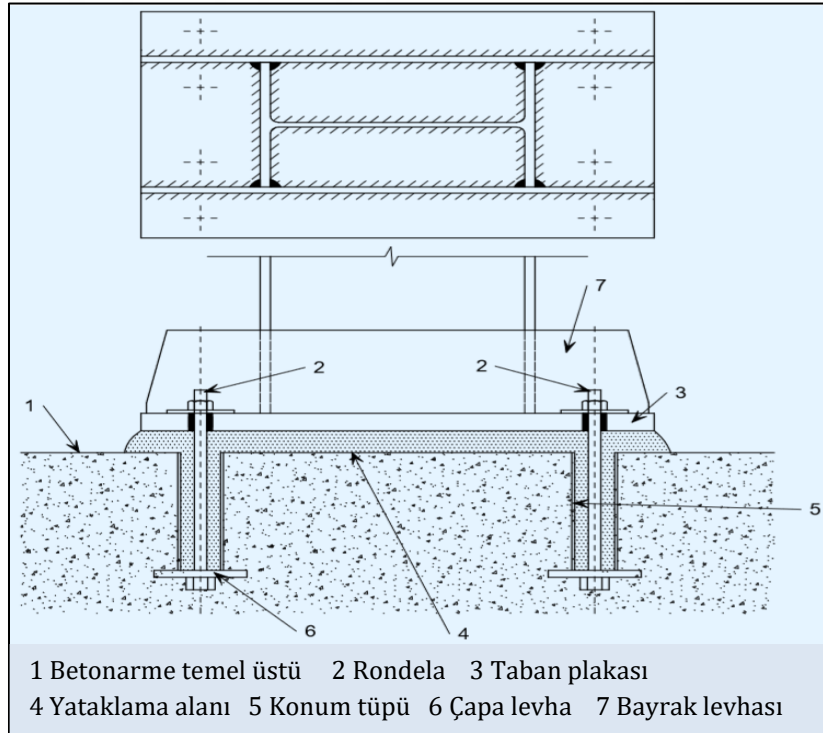


Şekil 2. 56 Tipik olarak ani sert anı dayanıklı temel





Şekil 2. 57 Tipik olarak sabitlenmiş kolon tabanları



Şekil 2. 58 Yüksek momentler için nominal olarak rijit, dayanıklı taban

### 2.16.1. Montajda Güvenlik

Ereksiyon sırasında taban plakasında en az dört civatanın sağlanması stabildir. Alternatif olarak, çoğu sahadaki pratik olmayan ve tehlikeler yaratabilecek olan kolonun montajından hemen sonra geçici destek sağlamaktır.

### 2.16.2. Yatay Kuvvetlere Karşı Dayanım

Kolonun tabanında hareket eden en yüksek yatay kuvvetler, genellikle çatıdaki dikey yüklemenin neden olduğu kolonda bükülme sonucu dışarı doğru hareket edenlerdir.

Dışa doğru hareket eden yatay reaksiyonlar çeşitli şekillerde karşılanabilir:

- ✓ Şekil 2.59 (a)'da belirtildiği gibi, temel tarafında pasif toprak basıncı
- ✓ Şekil 2.59(b)'de gösterildiği gibi, kolonun tabanına bağlı taban döşemesine bir bağlantı.
- ✓ Şekil 2.59 (c) ve (d)'de gösterildiği gibi, zemin döşemesinin altında veya içinde her iki sütunu birbirine bağlayan çerçevenin tüm genişliği boyunca bir bağlantı.

Şimdiye kadar yatay güçlere direnmenin en popüler yöntemi pasif toprak basıncı kullanmaktır. Bunun ekonomik avantajları vardır, zira yükselmeye direnmek için gereken temel büyüklüğü, zemine karşı yeterli pasif dayanımı sağlamak için genellikle yeterlidir. Bununla birlikte, zeminin düzgün bir şekilde sıkıştırılmaması ve çevredeki drenaj ve servis açmaları, pasif direncin önemli ölçüde azalmasını sağlayabilirse, çevredeki zeminin pasif direnci beklenenden daha az olabilir.

Alternatif olarak, sütuna bağlanan ve zemin döşemesine dökülen ve dikey harekete izin verecek şekilde sarılmış bir çubuk nispeten ucuz olabilir. Bu detay, döşeme levhasının bazı yerel parçalanmasına yol açabilir ve yüksek spesifikasyonlu döşeme levhasının kullanıldığı yerlerde, levha üzerindeki garanti geçersiz kılabilir. Çubuğun uzunluğu, yatay kuvvette direnmek için gereken en yüksek çekme direnci ile belirlenmelidir.

Her bir taraftaki kolona bağlı çerçevenin tüm genişliği boyunca bir bağ, yatay kuvvetlere direnmenin en kesin yoludur. Malzeme ve işçilik açısından daha pahalıdır ve site faaliyetleri nedeniyle zarar görebilir. Tam genişlikte bir bağ genellikle yapının kapladığı alandan yapılacak olan yapının ereksiyonunu engelleyecektir.

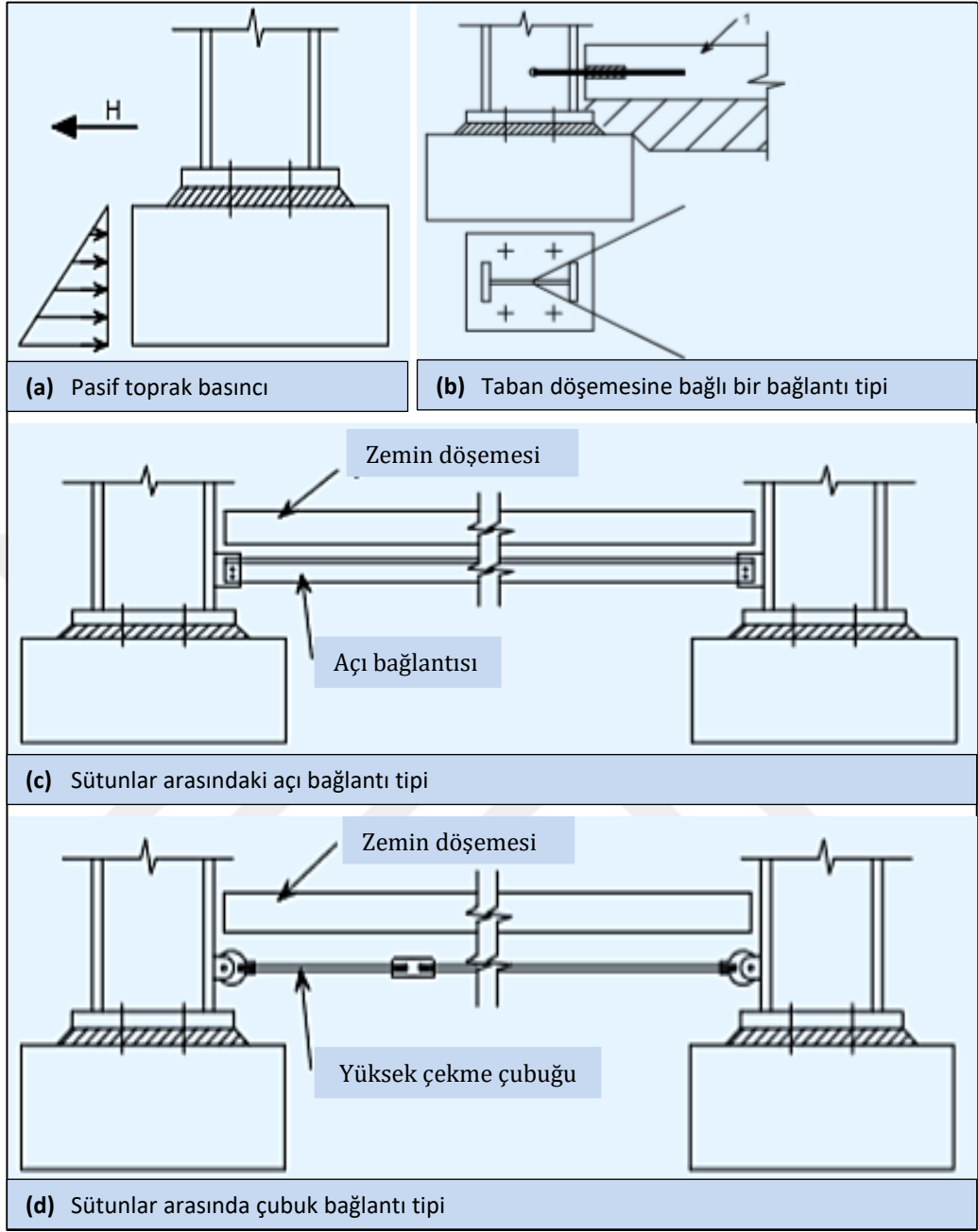
### 2.16.3. Taban Plakaları ve Tutma Cıvataları

Çelik konstrüksiyon yüklenici genellikle taban plakasının ve tutucu cıvataların detaylandırılmasından sorumlu olacaktır. Bununla birlikte, özel takviye aralıkları veya detaylar gerekli olabileceği için, temel ayrıntıların tasarımında sorumluluğun bulunduğu sözleşme dokümanlarında açıkça belirtilmelidir.

Taban plakaları genellikle S235 veya S275 çelik kalitesinde olacaktır.

Cıvatanın çapı genellikle cıvatalara uygulanan yükseltme ve kesme kuvvetleri dikkate alınarak belirlenir, ancak normal olarak 20 mm'den az olmayacaktır. Cıvataların ve kombine kesme kuvveti yanlış konumunun hesaplanamaz etkilerine ve derzlerin eksik olduğu yerde cıvata üzerinde bükülmeye izin verilebilmesi için genellikle cömert bir şekilde fazlaca bir karşılık bulunmaktadır.

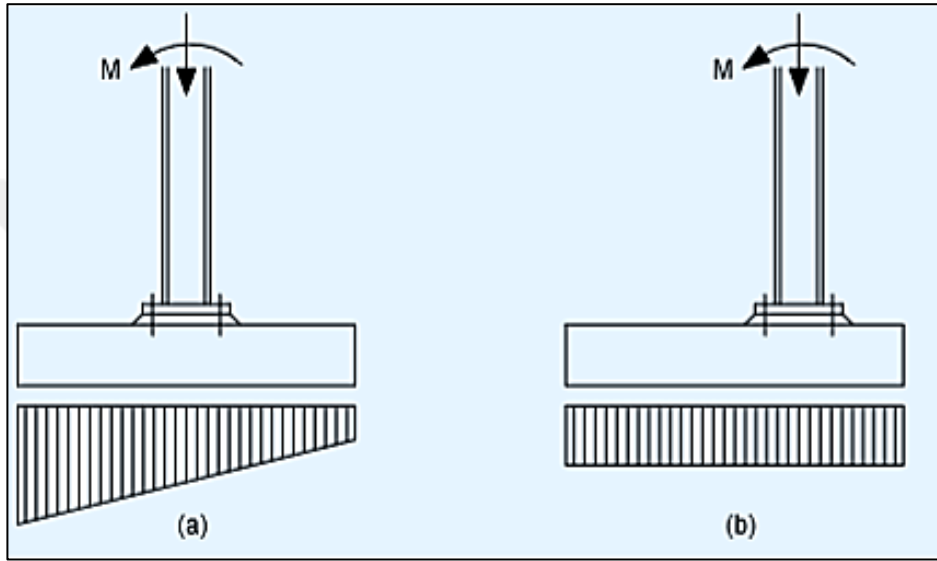
Cıvatanın uzunluğu, betonun özellikleri, cıvataların aralıkları ve çekme kuvveti ile belirlenmelidir. Gömme uzunluğunu belirleyen basit bir yöntem, cıvata kuvvetinin konik bir beton yüzeyi ile direndiğini varsaymaktır. Daha yüksek yükselme direncinin gerekli olduğu durumlarda, cıvataları ayrı ayrı ankraj plakalarına alternatif olarak çiftler halinde birleştirmek için açılar veya plakalar kullanılabilir. Hesaplamalar, önerilen cıvata aralığının canlılığını kontrol etmek için son tasarım aşamasında tasarımcı tarafından yapılmalıdır.



Şekil 2. 59 Temelerde yatay kuvvetlere direnç sağlama yöntemleri

#### 2.16.4. Yangın Durumu İçin Temel Tasarımı

Eğer temel, bir yangında kiriş çökmesi nedeniyle bir ana dayanacak şekilde tasarlanırsa, hem taban plakası hem de temelin kendisi Şekil 2.60 (a) 'da gösterildiği gibi arıya dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Şekil 2.60 (b) 'de gösterildiği gibi, tabanın altında eşit bir basınç dağılımı sağlamak için an tarafından üretilen eksantrikliği azaltmak veya ortadan kaldırmak için tabanın dengelenmesi mümkün olabilir.



Şekil 2. 60 Yangın sınır koşulunda portal çerçeve temeli

#### Tasarım Özeti

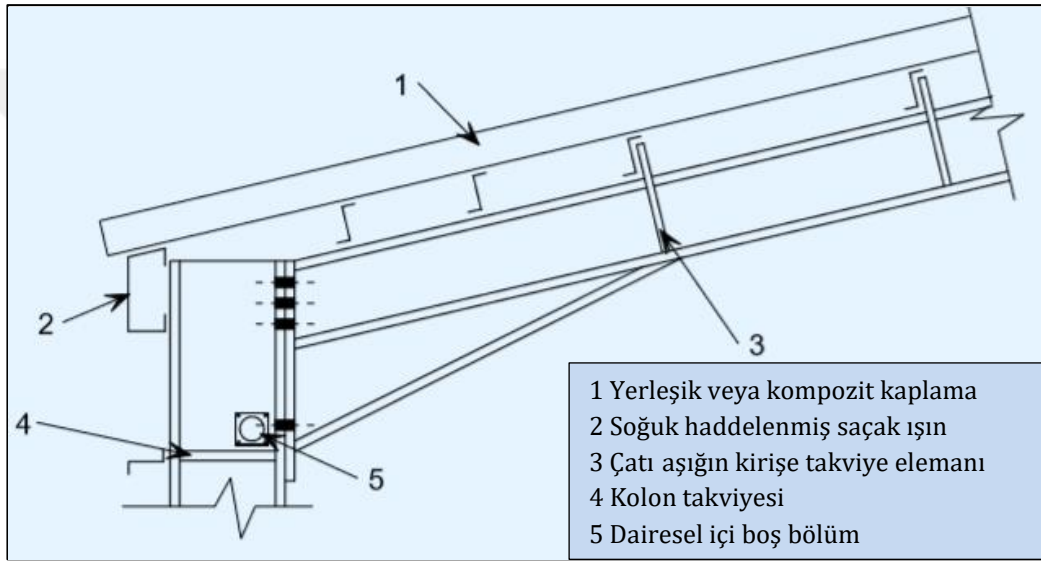
- ✓ Herhangi bir yerel güçlendirmeyi en aza indirmek için ani dayanıklı bağlantılar düzenlenmelidir.
- ✓ Nominal tutturulmuş kolon kaideleri benimsemek genellikle daha ekonomiktir.
- ✓ Deneyimler, nispeten ince bir taban plakasına sahip dört cıvata bağlantısının bir pim olarak etkili bir şekilde davranabileceğini ve yine de güvenli ereksiyon için yeterli sertliğin sağlandığını göstermiştir.
- ✓ Hem kolon tabanında hem de temelde kesme kuvvetlerine karşı dayanıklılığa dikkat etmek gerekir.

## 2.17. İkincil Yapı Bileşenleri

### 2.17.1. Doğranmış Kiriş

Her bir çerçeveyi saçak seviyesinde bağlayan soğuk şekillendirilmiş eleman, genellikle bir saçak demeti olarak bilinir.

Saçak kirişinin temel işlevi, çatı kaplamasını, yan duvarları ve saçakları boyunca oluk açmaktır, fakat aynı zamanda kolonun dış flanşının tepesinde yanal sınırlama sağlamak için de kullanılabilir. Şekil 2.61 de tipik bir saçak detayı gösterilmektedir.



Şekil 2. 61 Tipik saçak detayı

### 2.17.2. Saçak dikeni

Yapının her iki ucunda gerilmeye ve sıkıştırmaya karşı dirençli dikey yan duvar desteği varsa, uç yuvalarından başka bir saçak dikmesi gerekmez. Bununla birlikte, ereksiyon sırasında kolon görevi görecektir ve yapıya ek sağlamlık kazandıracak kolonlar arasında bir üye sağlamak iyi bir uygulamadır.

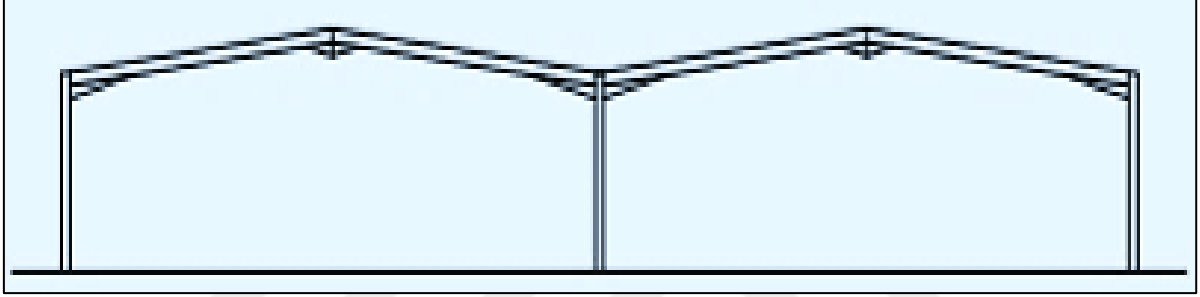
Plastik mafsallın saçakların alt kısmına tutturulması için dairesel bir içi boş bölüm kullanıldığında, bu, plastik mafsallın kısıtlanmasının yanı sıra uzunlamasına bir dikmenin rolünü yerine getirebilir. Bir üye bu seviyenin üzerinde bir saçak dikmesi olarak sağlanmışsa, plastik mafsallın zıplayanın dibinde tutulması etkisizdir.

## 2.18. Çok Bölmeli Portal Çerçeve Tasarımı

Çok bölmeli portal çerçevelerin davranış ve tasarımının çoğu yönü tek bölmeli yapılara benzer. Bu bölüm ortak çok kanallı çerçeve türlerini açıklar ve önemli fark noktalarını vurgular.

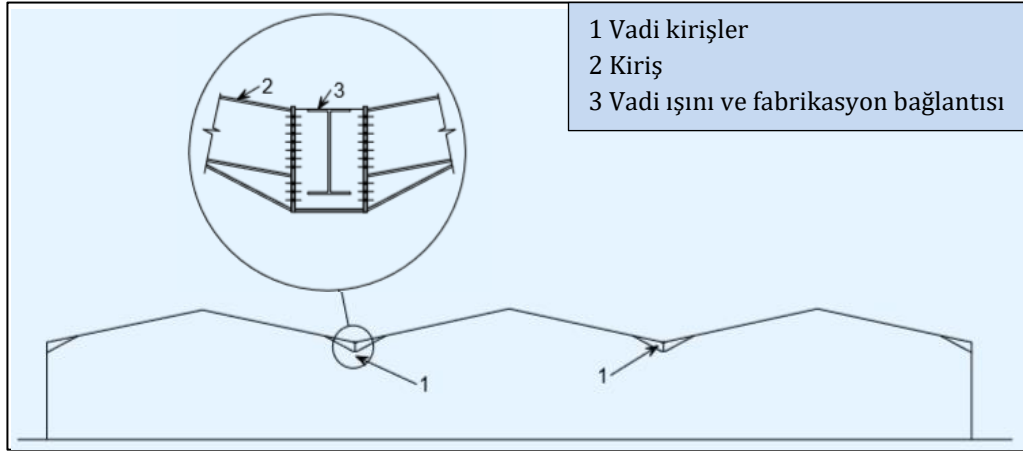
### 2.18.1. Çok Bölmeli Portal Çerçeve Türleri

Çok bölmeli portal çerçeveli yapıları yaygın olarak kullanılır, çünkü yapısal verimliliği fonksiyonel form ile birleştirirler. Portal çerçevesinin çeşitli konfigürasyonları, Şekil 2.62'de gösterildiği gibi aynı yapısal konsept kullanılarak tasarlanabilir.



Şekil 2. 62 Çoklu portal çerçeve tipi

Çoklu portal çerçeveli binalarda, bazı iç kolonları ortadan kaldırmak için vadi şeklinde birleşimleri kullanmak yaygın bir uygulamadır. En yaygın olarak, alternatif kolonlar çıkarılır ve çerçevenin vadi, Şekil 2.63'de gösterildiği gibi bitişik çerçevelerin kolonları arasında uzanan bir vadi bölgesi üzerinde desteklenir. Bu düzenleme genellikle "hit" ve "miss" çerçeveleri olarak adlandırılır; sütunlar 'hit' kareleridir. Bazen birden fazla sütun çıkarılır, ancak bu tür şemalar çok büyük vadi kirişlerine ihtiyaç duyar ve sütunların çerçevesiz olarak sabitlenmesi için kalan bütün çerçevelerin kullanıldığı yerlerde bile yapının rijitliğini ve stabilitesini azaltır.



Şekil 2. 63 Vadi kirişler

Vadi kirişleri, destekleyici kolonlar boyunca basitçe desteklenebilir veya sürekli olabilir. Bu seçenek normal olarak destekli inşaat için daha ağır bir kirişin nispi maliyetine ve sürekli inşaat için daha pahalı bağlantıya bağlı olacaktır.

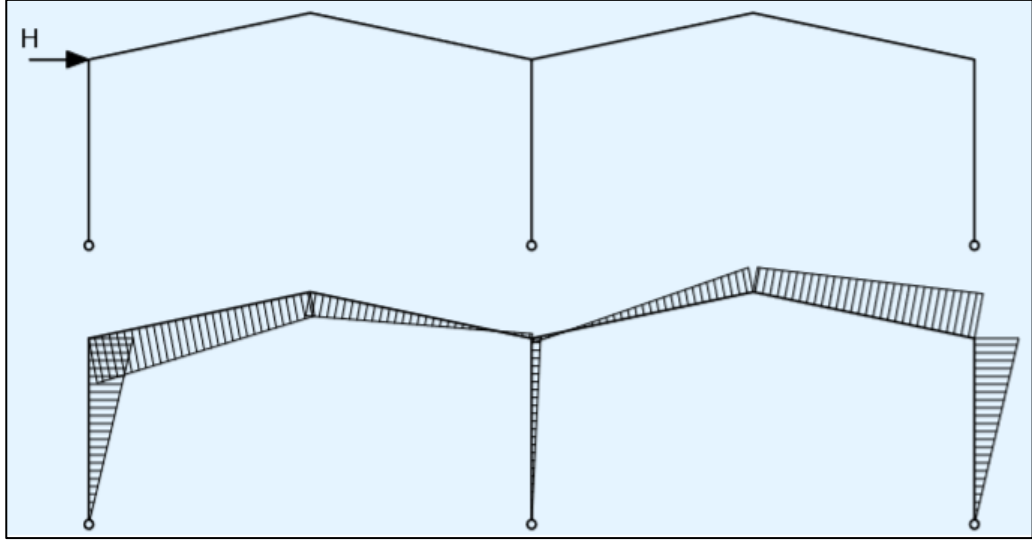
Vadi kirişleri genellikle, çerçevelere dik açılarda genel yapısal kararlılık sağlamak için vadi boyunca iç sütunları olan bir veya daha fazla sert çerçeve oluşturur. Bu, binanın amaçlanan kullanımı için çoğu zaman kabul edilemez olan iç kolon hatlarında çapraz takviye kullanılmasını önler. Alternatif olarak, dış kotlar arasında uzanan kirişlerin düzleminde derin bir kiriş sağlanabilir. Çok açıklıklı yapılardaki uzun kafesler için, sadece uç bölmede bir kafes olmak yerine, derinlikteki iki koy olan bir kiriş sağlamak yaygın olacaktır.

### 2.18.2. Çok Bölmeli Portal Çerçevelerin İstikrarı

Çok açıklıklı portal çerçevelerin çoğunun ince iç sütunları vardır. Bu çerçevelere yatay yük uygulandığında, bu ince iç sütunlarda yalnızca küçük bir bükme momenti oluşur, çünkü dış kolonlar daha serttir. Tipik bir eğilme momenti şeması Şekil 2.64'te gösterilmiştir.

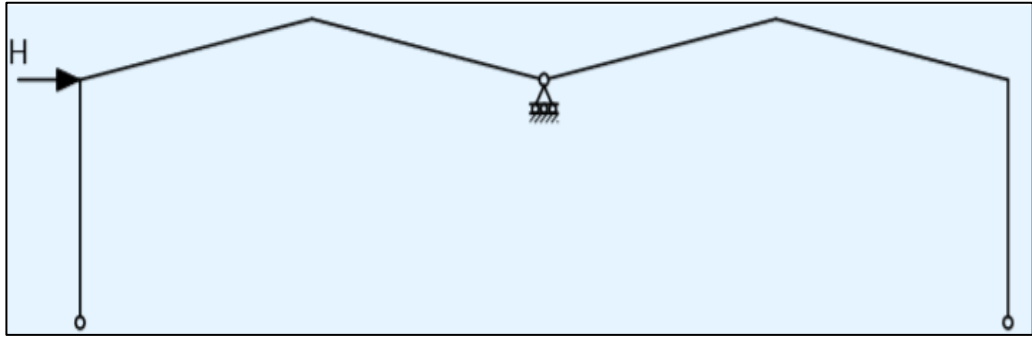
Eğme momenti dağılımındaki bu fark ve dahili kolon sertliği ile ilgili azalmanın çerçeve davranışı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kullanılabilir sınır durumunda, çerçevenin genel elastik kritik yükünün %20 ila %30'unda çalışması bekleniyor. Plastisitenin kritik mafsallık pozisyonundan yayılmasıyla, etkili kritik yük oranı azalacak ve etkin kritik yük oranını daha da artıracaktır. Bu etki uygun ikinci mertebe, elastik / plastik yazılım ile ele alınmaktadır.





Şekil 2. 64 Yatay yükleme altında tipik iki-açılı tipik bir eğilme momenti şeması

Şekil 2.64'deki çerçeve, her biri Şekil 2.65'te gösterildiği gibi bir harici sütun ve bir kiriş çifti içeren iki alt çerçeve olarak düşünülebilir. Genelde çok açıklıklı çerçeveler için, iki harici alt çerçeve sertliğin çoğunluğunu sağlar, bu yüzden bir çift alt çerçevenin aynı modeli el hesaplamaları için kullanılabilir. İç kolonların sertliğinin dahil edilmesi gerektiğinde, tüm çerçevenin analizi için yazılımın kullanılması tercih edilir.



Şekil 2. 65 Tipik iki-aralıklı çerçeve için alt çerçeveler

İç sütunların önemli ölçüde sertlik sağlaması durumunda, bunları göz ardı etmek ekonomik değildir ve tüm çerçevenin yazılım ile ayrıntılı bir analizi tercih edilebilir.

### 2.18.3. Çok Bölmeli Portal Çerçevelerin Süreklisizlik Durumu



Şekil 2. 66 Tipik üç aralıklı çerçeve için istikrarsızlık durumu

Şekil 2.66'te gösterildiği gibi, üç veya daha fazla yuvalı olan çerçevelerin azaltılmış salınım sertliği, bir iç bölmenin kararsızlığıyla kaymaya yol açabilir. Bu tür yapılar tatmin edici davranış sağlamak için uygun bir yazılım ile kontrol edilebilir. Yönetmelikler baz alınarak, geçme hassasiyetinin bir tahminini hesaplamak için kullanılabilir.

#### Tasarım Özeti

- ✓ Çok bölmeli portal çerçevelerin davranışının birçok yönü tek yuva çerçevelerine benzer.
- ✓ Salınım stabilitesine özel önem verilmeli ve çok bölmeli çerçevelerin stabilitesinden geçmelidir.

### 3. YAPILARIN MATRİS DEPLASMAN METODU İLE ANALİZİ

#### 3.1. Giriş

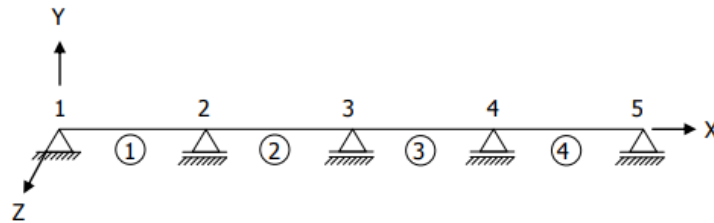
Matris Yöntemleri; gerçek sürekli yapının yerine, matris biçiminde ifade edilebilen bilinen atalet (eylemsizlik) ve elastiklik özelliklerine sahip sonlu büyüklükteki yapısal elemanlardan oluşan matematiksel bir model kullanılması ilkesine dayanmaktadır.

Matris Yöntemleri karmaşık yapıların gerilme ve yerdeğiştirme analizleri yanında uygulamalı elastisitedeki çalışmalar için de kullanılmaktadır.

Matris Yöntemleri ile dış etkilere meydana gelen uç kuvvetlerinin ve uç yerdeğiştirmelerinin belirlenmesinde;

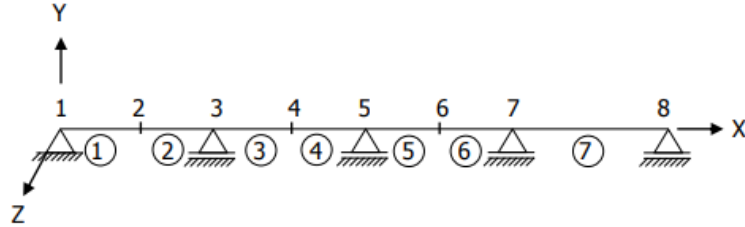
1. Denge şartlarının (düğüm noktalarının denge denklemleri ile elemanların denge denklemlerinden ibarettir)
2. Geometrik uygunluk şartlarının (her düğüm noktasında birleşen elemanların o noktadaki uç yerdeğiştirmelerinin birbirine eşit olmaları şartı ile mesnetlerdeki geometrik şartlardan meydana gelir)
3. Malzemeye ait gerilme (iç kuvvet) - şekildeğiştirme bağıntılarının (malzemenin cinsine bağlı olan gerilme – şekildeğiştirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir) sağlanması gerekmektedir.

Bütün yapıların küçük elemanların birleşimi ile oluştuğunu kabul etmek mümkündür. Yapıları oluşturan bu küçük elemanlara “sonlu eleman”, sonlu elemanların birleştiği noktalara da “düğüm noktası” olarak adlandırılmaktadır.

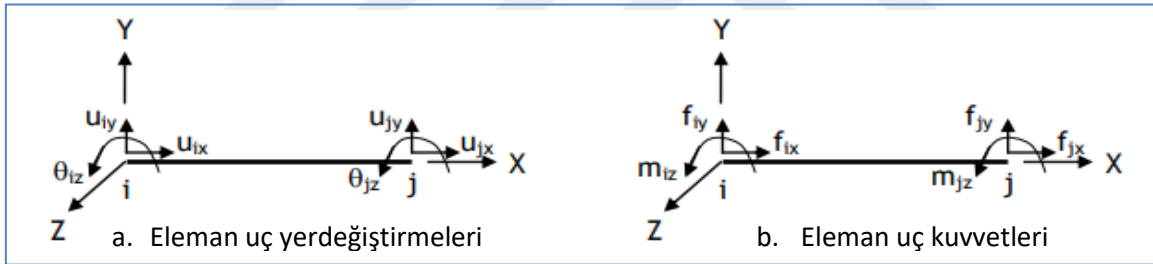


1, 2, 3, 4, 5 noktalarına düğüm noktaları, (1),(2),(3),(4) ise eleman numaralarıdır. (1) elemanı 1 ve 2 düğüm noktaları arasında kalan eleman, (2) elemanı 2 ve 3 düğüm noktaları arasında kalan eleman, (3) elemanı 3 ve 4 düğüm noktaları arasında kalan

eleman, (1) elemanı 4 ve 5 düğüm noktaları arasında kalan elemandır. Sistemi oluşturan (1), (2), (3), (4) elemanlarının yapı içindeki pozisyonları düğüm noktalarının yapı içinde tanımlanan 1, 2, 3, 4, 5 düğüm noktaları ile tanımlanabilir. 1, 2, 3, 4, 5 düğüm noktaları mesnet üzerinde seçilebildiği gibi herhangi bir noktada da seçmek mümkündür (12).



Bu şekilde bütün sistemler sonlu elemanlarla modellenebilir. Her elemanın ucunda oluşan yerdeğıştirmelere eleman uç yerdeğıştirmeleri, her elemanın ucunda oluşan uç kuvvetlerine de eleman uç kuvvetleri denir. Eleman uçlarındaki yerdeğıştirme ve kuvvetlerin pozitif yönleri koordinat sisteminin pozitif yönü ile aynıdır. Her düğüm noktasındaki yerdeğıştirmeler “serbestlik derecesi” olarak adlandırılır.

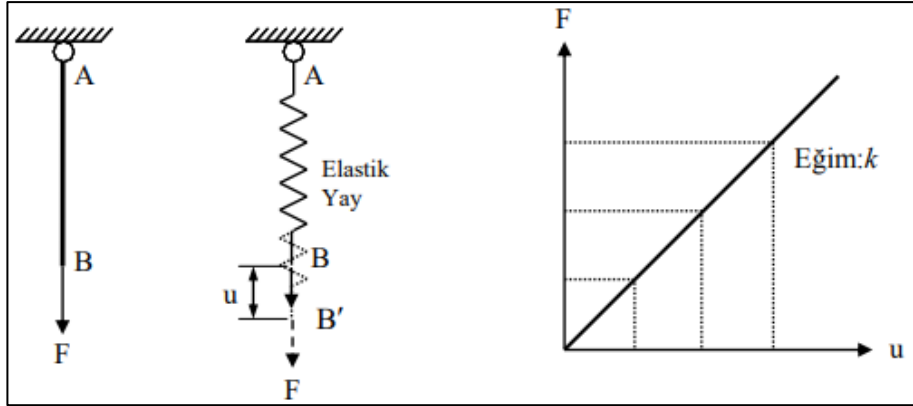


Şekil 3. 1 Düzlem çerçeve elemanı

Matris Yöntemlerle Sistem Çözümünde İzlenen Yol:

1. Eleman rijitlik matrislerinin oluşturulması,
2. Sistem rijitlik matrisi ile yük ve yerdeğıştirme vektörlerinin oluşturulması,
3. Sınır şartları uygulanarak indirgenmiş sistem rijitlik matrisi ile yük ve yerdeğıştirme vektörlerinin oluşturulması
4. Çözüm
5. Eleman uç kuvvetlerinin hesabı

### 3.2. Rijitlik Kavramı



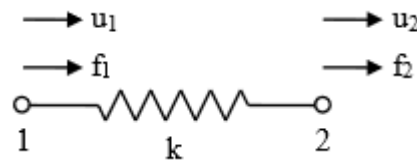
Şekil 3. 2 Eleman elastik yay modellenmesi

Şekil 3.2’de görülen elastik yayda, dış kuvvet ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki grafik olarak çizilirse şekildeki gibi elde edilir. Dış kuvvet ile yerdeğiştirme arasındaki bu bağıntının eğimi “elastik yayın rijitliği” olarak adlandırılır ve “k” ile gösterilir. k yay rijitliğine göre bu bağıntı;

$$F = k \cdot u \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Eğer  $u=1$  alınırsa  $F=k$  olur. Bu, rijitliğin birim yerdeğiştirmeden dolayı meydana gelen kuvvet olduğu anlamına gelir.

### 3.3. Elastik Bir Yay Sisteminin Çözümü



Her iki ucundaki kuvvetler ve yerdeğiştirmeler üzerinde gösterilen elastik bir yay ele alalım. Bu yay için kuvvet ve yerdeğiştirme vektörleri;

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix}; \quad \{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix};$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $f_1$  ve  $f_2$  aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$f_1 = k_{11}u_1 + k_{12}u_2 \quad (3.2)$$

$$f_2 = k_{21}u_1 + k_{22}u_2$$

$k'_{ij}$  de; i yeri, j sebebin yerini göstermektedir.

Denk.(3.2) matris formda yazılırsa;

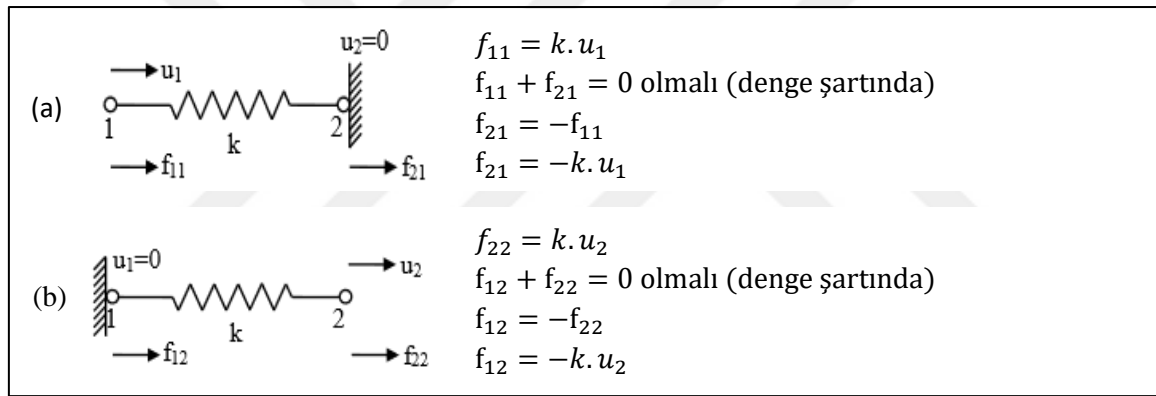
$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (3.3)$$

veya kısaca;

$$\{f\} = [k]\{u\} \quad (3.4)$$

Burada  $[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix}$  yay elemanın rijitlik matrisi olarak tanımlanmaktadır. Burada anlaşılacağı üzere rijitlik matrisi, uç kuvvetleri ile uç yerdeğişimleri arasındaki bağıntıdır.

### 3.4. Bir Yay Elemanın Rijitlik Matrisi Elemanlarının Elde Edilmesi



Şekil 3. 3 Elastik yayın tipik pozisyon durumu

Şekil 3.3'te verilen (a) ve (b) durumları süperpozisyonla birleştirilirse :

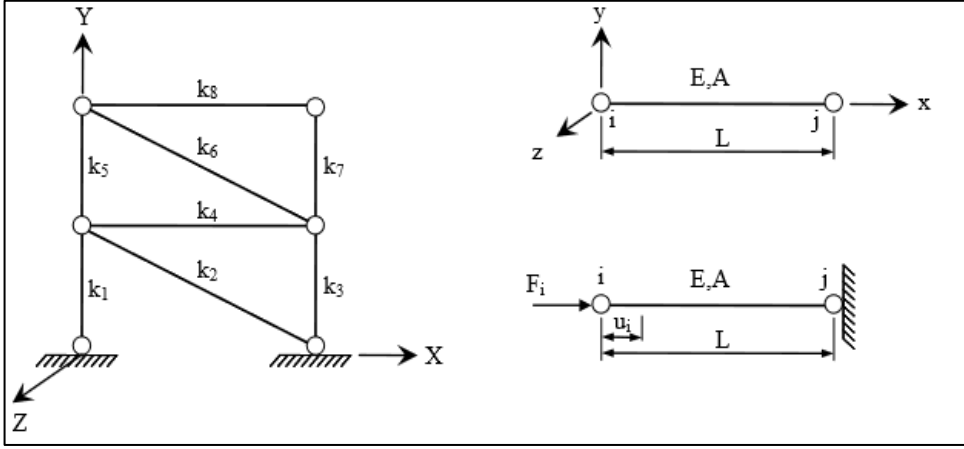
$$\begin{aligned} f_1 &= f_{11} + f_{12} = k \cdot u_1 - k \cdot u_2 \\ f_2 &= f_{21} + f_{22} = -k \cdot u_1 + k \cdot u_2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Denk. (3.5) matris formda yazılırsa;

$$\begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \text{ veya } \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \end{Bmatrix} = k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} \quad (3.6)$$

Burada;  $[k] = k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}$ , bir yay elemanın rijitlik matrisidir.

### 3.5. Düzlem Kafes Sistemlerin Çözümü



Şekil 3. 4 Tipik düzlem kafes sistemi

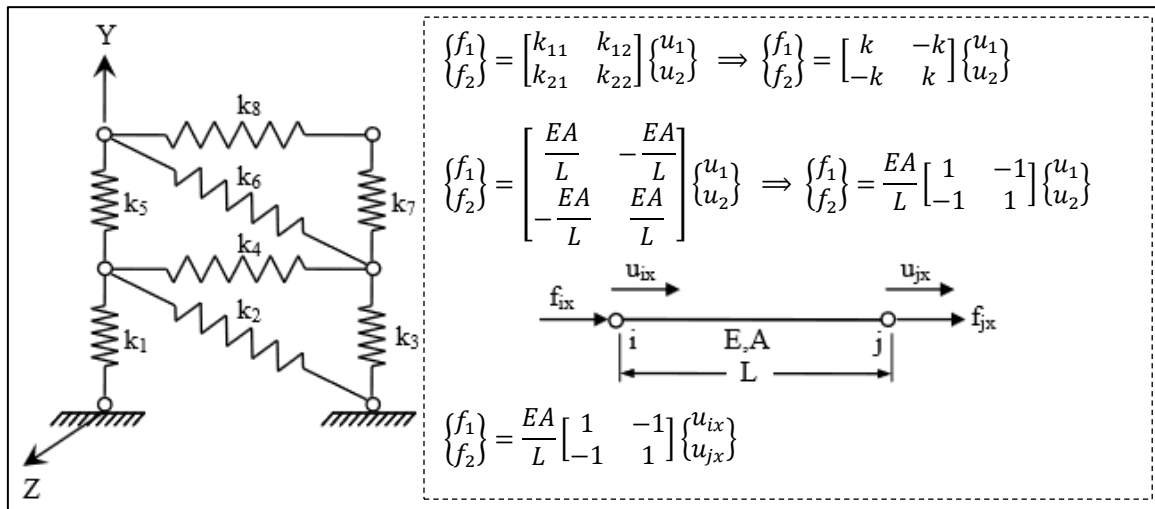
$$\varepsilon = \frac{u_i}{L}; \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}; \quad \sigma = \frac{F}{A}$$

$$F_i = \sigma \cdot A \Rightarrow F_i = E \cdot \varepsilon \cdot A \Rightarrow F_i = E \cdot A \cdot \frac{u_i}{L} \Rightarrow F_i = \frac{EA}{L} \cdot u_i \Rightarrow F_i = k \cdot u_i$$

Burada  $k = EA/L$  bir düzlem elemanın rijitliğidir. Bu, bir düzlem kafes elemanın rijitliği  $k = EA/L$  olan bir yay ile temsil edilebildiği anlamına gelmektedir.



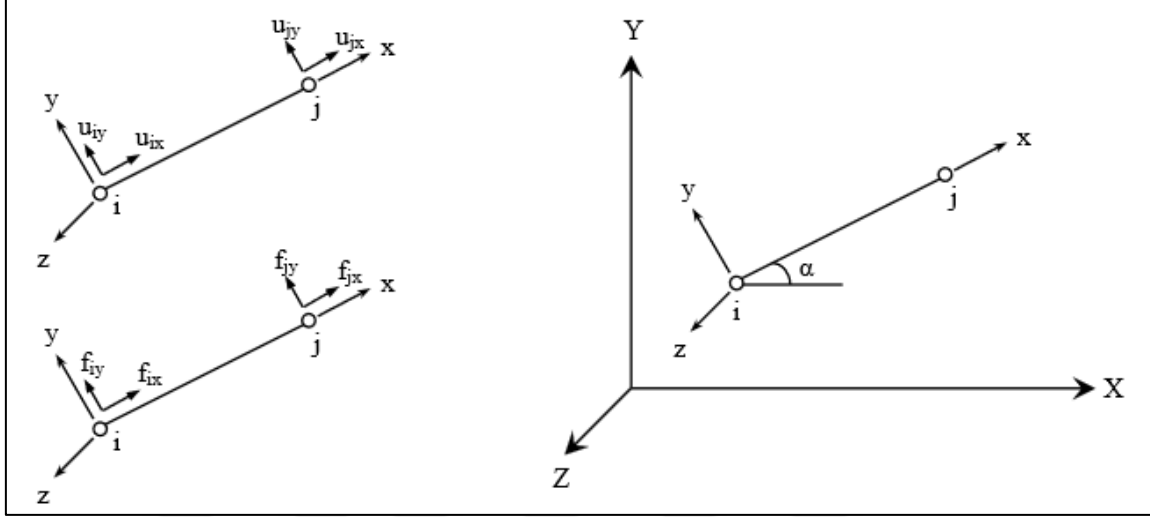
Buna göre yukarıdaki kafes sistem, yaylardan oluşan bir sistem olarak düşünülebilir.



Şekil 3. 5 Tipik düzlem kafes sistemin yay modeli

### 3.6. Eleman Eksen Takımında Düzlem Kafes Elemanın Rijitlik Matrisi

Düzlem kafes elemanın sadece aksenal kuvvete maruz olduğu düşünülürse;



Şekil 3. 6 Eleman eksen takımının

XYZ : Yapının tanımlaması için kullanılan eksen – Global eksen takımı

xyz : Elemanın tanımlaması için kullanılan eksen – Lokal eksen takımı

Kuvvet ile yerdeğiştirme arasındaki bağlantı aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \end{Bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \end{Bmatrix}$$

Bu bağıntı kısaca;

$$\{f\} = [k]\{u\} \quad (3.7)$$

Şeklinde yazılabilir.

### 3.7. Genel Eksen Takımında Düzlem Kafes Elemanın Rijitlik Matrisi

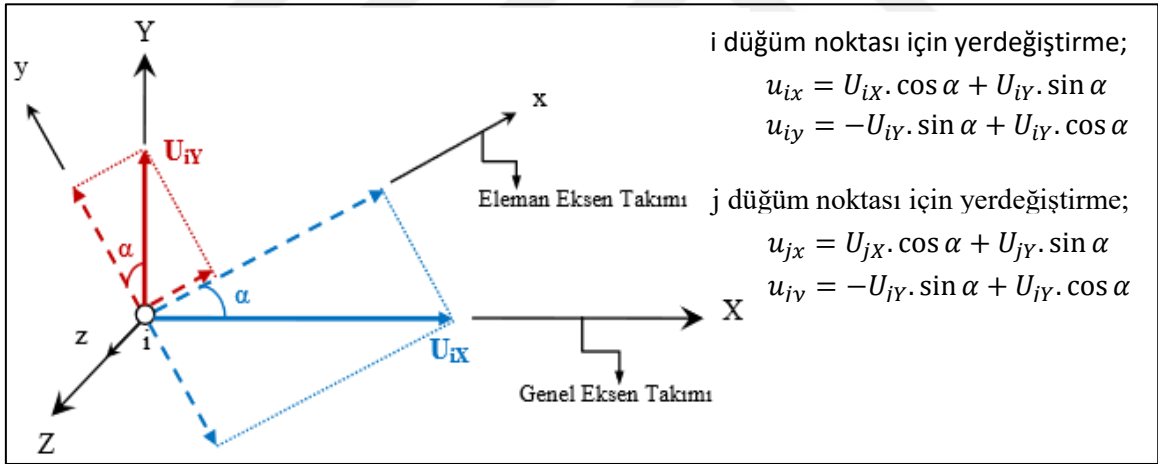
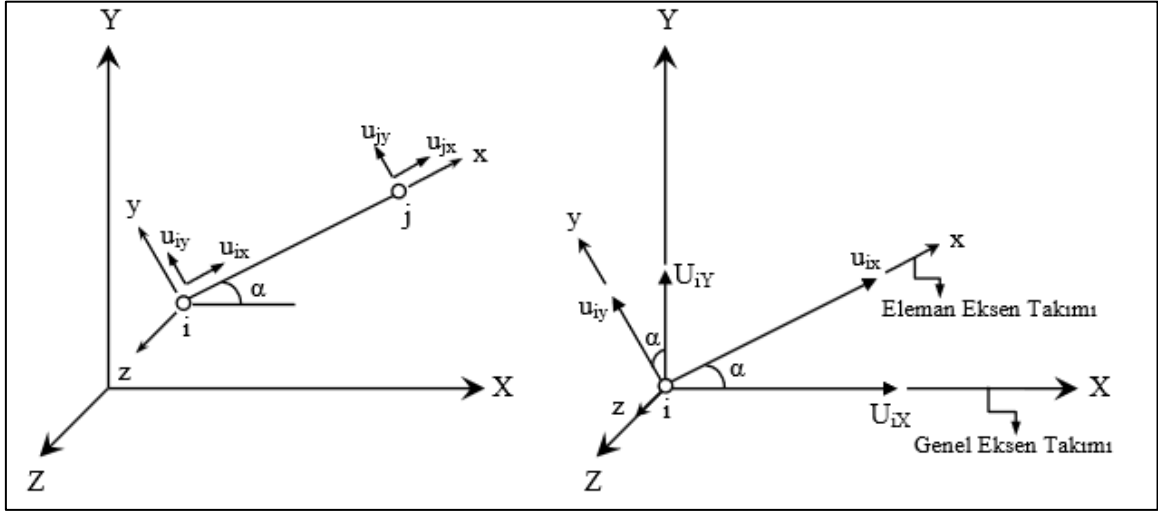
Genel eksen takımında bir düzlem kafes elemanda kuvvet ile yerdeğiştirme arasındaki bağıntı;

$$\{F\} = [K]\{U\} \quad (3.8)$$



şeklinde yazılabilir. Burada;

- {F} : Genel eksen takımındaki kuvvet vektörünü,  
 {U} : Genel eksen takımındaki yerdeğiştirme vektörünü,  
 [K] : Genel eksen takımındaki rijitlik matrisidir.

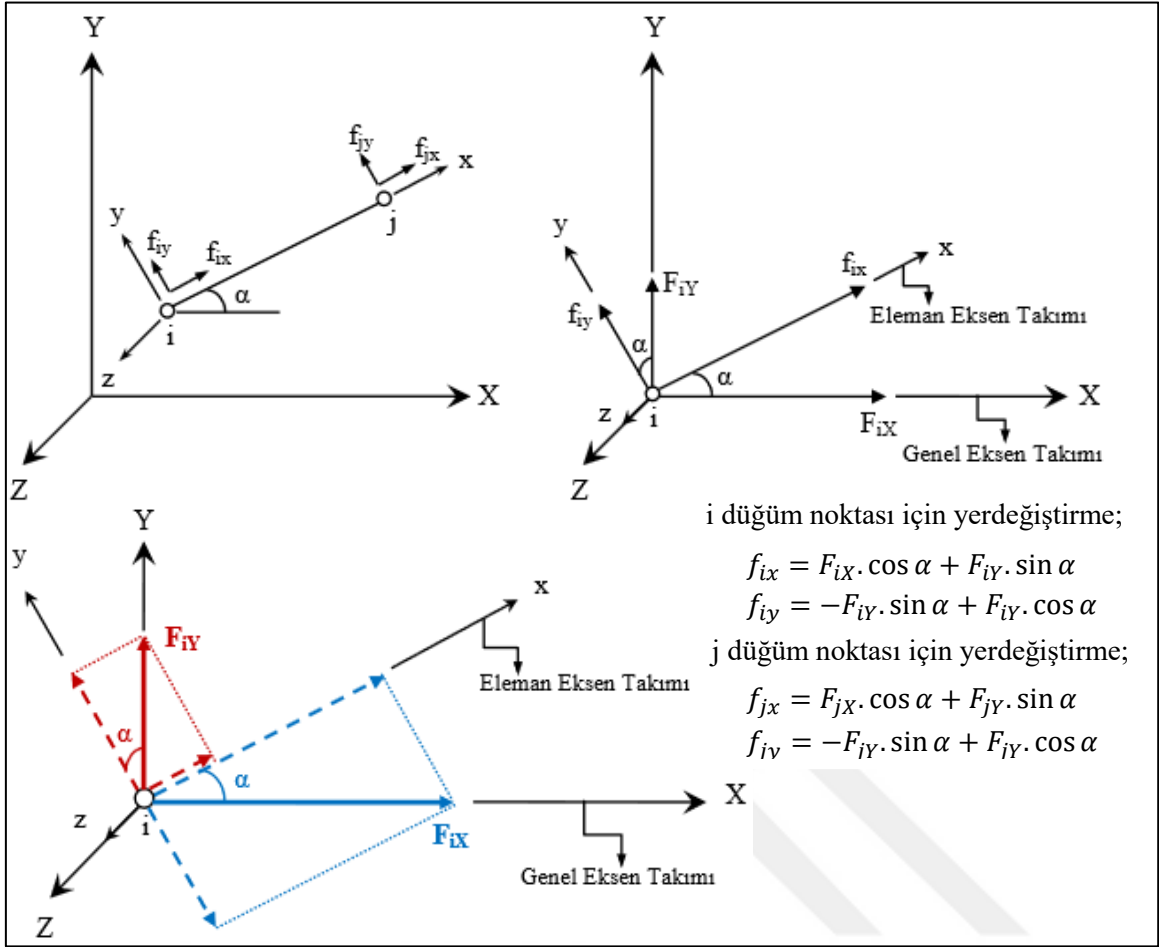


$$\begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{iX} \\ U_{iY} \\ U_{jX} \\ U_{jY} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{u\} = [T]\{U\} \quad (3.9)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada [T] dönüşüm matrisidir.



Şekil 3. 7 Global eksene göre elemanın rijitlik matrisi

Şekil 3.7’de verilen ifadeler matris formda düzenlenirse;

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{iX} \\ F_{iY} \\ F_{jX} \\ F_{jY} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{f\} = [T]\{F\} \quad (3.10)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada [T] dönüşüm matrisidir. Denk. (3.9), Denk. (3.7)’de yerine yazılırsa;

$$\{f\} = [k]\{u\} \Rightarrow \{f\} = [k][T]\{U\} \quad (3.11)$$

Denk. (3.10), Denk. (3.11)’de denklemi yerine yazılırsa;

$$\{f\} = [k][T]\{U\} \Rightarrow [T] \{F\} = [k][T]\{U\} \quad (3.12)$$

Denk. (3.12)'nin her iki tarafı dönüşüm matrisinin tersi,  $[T]^{-1}$ ; ile çarpılırsa;

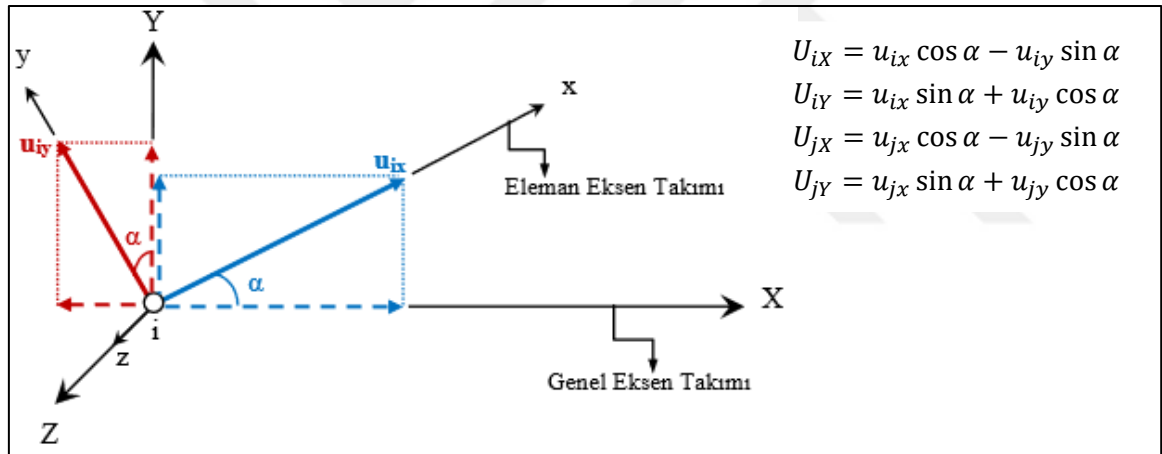
$$[T]^{-1}[T] \{F\} = [T]^{-1}[k][T]\{U\} \Rightarrow \{F\} = [T]^{-1}[k][T]\{U\} \quad (3.13)$$

Şeklinde elde edilir. Denk.(3.8) ve Denk.(3.13)'ü karşılaştırılmasından;

$$[K] = [T]^{-1}[k][T] \quad (3.14)$$

Şeklinde genel eksen takımında düzlem elemanın rijitlik matrisi elde edilir.

Eleman eksen takımındaki yerdeğişiklikler yardımıyla genel eksen takımındaki yerdeğişiklikler hesaplanırsa;



Şekil 3. 8 Genel eksen takımına göre yerdeğişiklikler

Şekil 3.8'deki ifadeler matris formunda yazılırsa;

$$\begin{Bmatrix} U_{iX} \\ U_{iY} \\ U_{jX} \\ U_{jY} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{U\} = [T]^T \{u\} \quad (3.15)$$

Denk.(3.9)'un her iki tarafı dönüşüm matrisinin tersi,  $[T]^{-1}$ ; ile çarpılırsa;

$$[T]^{-1}\{u\} = [T]^{-1}[T]\{U\} \Rightarrow \{U\} = [T]^{-1}\{u\} \quad (3.16)$$

Şeklinde elde edilir. Denk.(3.15) ve Denk.(3.16)'yi karşılaştırırsak;

$$[T]^T = [T]^{-1} \quad (3.17)$$

Elde edilir. Bu ise, ortogonalite şartıdır. Böylece Denk.(3.14);

$$[K] = [T]^T[k][T] \quad (3.18)$$

Şeklinde elde edilir. Burada;

$[K]$  : Genel eksen takımındaki rijitlik matrisi

$[k]$  : Eleman eksen takımındaki rijitlik matrisidir.

Denk.(3.18) açık olarak yazılıp elde edilirse;

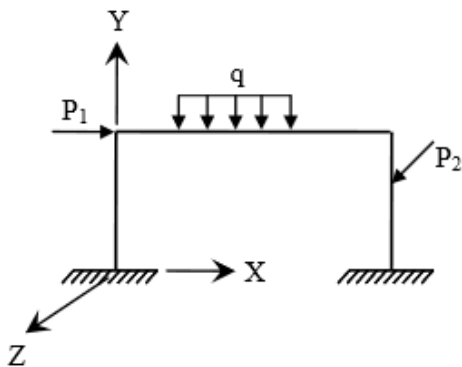
$$[K] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

$$[K] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix}$$

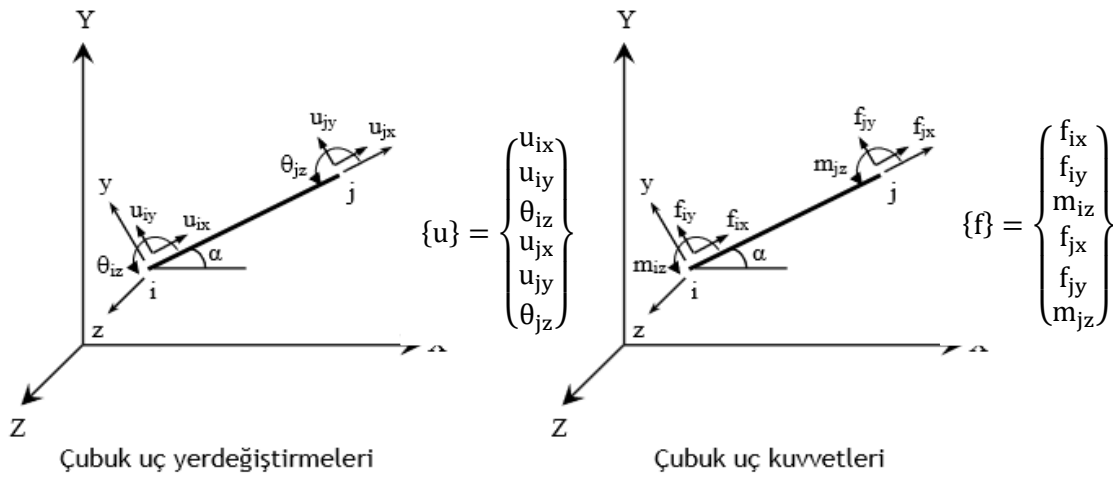
Şeklinde bir düzlem kafes elemanın genel eksen takımındaki rijitlik matrisi elde edilir.

Burada;  $c = \cos \alpha$ ,  $s = \sin \alpha$ 'dır.

### 3.8. Düzlem Çerçeve Sistemlerin Çözümü



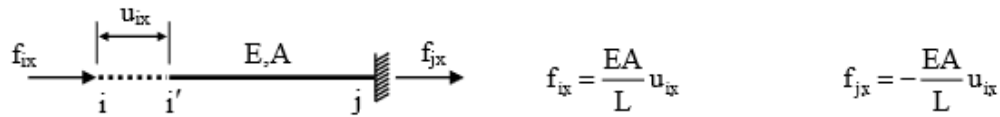
Şekildeki gibi bir düzlem çerçeve sistemdeki bir elemanın her bir ucunda yatay ve düşey yerdeğiştirme ile düzleme dik eksen etrafındaki dönme olmak üzere toplam üç serbestlik derecesi bulunmaktadır.



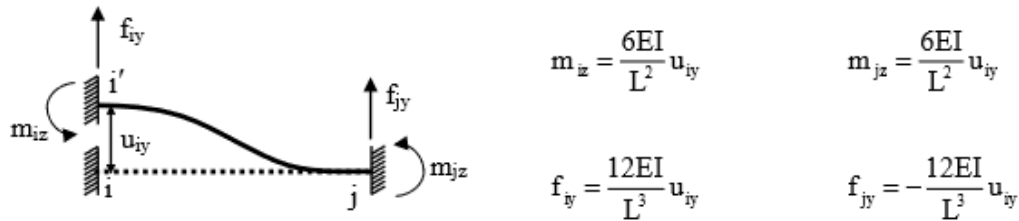
### 3.8.1. Eleman Eksen Takımında Düzlem Çerçeve Elemanın Rijitlik Matrisi

Eleman eksen takımında düzlem çerçeve elemanın rijitlik matrisini elde etmek için, eleman uç yerdeğiştirmelerinin her biri ayrı ayrı serbest bırakılıp diğerleri tutularak eleman uçlarındaki kuvvetler bulunur. Her bir durum için bulunan uç kuvvetleri süperpoze edilerek rijitlik matrisi elde edilir.

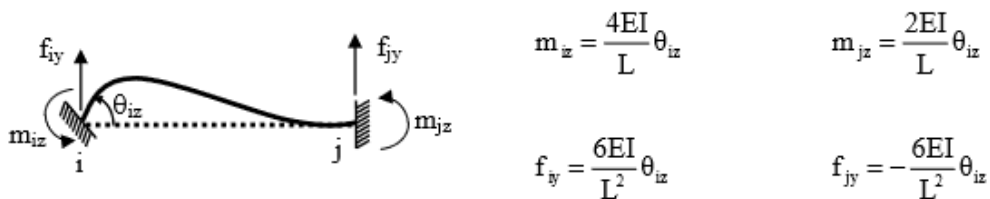
1.  $u_{ix} \neq 0, u_{iy} = \theta_{iz} = u_{jy} = \theta_{jz} = 0$



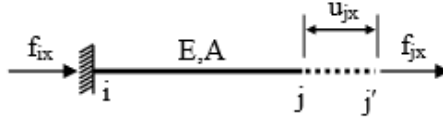
2.  $u_{iy} \neq 0, u_{ix} = \theta_{iz} = u_{jx} = u_{jy} = \theta_{jz} = 0$



3.  $\theta_{iz} \neq 0, u_{ix} = u_{iy} = u_{jx} = u_{jy} = \theta_{jz} = 0$

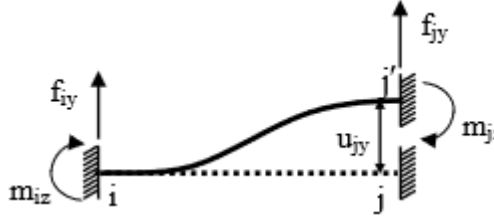


$$4. u_{jx} \neq 0, u_{ix} = u_{iy} = \theta_{iz} = u_{jy} = \theta_{jz} = 0$$



$$f_{ix} = -\frac{EA}{L}u_{jx} \quad f_{jx} = \frac{EA}{L}u_{jx}$$

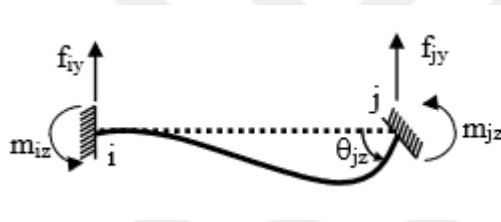
$$5. u_{jy} \neq 0, u_{ix} = u_{iy} = \theta_{iz} = u_{jx} = \theta_{jz} = 0$$



$$m_{iz} = -\frac{6EI}{L^2}u_{jy} \quad m_{jz} = -\frac{6EI}{L^2}u_{jy}$$

$$f_{iy} = -\frac{12EI}{L^3}u_{jy} \quad f_{jy} = \frac{12EI}{L^3}u_{jy}$$

$$6. \theta_{iz} \neq 0, u_{ix} = u_{iy} = u_{jx} = u_{jy} = \theta_{jz} = 0$$



$$m_{iz} = \frac{2EI}{L}\theta_{iz} \quad m_{jz} = \frac{4EI}{L}\theta_{iz}$$

$$f_{iy} = \frac{6EI}{L^2}\theta_{iz} \quad f_{jy} = -\frac{6EI}{L^2}\theta_{iz}$$

Burada uç momentler hesaplanırken;

$$M_{ij} = \mu_{ij} + m_{i\theta_i}\theta_i + m_{i\theta_j}\theta_j + m_{i\delta}\theta_i$$

Denkleminde faydalanılmaktadır. Bunun için, yukarıda belirtilen 6 durum toplanırsa;

$$f_{ix} = \frac{EA}{L}u_{ix} - \frac{EA}{L}u_{jx}$$

$$f_{iy} = \frac{12EI}{L^3}u_{iy} + \frac{6EI}{L^2}\theta_{iz} - \frac{12EI}{L^3}u_{jy} + \frac{6EI}{L^2}\theta_{jz}$$

$$m_{iz} = \frac{6EI}{L^2}u_{iy} + \frac{4EI}{L}\theta_{iz} - \frac{6EI}{L^2}u_{jy} + \frac{2EI}{L}\theta_{jz}$$

$$f_{jx} = -\frac{EA}{L}u_{ix} + \frac{EA}{L}u_{jx}$$

$$f_{jy} = -\frac{12EI}{L^3}u_{iy} - \frac{6EI}{L^2}\theta_{iz} + \frac{12EI}{L^3}u_{jy} - \frac{6EI}{L^2}\theta_{jz}$$

$$m_{jz} = \frac{6EI}{L^2}u_{iy} + \frac{2EI}{L}\theta_{iz} - \frac{6EI}{L^2}u_{jy} + \frac{4EI}{L}\theta_{jz}$$

Şeklinde elde edilir. Bu denklemler matris formda yazılırsa;

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ m_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ m_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{f\} = [k]\{u\} \quad (3.19)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

- {f} : Genel eksen takımındaki kuvvet vektörü,
- {u} : Genel eksen takımındaki yerdeğiştirme vektörü,
- [k] : Genel eksen takımındaki rijitlik matrisidir.

Buna göre eleman eksen takımında bir düzlem çerçeve elemanın rijitlik matrisi, [k], aşağıdaki forma dönüşür.

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

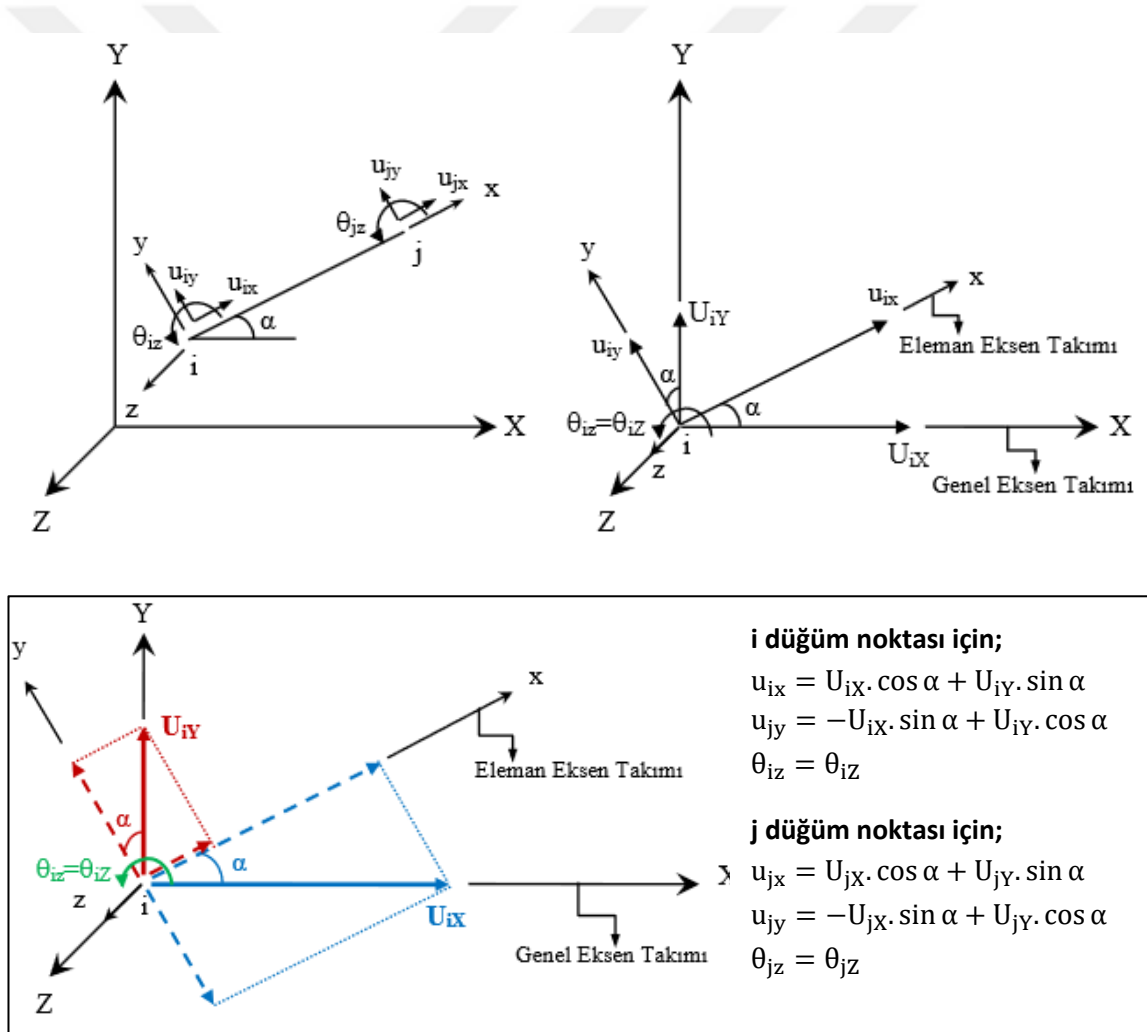
### 3.8.2. Genel Eksen Takımında Düzlem Çerçeve Elemanın Rijitlik Matrisi

Genel eksen takımında bir düzlem çerçeve elemanda kuvvet ile yerdeğiştirme arasındaki bağıntı;

$$\{F\} = [K]\{U\} \quad (3.20)$$

şeklinde yazılabilir. Burada;

- $\{F\}$  : Genel eksen takımındaki kuvvet vektörü,
- $\{U\}$  : Genel eksen takımındaki yerdeğiştirme vektörü,
- $[K]$  : Genel eksen takımındaki rijitlik matrisidir.



Şekil 3. 9 Eleman uç yerdeğiştirmesi



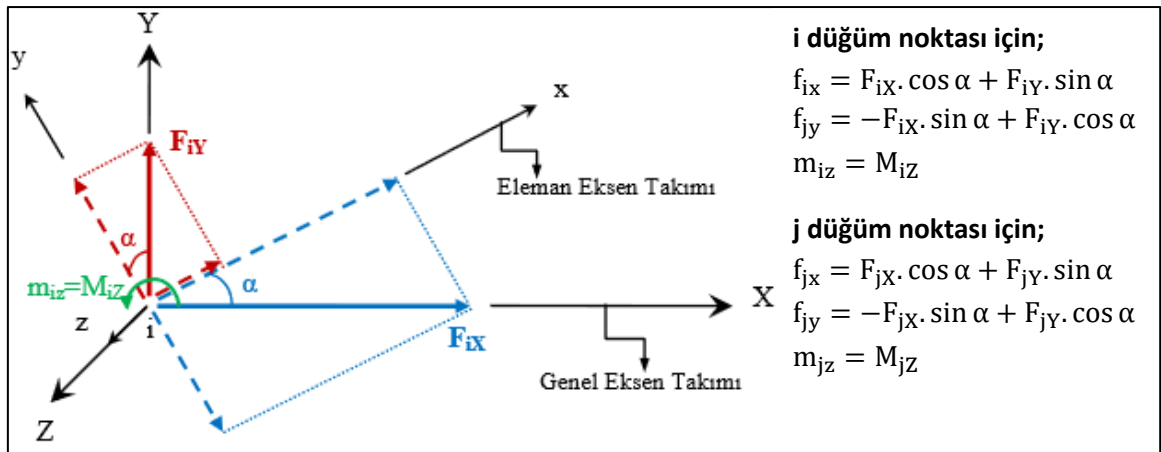
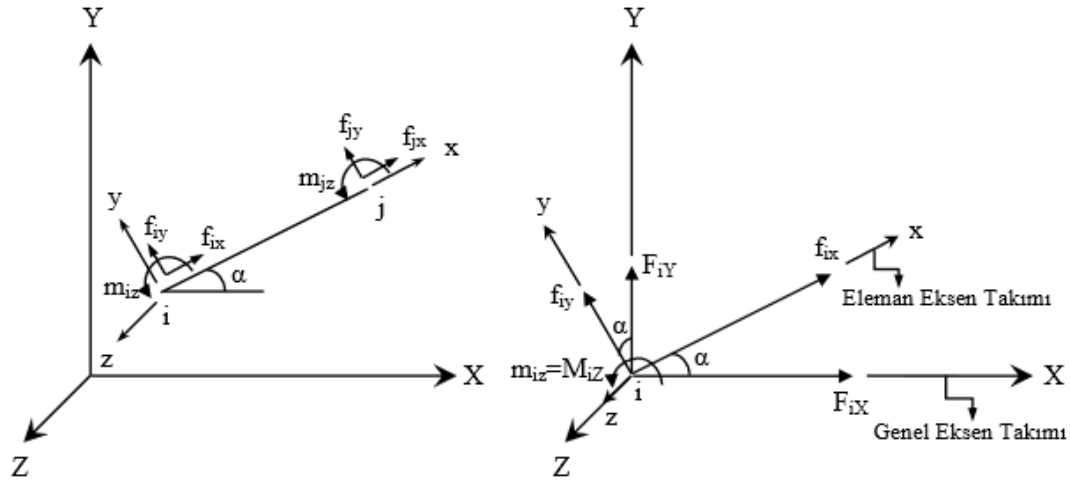
Şekil 3.9'daki ifadeler matris formda düzenlenirse;

$$\begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{ix} \\ U_{iy} \\ \theta_{iz} \\ U_{jx} \\ U_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{u\} = [T]\{U\} \quad (3.21)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada [T] dönüşüm matrisidir. Benzer şekilde;



Şekil 3. 10 Eleman uç kuvvetleri

Şekil 3.10'da verilen ifadeler matris formda düzenlenirse;

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ m_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ m_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ M_{iz} \\ F_{jx} \\ F_{jy} \\ M_{jz} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{f\} = [T]\{F\} \quad (3.22)$$

Şeklinde yazılabilir. Burada  $[T]$  dönüşüm matrisidir. Benzer şekilde; Denk.(3.21), Denk.(3.19)'un yerine yazılırsa;

$$\{f\} = [k]\{u\} \Rightarrow \{f\} = [k][T]\{U\} \quad (3.23)$$

Denk.(3.22), Denk.(3.23)'in yerine yazılırsa;

$$\{f\} = [k][T]\{U\} \Rightarrow [T]\{F\} = [k][T]\{U\} \quad (3.24)$$

Denk.(3.24)'ün her iki tarafı dönüşüm matrisinin tersi,  $[T]^{-1}$ ; ile çarpılırsa;

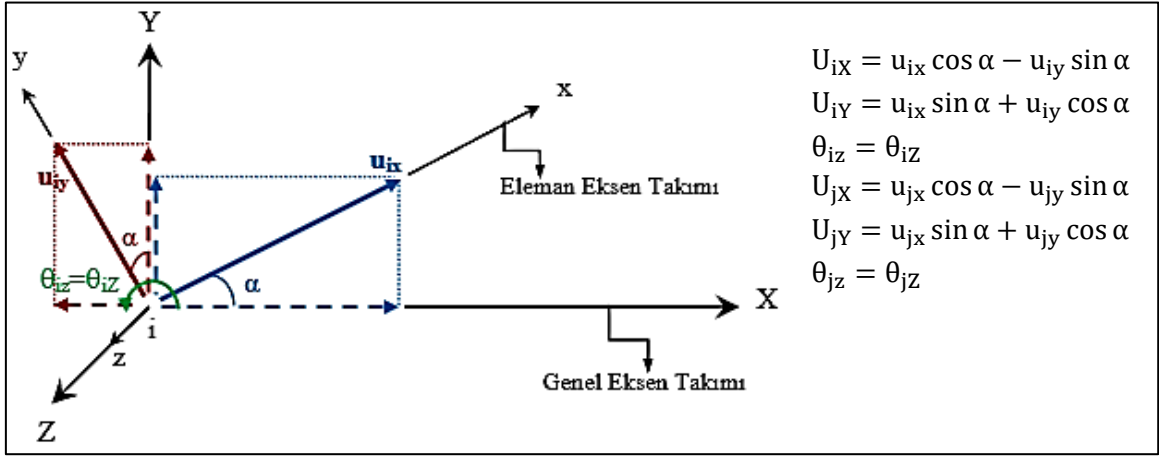
$$[T]^{-1}[T]\{F\} = [T]^{-1}[k][T]\{U\} \Rightarrow \{F\} = [T]^{-1}[k][T]\{U\} \quad (3.25)$$

Şeklinde elde edilir. Denk.(3.20) ve Denk.(3.25)'i karşılaştırsak;

$$[K] = [T]^{-1}[k][T] \quad (3.26)$$

Şeklinde genel eksen takımında düzlem çerçeve elemanın rijitlik matrisi elde edilir.

Eleman eksen takımındaki yerdeğişirmeler yardımıyla genel eksen takımındaki yerdeğişirmeler hesaplanırsa;



Şekil 3. 11 Eleman uç yerdeğiştirmesi

şeklinde elde edilir. Bu ifade matris formda yazılırsa;

$$\begin{Bmatrix} U_{iX} \\ U_{iY} \\ \theta_{iz} \\ U_{jX} \\ U_{jY} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix}$$

veya kısaca;

$$\{U\} = [T]^T \{u\} \quad (3.27)$$

Şeklinde elde edilir.

Denk.(3.21)'in her iki tarafı dönüşüm matrisin tersi,  $[T]^{-1}$ , ile çarpılırsa;

$$[T]^{-1} \{u\} = [T]^{-1} [T] \{U\} \Rightarrow \{U\} = [T]^{-1} \{u\} \quad (3.28)$$

Şeklinde elde edilir. Denk.(3.27) ve Denk.(3.28)'i karşılaştırılırsa;

$$[T]^T = [T]^{-1} \quad (3.29)$$

Elde edilir. Bu ise, ortogonalite şartıdır. Böylece Denk.(3.26), Denk.(3.30) şeklinde elde edilir.

$$[K] = [T]^T [k] [T] \quad (3.30)$$

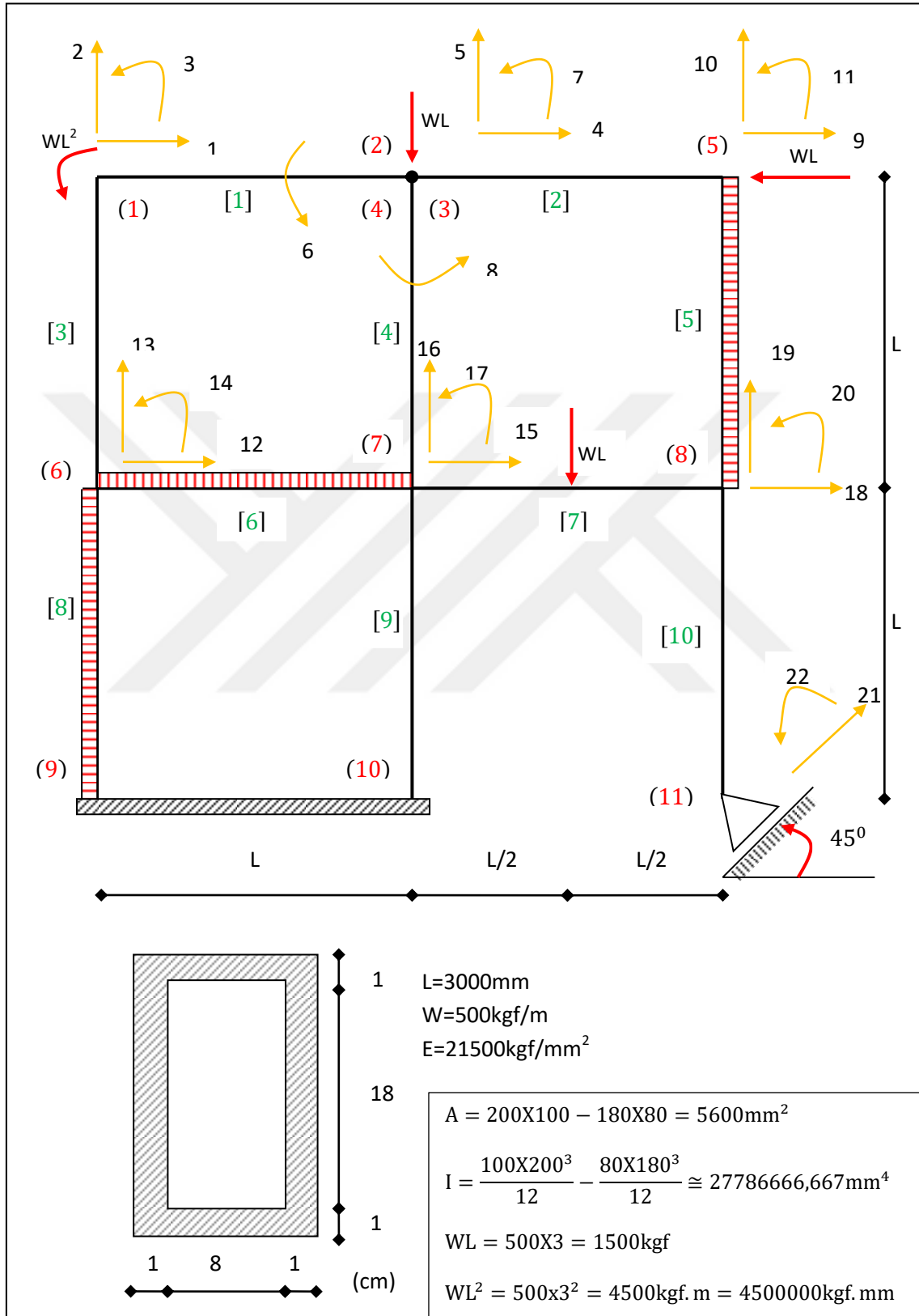
Denk.(3.30) açık olarak yazılıp elde edilirse;

$$[K] = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[K_i]_R = \begin{bmatrix} a & b & c & -a & -b & c \\ b & d & e & -b & -d & e \\ c & e & f & -c & -e & g \\ -a & -b & -c & a & b & -c \\ -b & -d & -e & b & d & -e \\ c & e & g & -c & -e & f \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} a &= \frac{EA}{L} \cos^2 \alpha + \frac{12EI}{L^3} \sin^2 \alpha ; & b &= \left( \frac{EA}{L} - \frac{12EI}{L^3} \right) \cos \alpha \sin \alpha \\ c &= -\frac{6EI}{L^2} \sin \alpha ; & d &= \frac{EA}{L} \sin^2 \alpha + \frac{12EI}{L^3} \cos^2 \alpha \\ e &= \frac{6EI}{L^2} \cos \alpha ; & f &= \frac{4EI}{L} \\ f &= \frac{2EI}{L} \end{aligned}$$

şeklinde bir düzlem çerçeve elemanın genel eksen takımındaki rijitlik matrisi elde edilir.

### 3.9. Tipik Bir Yapının Matris Deplasman Metodu ile Analizi



Şekil 3. 12 Tipik bir çelik yapısı

\*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Yapı Analizine Hosgeldiniz. \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* İşlemlerinizde Basarılar Diliyorum. \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\* Ins.Muh.Omer YILDIZ \*\*\*\*\*  
 \*\*\*\*\*

Çubuk Sayısı : 10  
 Düğüm Noktası Sayısı : 11  
 Serbestlik Derecesi= 22  
 Uzunluk Birimini : mm  
 Kuvvet Birimini : kgf

Dugum Bilgileri

i	U	V	Q	X[mm]	Y[mm]	ALFA[derece]
1	1	2	3	0,000	6000,000	0,000
2	4	5	6	3000,000	6000,000	0,000
3	4	5	7	3000,000	6000,000	0,000
4	4	5	8	3000,000	6000,000	0,000
5	9	10	11	6000,000	6000,000	0,000
6	12	13	14	0,000	3000,000	0,000
7	15	16	17	3000,000	3000,000	0,000
8	18	19	20	6000,000	3000,000	0,000
9	0	0	0	0,000	0,000	0,000
10	0	0	0	3000,000	0,000	0,000
11	21	0	22	6000,000	0,000	45,000

Cubuk Referans ve Deplasman Bilgileri

J	i	k	d[1]	d[2]	d[3]	d[4]	d[5]	d[6]
1	1	2	1	2	3	4	5	6
2	3	5	4	5	7	9	10	11
3	6	1	12	13	14	1	2	3
4	7	4	15	16	17	4	5	8
5	8	5	18	19	20	9	10	11
6	6	7	12	13	14	15	16	17
7	7	8	15	16	17	18	19	20
8	9	6	0	0	0	12	13	14
9	10	7	0	0	0	15	16	17
10	11	8	21	0	22	18	19	20

### Düğüm Noktası Deplasman Bilgileri

i	U(mm)	V(mm)	Q(radyan)
1	-28,513126	-0,154841	0,008141
2	-28,535805	-0,001686	-0,003994
3	-28,535805	-0,001686	0,003435
4	-28,535805	-0,001686	0,008661
5	-28,578033	12,160527	0,005291
6	-8,439676	-0,114701	0,002956
7	-8,462183	0,001689	0,002752
8	-8,493821	12,154387	0,006704
9	0,000000	0,000000	0,000000
10	0,000000	0,000000	0,000000
11	17,187646	0,000000	0,006972

### Düğüm Noktası Deplasman Bilgileri (SAP2000 v19.2.0)

i	U(mm)	V(mm)	Q(radyan)
1	-28,513128	-0,154843	0,008145
2	-28,535812	-0,001687	-0,003997
3	-28,535808	-0,001686	0,003435
4	-28,535809	-0,001686	0,008662
5	-28,578037	12,160525	0,005292
6	-8,439681	-0,114703	0,002957
7	-8,462184	0,001682	0,002753
8	-8,493822	12,154386	0,006708
9	0,000000	0,000000	0,000000
10	0,000000	0,000000	0,000000
11	17,187645	0,000000	0,006979

### Cubuk Dugum ve Cubuk Ucu Kuvvet Bilgileri

j	i	k	Nji(kgf)	Sji(kgf)	Mji(kgf.mm)	Njk(kgf)	Sjk(kgf)	Mjk(kgf.mm)
1	1	2	910,21070	1610,95987	4832879,61683	-910,21070	-1610,95987	0,00000
2	3	5	1694,72979	246,39663	0,00000	-1694,72979	-246,39663	739189,89779
3	6	1	1610,95987	-910,21070	-2397752,47922	-1610,95987	910,21070	-332879,61683
4	7	4	135,43676	-784,51909	-2353557,28426	-135,43676	784,51909	0,00000
5	8	5	-246,39663	-1305,27021	-926620,72189	246,39663	-194,72979	-739189,89779
6	6	7	903,28749	2992,38213	3779309,94938	-903,28749	-1492,38213	2947836,44195
7	7	8	1269,71612	1289,15745	584189,38031	-1269,71612	210,84255	1033282,97273
8	9	6	4603,34200	-313,49819	-1808937,09030	-4603,34200	1813,49819	-1381557,47016
9	10	7	-67,78792	-1150,94773	-2274374,65071	67,78792	1150,94773	-1178468,53800
10	11	8	-35,55408	-35,55408	0,00000	35,55408	35,55408	-106662,25083



## 4. YAPILARIN GENEL BİLGİLERİ VE YÜK ANALİZİ

### 4.1. Genel

Tipik tek katlı tek açıklıklı üç farklı çelik sanayi yapısının düşey ve yatay yükler altında, TBDY 2018 ve TÇY 2018 yönetmelik kriterleri esas alınarak yapının analiz ve tasarım yapılmıştır.

Yapı sistemi olarak, “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği” TBDY 2018§9.2.1.2’de verilen ilgili koşullar esas alınarak, süneklik düzeyi sınırlı sistem olarak tasarlanmıştır.

Kar ve rüzgar yükleri TÇY 2018§1.2’de referans verilen, TS EN 1991-1-3 ve TS EN 1991-1-4 standartları, deprem yükleri ise TBDY 2018 esas alınarak belirlenmiştir.

Çelik sanayi yapılarının depreme dayanıklı olarak tasarımında, TBDY 2018’da esas alınan kural ve koşullara ek olarak, yürürlükteki deprem yönetmeliği kriterleri de esas alınmıştır.

TBDY 2018 ve TÇY 2018 Yönetmeliğin ilgili koşulları esas alınarak analiz ve tasarımı yapılan tipik tek katlı çelik sanayi yapılarının tasarım aşamaları aşağıda özetlenmiştir.

- ✓ Yapı bilgisi
- ✓ Yük analizi
- ✓ Kar yüklerinin belirlenmesi
- ✓ Rüzgar yüklerinin belirlenmesi
- ✓ Deprem yüklerinin belirlenmesi
- ✓ Sistem analizi
- ✓ Seçilen elemanların YDKT ve GKT için en elverişsiz yük birleşimleri altında kontrolü

### 4.2. Yapı Bilgisi

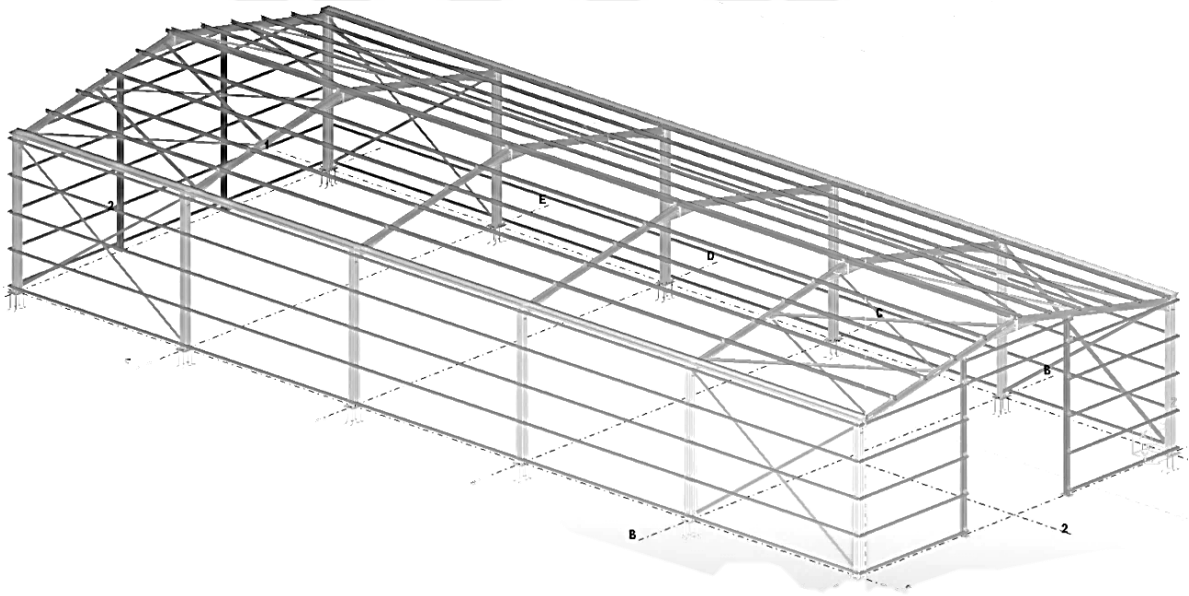
Çelik sanayi yapılarının işyeri (fabrika) olarak inşa edilmesi öngörülmüştür. Yapının inşa yeri bilgileri aşağıda verilmiştir.

- ✓ Rüzgâr etkileri için, TS EN 1991-1-4’de verilen ilgili koşullar esas alınarak, mahal rakımı 927m, arazi kategorisi II olarak öngörülmüştür.

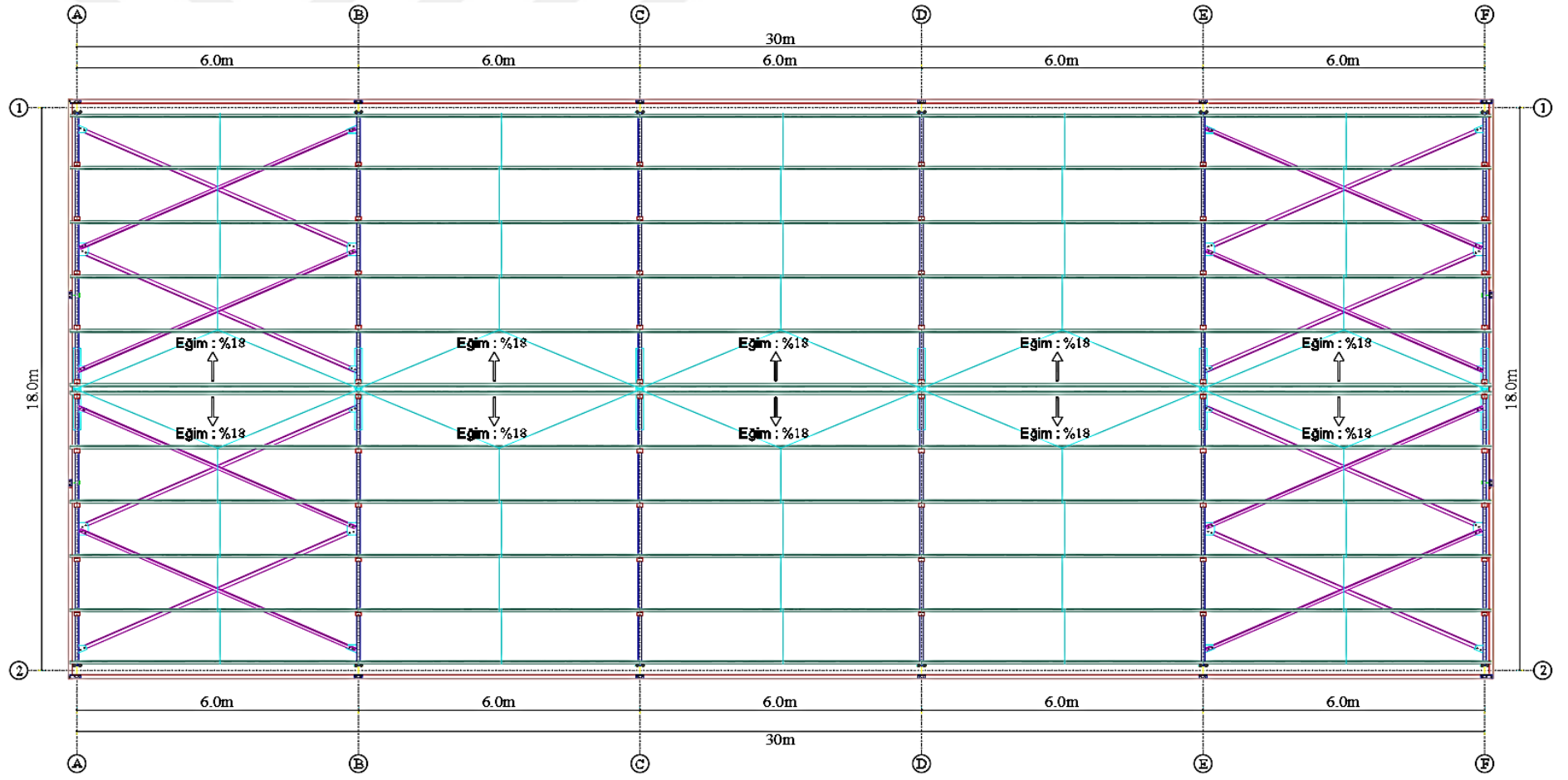
- ✓ Deprem bölgesi için, TBDY 2018 yönetmelik kriterleri esas alınarak, ZC yerel zemin sınıfı ve aktif deprem fay hattına  $L_F = 22,0\text{m}$  mesafede inşa edilmesi ve işyeri (fabrika) olarak öngörülmüştür.
- ✓ Yapıya etki edecek kar yükleri, TS EN 1991-1-3'te verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

Yapının (x) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi sınırlı moment aktaran çelik portal çerçevelerden, (y) doğrultusundaki yatay yük taşıyıcı sistemi ise, süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşmaktadır.

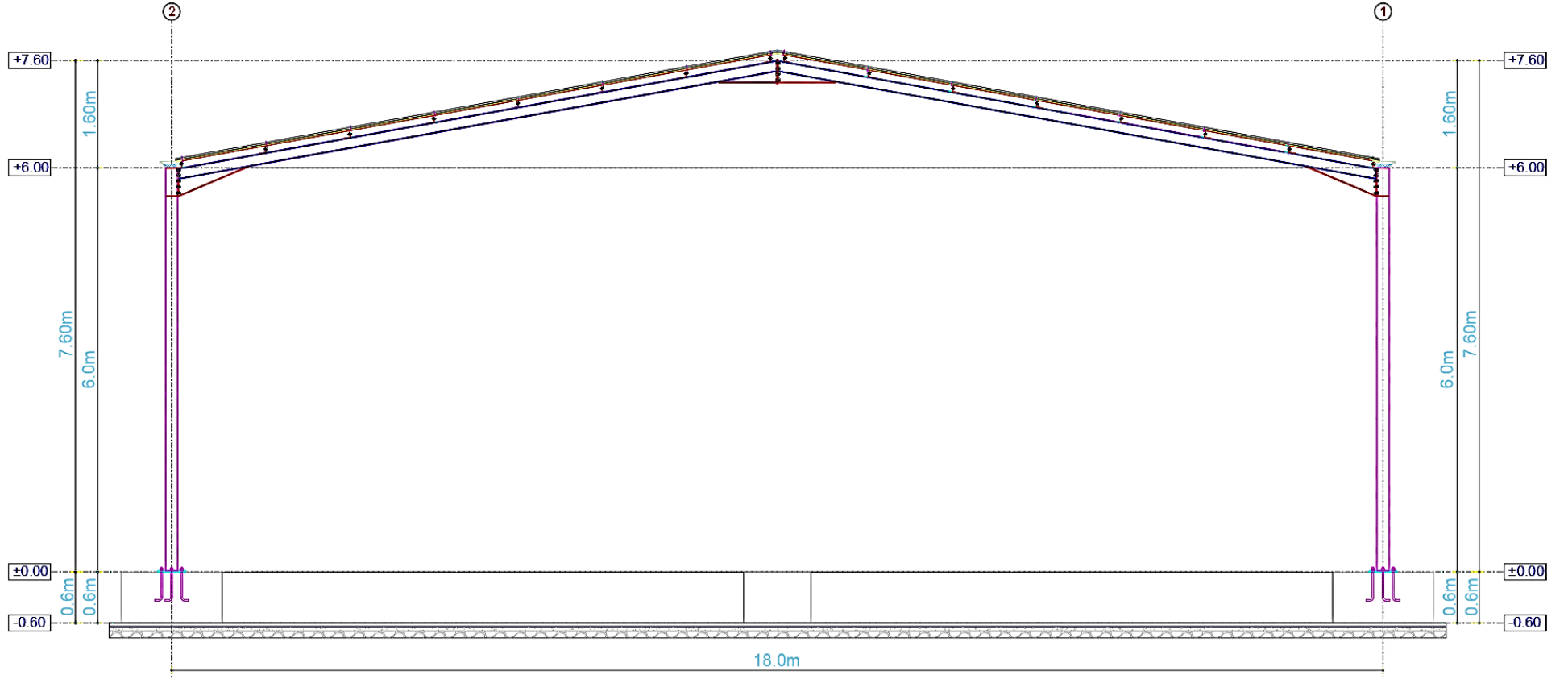
Tipik yapı sistemi aksonometrik görünüşü Şekil 4.1, tipik çatı sistemi planı Şekil 4.2, tipik çerçeve enkesiti Şekil 4.3 ve cephe sistem görünüşü Şekil 4.4'te verilen tek katlı çelik sanayi yapılarının analiz ve tasarımına ait başlıca sonuçlar ile tipik elemanların (kiriş ve kolon) boyutlandırma hesapları sonraki bölümlerde verilmiştir.



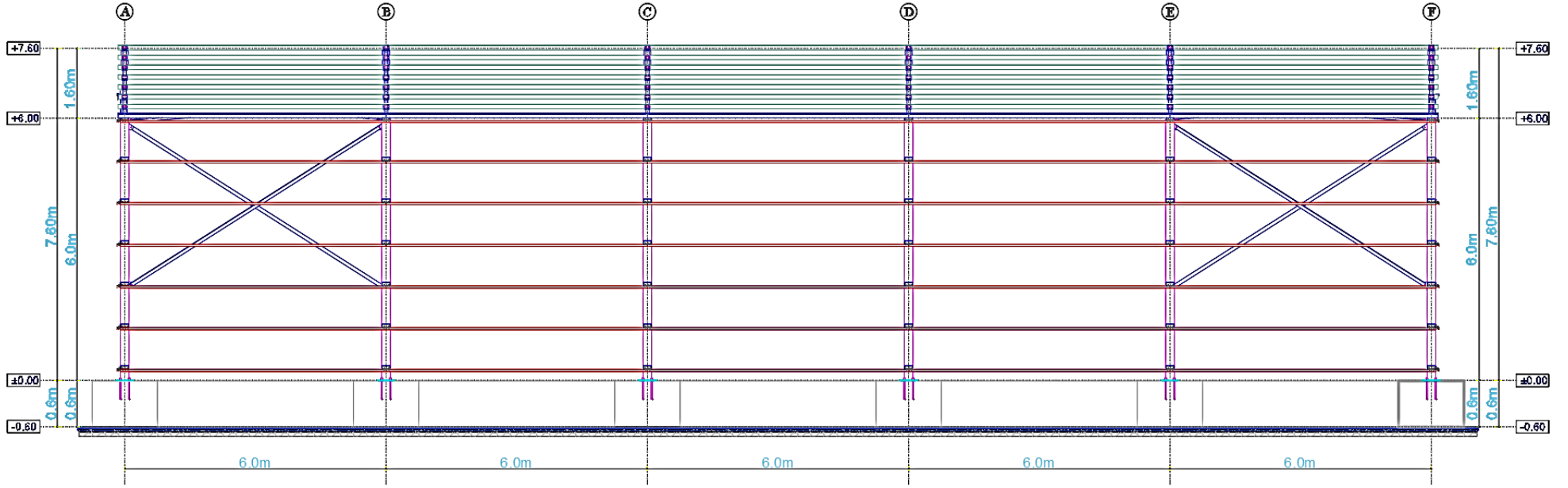
Şekil 4. 1 Tipik yapı sistemi aksonometrik görünüşü



Şekil 4. 2 Tipik portal çerçeve çatı sistemi planı



Şekil 4. 3 Tipik portal çerçeve enkesiti



Şekil 4. 4 Tipik portal çerçeve cephe sistem görünüşü

### 4.3. Yapı Yük Analizi

#### 4.3.1. Sabit Yükler

Yapı sistemine etki eden zati yükler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 Sisteme etki eden ölü yükler

Çatı Yükleri	Çatı Kaplaması (Sandviç Panel )	0,130kN/m <sup>2</sup>
	Aşıklar (UPN 100 )	0,106 kN/m
	Tesisat Yükü	0,250kN/m <sup>2</sup>
	Çelik Konstrüksiyon Yükü	Proğram manüel alındı.
Cephe Yükleri	Cephe Kaplaması (Sandviç Panel)	0,130kN/m <sup>2</sup>
	Cephe Aşık Yükü (UPE 80 )	0,079 kN/m
	Doğrama Yükü	0,080kN/m <sup>2</sup>
	Çelik Konstrüksiyon (Kolonlar)	Proğram manüel alındı.

#### 4.3.2. Kar Yüklerinin Belirlenmesi

Yapıya etki edecek kar yükleri, TS EN 1991-1-3’te verilen ilgili koşullar esas alınmıştır [13].

TS EN 1991-1-3§1.6.1’de verilen koşullar esas alınarak ve TS EN 1991-1-3§4.1 uyarınca, zemin yüzeyindeki kar ağırlığı,  $s_k$ , TS EN 1991-1-3 Ek MA Çizelge MA.1’e göre;  $s_k = 1,05\text{kN/m}^2$  olarak öngörülmüştür.

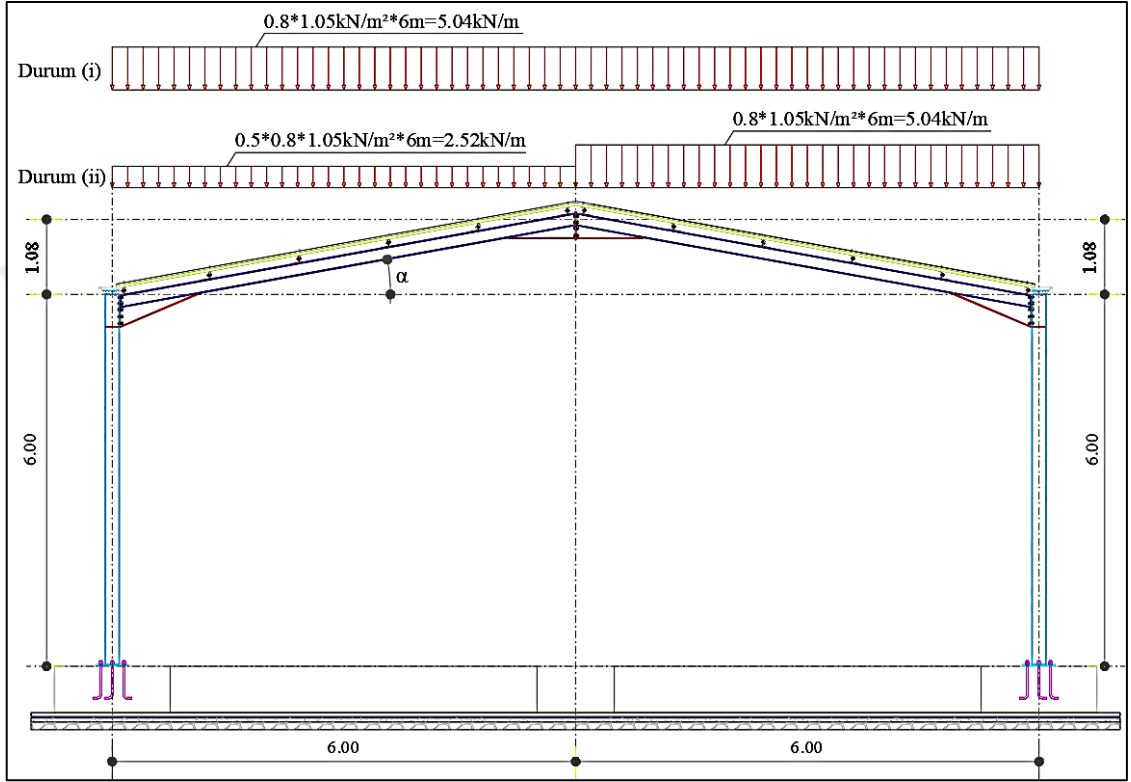
TS EN 1991-1-3§1.6.4’e göre ve TS EN 1991-1-3§5.2(3) uyarınca, çatı yüzeyindeki kar ağırlığı aşağıda belirtilen ampirik formülle hesaplandı.

$$S = \mu_i C_e C_t s_k \quad (4.1)$$

Maruz kalma katsayısı,  $C_e$ , TS EN 1991-1-3§5.2(7) Çizelge (5.1)’e göre topografik bölge sınıfı normal topografik alan için,  $C_e = 1,0$  ve ısı katsayısı,  $C_t$ , TS EN 1991-1-3§5.2(8)’e göre,  $C_t = 1,0$  olarak alınmıştır.

$$S = \mu_i(1,0)(1,0)s_k = \mu_i s_k \quad (4.2)$$

TS EN 1991-1-3§5.3.3(2) uyarınca, çatı yüzeyindeki kar kütesinin kaymasının önlenmediği varsayılarak, şekil katsayıları için TS EN 1991-1-3 Çizelge (5.2) de verilen değer ile TS EN 1991-1-3 Şekil (5.3)'e göre, tüm portal çerçevelerin simetri oluşu ve 6,0m eşit aralıklarla konumlandığından, Şekil 4.5'te gösterilen kar yükü yayılışları dikkate alındı.



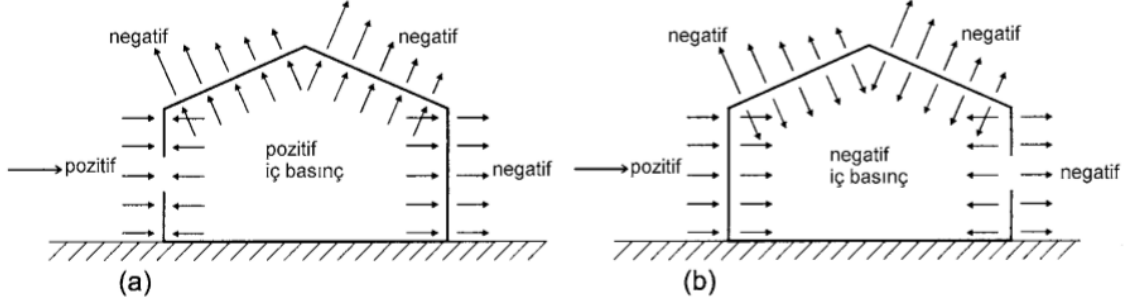
Şekil 4. 5 Tipik portal çerçeve kar yükü yayılışı

TS EN 1991-1-3§5.3.3(3) ve TS EN 1991-1-3§5.3.3(4) uyarınca binanın analizinde, sırasıyla, birikmiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum (i) ve birikmemiş kar yükü düzenlemesi olarak Durum (ii) de gösterilen kar yükü yayılışları göz önüne alınmıştır.

#### 4.3.3. Rüzgar Yüklerinin Belirlenmesi

Rüzgâr etkileri zamana bağlı olarak değişim göstermektedir. Yapının dış yüzeyine doğrudan basınç olarak etki ettiği gibi yapı dış yüzeyinin gözenekliliği nedeniyle dolaylı olarak yapının iç yüzeylerine de etkir. Bu etkiler, ayrıca dış cephesinde açıklık olan yapılarda da iç yüzeylere doğrudan etkiyebilir (bkn. Şekil 4.6). Basınçlar, yapının veya her giydirme cephe (kaplama) elemanın yüzey alanına dik kuvvetler oluşturacak şekilde etkir. Buna ek olarak, rüzgârın yaladığı yapı alanların büyük olduğu

durumlarda yapı yüzeyine paralel olarak etkiyen sürtünme kuvvetleri de önemli olabilir [14].



Şekil 4. 6 Tipik portal çerçeve yüzeylerindeki basınç

Bir yapı üzerindeki rüzgâr etkilerini belirlemek için gerekli olan bazı hususlar esas alınmaktadır. Bunlar; yapının konumuna, meteorolojik verilerin elde edilebilirliğine ve kalitesine, arazinin tipine vb. bağlıdır.

Rüzgâr yükleri, TS EN 1991-1-4 ve TÇY 2018§5.3'te verilen ilgili koşullar esas alınarak, rüzgâr parametrelerinin belirlenmesi aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

- ✓ TÇY 2018§5.3'te verilen kriterler baz alınarak, rüzgâr hızınının temel değeri,  $V_{b,0} = 28\text{m/s}$  (100km/sa) olarak öngörülmüştür.
- ✓ Esas rüzgâr hızı, TS EN 1991-1-4 §4.2'de verilen Denk. (4.3) ile belirlendi.

$$v_b = C_{dir}C_{season}V_{b,0} \quad (4.3)$$

Doğrultu katsayısı,  $C_{dir}$  ve mevsim katsayısı,  $C_{season}$  değerleri tavsiye edilen değer olan 1,0 alındığında, esas rüzgâr hızı  $v_b = v_{b,0} = 28\text{m/sn}$  olarak elde edilir.

- ✓ Ortalama rüzgâr hızı, TS EN 1991-1-4 §4.3'e göre belirlenmiştir.

$$v_m(z) = c_r(z)c_0(z)V_b \quad (4.4)$$

Çelik sanayi yapısının inşa edileceği arazi kategorisi II için, arazi parametreleri TS EN 1991-1-4 Çizelge (4.1)'e göre doğrulanmıştır.

$$z_0 = 0,05\text{m} \text{ ve } z_{min} = 2,0\text{m}$$

İncelenen çelik sanayi yapısı içinde Tip 3 için,  $z = 7,60\text{m}$  olur. Buna göre;



$$z_{\min} = 2,0\text{m} \leq z = 7,60\text{m} \leq z_{\max} = 200\text{m}$$

Arazi engebelik katsayısı, TS EN 1991-1-4 §4.3.2’de verilen kriterler esas alınarak hesaplandı.

$$k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \left( \frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad (4.5)$$

$$c_r(z) = k_r \ln \left( \frac{z}{z_0} \right) = 0,19 \ln \left( \frac{7,60}{0,05} \right) \cong 0,955 \quad (4.6)$$

Arazi orografisi için TS EN 1991-1-4§4.3.3 esas alındığında, orografinin rüzgar hızını arttırmadığı varsayımı ile orografi katsayısı,  $c_0(z)$ , tavsiye edilen değer olan 1,0’e eşit olarak alındı. (Bkz. TS EN 1991-1- 4 § 4.3.1, Not 1). Buna göre ortalama rüzgâr hızı;

$$v_m(z) = (0,955) * (1,0) * (28\text{m/sn}) \cong 26,74\text{m/sn}$$

Çizelge 4. 2 Yapı tipleri için ortalama rüzgâr hızı

Yapı Tipi	$k_r$	$c_r(z)$	$c_0(z)$	$V_b$	$v_m(z)$
Tip 3	0,19	0,955	1,0	28m/sn	26,74m/sn
Tip 2	0,19	0,947	1,0	28m/sn	26,52m/sn
Tip 1	0,19	0,940	1,0	28m/sn	26,22m/sn

✓ Yüksekliğe bağlı rüzgar türbülansı, TS EN 1991-1-4 §4.4’e göre belirlenmiştir.

$$z_{\min} = 2,0\text{m} \leq z = 7,60\text{m} \leq z_{\max} = 200\text{m} \text{ olduğundan;}$$

$$I_v(z) = \frac{k_l}{c_0(z) \ln \left( \frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1,0}{1,0 \ln \left( \frac{7,60}{0,05} \right)} \cong 0,199 \quad (4.7)$$

Çizelge 4. 3 Yapı tipleri için rüzgâr türbülansı değerleri

Yapı Tipi	$z$	$z_0$	$c_0(z)$	$v_m(z)$	$I_v(z)$
Tip 3	7,60	0,05m	1,0	26,74m/sn	0,199
Tip 2	7,32	0,05m	1,0	26,52m/sn	0,201
Tip 1	7,05	0,05m	1,0	26,22m/sn	0,202

- ✓ Tepe rüzgar hız basıncı, TS EN 1991-1-4§4.5'te verilen Denk. (4.8) ile hesaplandı.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad (4.8)$$

Çizelge 4. 4 Yapı tipleri için tepe rüzgar hız basıncı değerleri

Yapı Tipi	z	z <sub>0</sub>	I <sub>v</sub> (z)	ρ	v <sub>m</sub> (z)	q <sub>p</sub> (z)
Tip 3	7,60	0,05m	0,199	1,25 kg/m <sup>3</sup>	26,74m/sn	1069,41kg/msn <sup>2</sup>
Tip 2	7,32	0,05m	0,201	1,25 kg/m <sup>3</sup>	26,52m/sn	1058,04kg/msn <sup>2</sup>
Tip 1	7,05	0,05m	0,202	1,25 kg/m <sup>3</sup>	26,22m/sn	1037,25kg/msn <sup>2</sup>

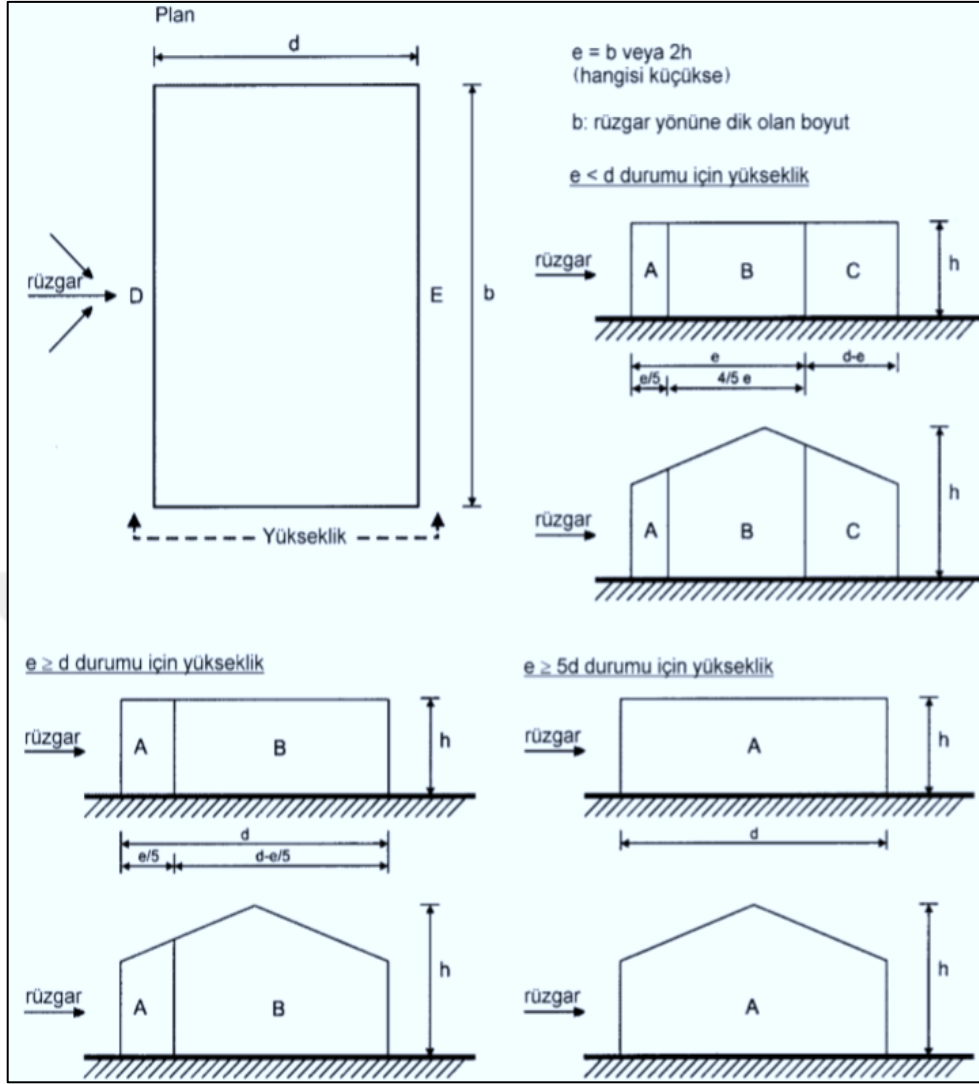
- ✓ Tepe kaynaklı hız basıncı, q<sub>p</sub>(z), yüzeylere etkiyen dış ve iç rüzgar basınçları, TS EN 1991-1-4§5.2'ye göre doğrulanmıştır. Yapının düşey duvarları için TS EN 1991-1-4§7.2.2'de verilen etki bölgelerinde kullanılması gereken dış basınç, c<sub>pe,10</sub>, ve iç basınç, c<sub>pi</sub>, katsayıları Çizelge 7.1'e göre belirlenmiştir.

Çizelge 4. 5 Düşey duvarlar için basınç katsayıları (c<sub>pi</sub>=-0.3 için)

Bölge	A	B	C	D	E
c <sub>pe</sub>	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
c <sub>pi</sub> =-0.3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
c <sub>pnet</sub>	-0,9	-0,5	-0,2	1,1	-0,2

Çizelge 4. 6 Düşey duvarlar için basınç katsayıları (c<sub>pi</sub>=+0.2 için)

Bölge	A	B	C	D	E
c <sub>pe</sub>	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,5
c <sub>pi</sub> =+0.2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2
c <sub>pnet</sub>	-1,4	-1,0	-0,7	0,6	-0,7

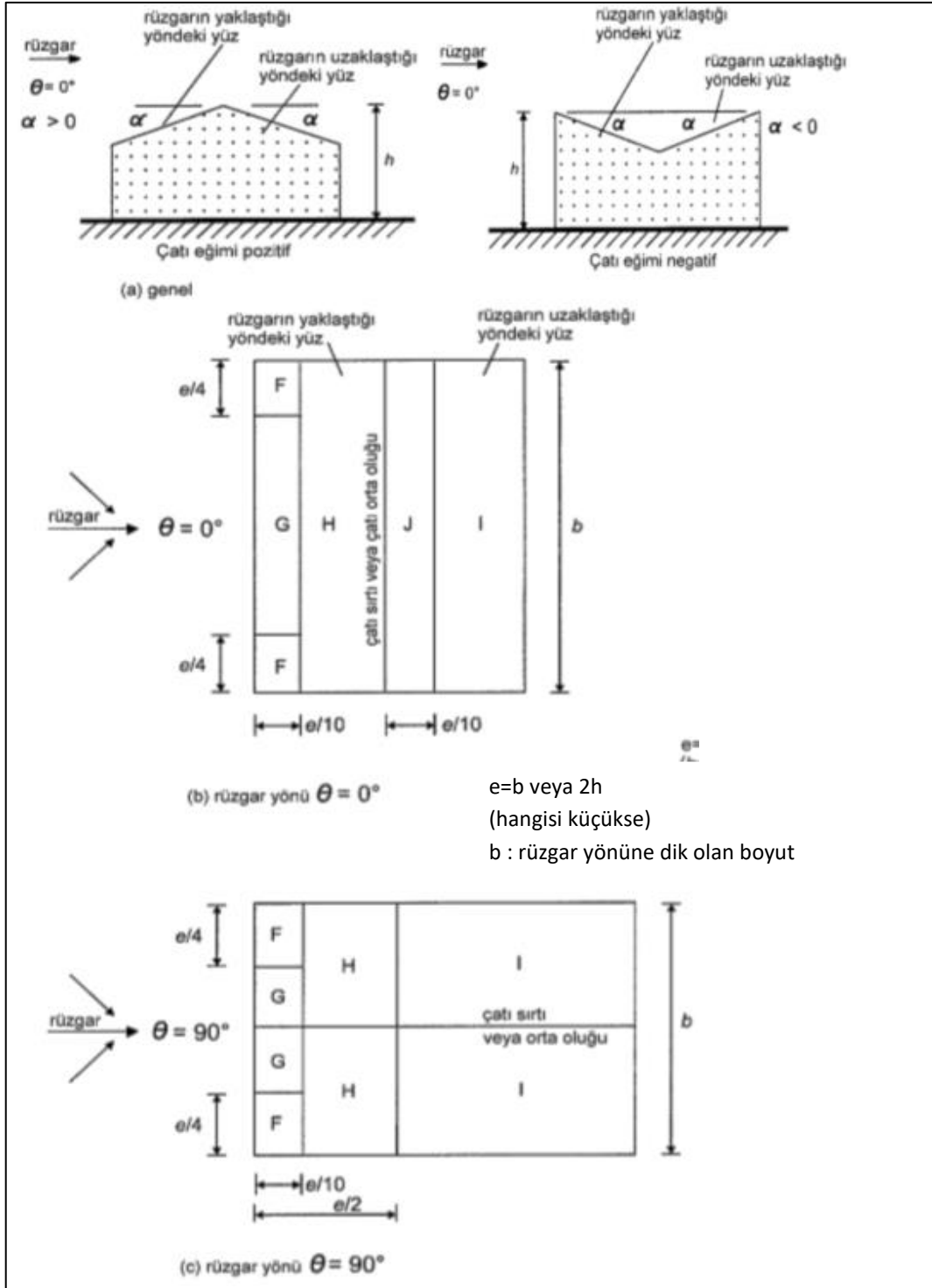


Şekil 4. 7 Düşey duvar (cephe) etki bölgeleri (TS EN 1991-1-4 Şekil 7.5)

TS EN 1991-1-4 Şekil (7.8) uyarınca çift eğimli çatılar için etki bölgeleri Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 7 Çatı için dış basınç katsayıları (TS EN 1991-1-4:Çizelge 7.4a)

Bölge	F	G	H	I	J
$c_{pe}(\alpha = 5^0)$	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	+0,2/-0,6
$c_{pe}(\alpha = 10,12^0)$	<b>-1,31</b>	<b>-1,11</b>	<b>-0,454</b>	<b>-0,50</b>	<b>-0,80</b>
$c_{pe}(\alpha = 15^0)$	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
$c_{pi} = +0.2$	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2
$c_{pnet} = c_{pe,10} - c_{pi}$	<b>-1,51</b>	<b>-1,31</b>	<b>-0,654</b>	<b>-0,7</b>	<b>-1,0</b>



Şekil 4. 8 Çift eğimli çatılar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 Şekil 7.8)

Yüzelere etkiyen net rüzgâr basınçları,  $z_i = z_e$  için, etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları;  $\omega(z) = c_{pnet}q_p(z)$  denklemiyle hesaplanmıştır. Bu şekilde hesaplanan en elverişsiz rüzgâr basınçları bina geometrisi üzerinde olacak şekilde gözönüne alınmıştır.

Çizelge 4. 8 Etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları

Yüzey	Rüzgar yönü $\theta = 0^0$ için bölgeler								
	Tip 1			Tip 2			Tip 3		
	$C_{pnet}$	$q_p(z)$	$\omega(z)$	$C_{pnet}$	$q_p(z)$	$\omega(z)$	$C_{pnet}$	$q_p(z)$	$\omega(z)$
<b>A</b>	-1,40	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,452kN/m <sup>2</sup>	-1,40	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,481kN/m <sup>2</sup>	-1,40	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,497kN/m <sup>2</sup>
<b>B</b>	-1,00	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,00	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,00	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,069kN/m <sup>2</sup>
<b>C</b>	-0,70	1,037kN/m <sup>2</sup>		-0,70	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,741kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,748kN/m <sup>2</sup>
<b>D</b>	+1,10	1,037kN/m <sup>2</sup>	+1,141kN/m <sup>2</sup>	+1,10	1,058kN/m <sup>2</sup>	+1,164kN/m <sup>2</sup>	+1,10	1,069kN/m <sup>2</sup>	+1,176kN/m <sup>2</sup>
<b>E</b>	-0,70	1,037kN/m <sup>2</sup>	-0,726kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,741kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,748kN/m <sup>2</sup>
<b>F</b>	-1,51	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,566kN/m <sup>2</sup>	-1,51	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,598kN/m <sup>2</sup>	-1,51	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,614kN/m <sup>2</sup>
<b>G</b>	-1,31	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,358kN/m <sup>2</sup>	-1,31	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,386kN/m <sup>2</sup>	-1,31	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,400kN/m <sup>2</sup>
<b>H</b>	-0,65	1,037kN/m <sup>2</sup>	-0,674kN/m <sup>2</sup>	-0,65	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,688kN/m <sup>2</sup>	-0,65	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,695kN/m <sup>2</sup>
<b>I</b>	-0,70	1,037kN/m <sup>2</sup>	-0,726kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,741kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,748kN/m <sup>2</sup>
<b>J</b>	-1,00	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,00	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,00	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,069kN/m <sup>2</sup>

Not 1 : Çelik sanayi yapı tipleri için; b = 30m (rüzgar yönüne dik boyut) ve d = 12m, 15m ve 18m olmaktadır. Bu durumda;

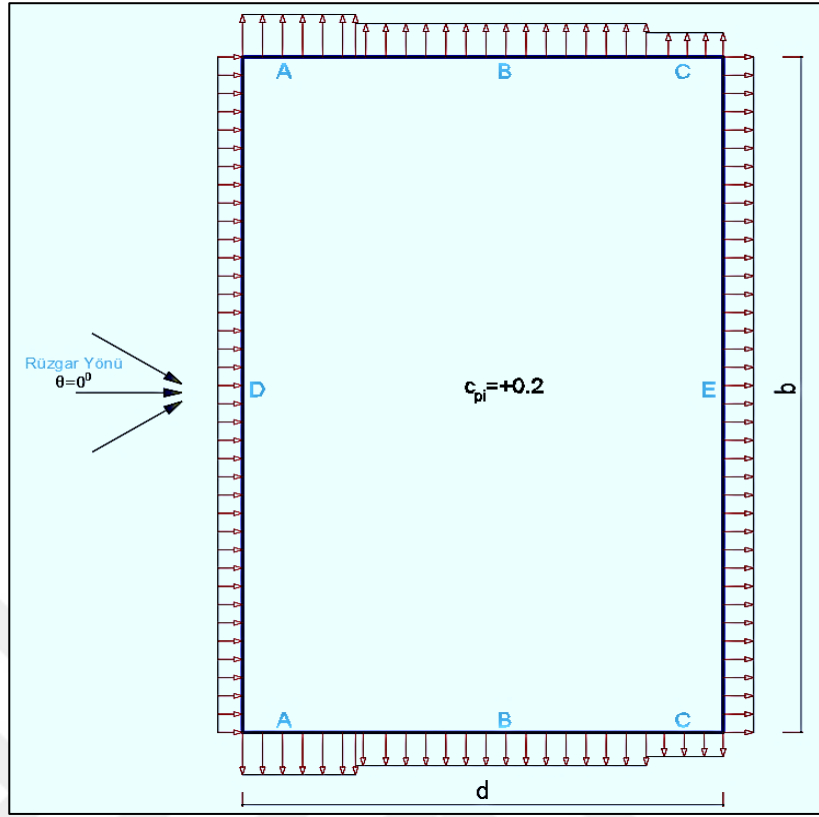
- Tip 1 için :  $e = (b ; 2h)_{min} = (30,00m; 14,10m)_{min} = 14,20m$  ise  $e=14,10m \geq d=12,0m$  olduğunda, geçiş cephesinde A ve B bölgelerinde rüzgar etkileri oluşur (bknz. Şekil 4.7).
- Tip 2 için :  $e = (b ; 2h)_{min} = (30,00m; 14,64m)_{min} = 14,64m$  ise  $e=14,64m < d=15,0m$  olduğunda, geçiş cephesinde A , B ve C bölgelerinde rüzgar etkileri oluşur (bknz. Şekil 4.7).
- Tip 3 için :  $e = (b ; 2h)_{min} = (30,00m; 15,20m)_{min} = 15,20m$   $e=15,20m < d=18,0m$  olduğunda, geçiş cephesinde A , B ve C bölgelerinde rüzgar etkileri oluşur (bknz. Şekil 4.7).

Çizelge 4. 9 Etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları

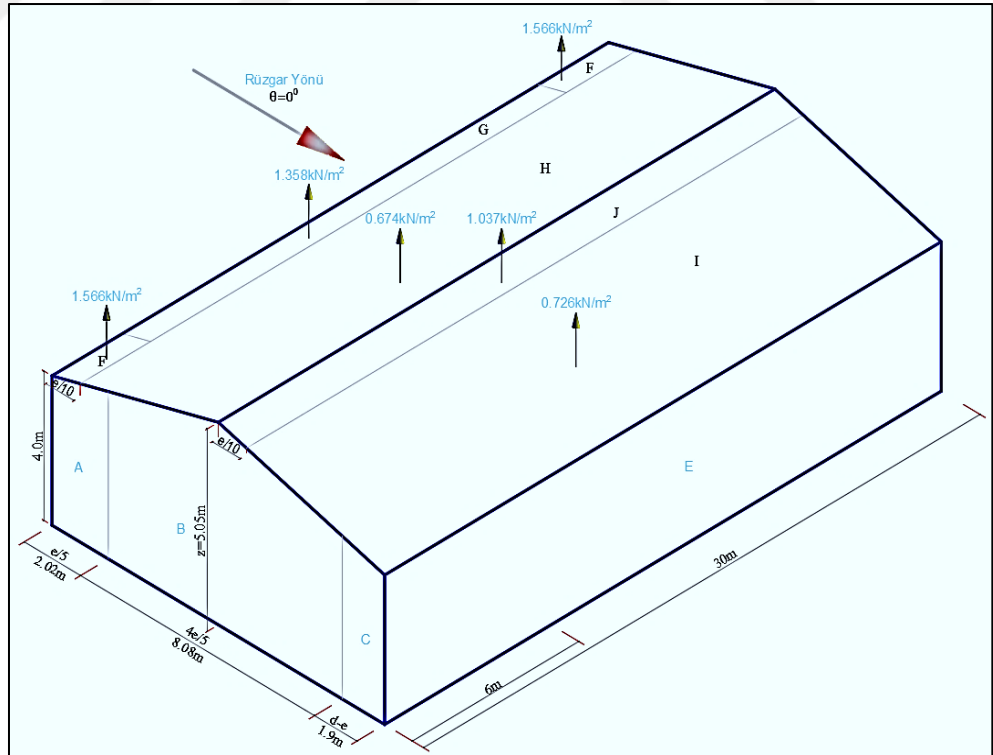
Yüzey	Rüzgar yönü $\theta = 90^0$ için bölgeler								
	Tip 1			Tip 2			Tip 3		
	$c_{pnet}$	$q_p(z)$	$\omega(z)$	$c_{pnet}$	$q_p(z)$	$\omega(z)$	$c_{pnet}$	$q_p(z)$	$\omega(z)$
<b>A</b>	-1,40	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,452kN/m <sup>2</sup>	-1,40	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,481kN/m <sup>2</sup>	-1,40	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,497kN/m <sup>2</sup>
<b>B</b>	-1,00	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,00	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,00	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,069kN/m <sup>2</sup>
<b>C</b>	-0,70	1,037kN/m <sup>2</sup>	-0,726kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,741kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,748kN/m <sup>2</sup>
<b>D</b>	+1,10	1,037kN/m <sup>2</sup>	+1,141kN/m <sup>2</sup>	+1,10	1,058kN/m <sup>2</sup>	+1,164kN/m <sup>2</sup>	+1,10	1,069kN/m <sup>2</sup>	+1,176kN/m <sup>2</sup>
<b>E</b>	-0,70	1,037kN/m <sup>2</sup>	-0,726kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,741kN/m <sup>2</sup>	-0,70	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,748kN/m <sup>2</sup>
<b>F</b>	-1,65	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,711kN/m <sup>2</sup>	-1,65	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,746kN/m <sup>2</sup>	-1,65	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,764kN/m <sup>2</sup>
<b>G</b>	-1,50	1,037kN/m <sup>2</sup>	-1,556kN/m <sup>2</sup>	-1,50	1,058kN/m <sup>2</sup>	-1,587kN/m <sup>2</sup>	-1,50	1,069kN/m <sup>2</sup>	-1,604kN/m <sup>2</sup>
<b>H</b>	-0,85	1,037kN/m <sup>2</sup>	-0,881kN/m <sup>2</sup>	-0,85	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,899kN/m <sup>2</sup>	-0,85	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,907kN/m <sup>2</sup>
<b>I</b>	-0,75	1,037kN/m <sup>2</sup>	-0,778kN/m <sup>2</sup>	-0,75	1,058kN/m <sup>2</sup>	-0,794kN/m <sup>2</sup>	-0,75	1,069kN/m <sup>2</sup>	-0,802kN/m <sup>2</sup>

Not 1 : Çelik sanayi yapı tipleri için; b = 12m, 15m, 18m (rüzgar yönüne dik boyut) ve d = 30m olmaktadır. Bu durumda;

- Tip 1 için :  $e = (b ; 2h)_{min} = (12,0m; 14,10m)_{min} = 12,0m$  ise  $e=12,0m < d=30,0m$  olduğunda, geçiş cephesinde A , B ve C bölgelerinde rüzgar etkileri oluşur (bknz. Şekil 4.7).
- Tip 2 için :  $e = (b ; 2h)_{min} = (15,00m; 14,64m)_{min} = 14,64m$  ise  $e=14,64m < d=30,0m$  olduğunda, geçiş cephesinde A , B ve C bölgelerinde rüzgar etkileri oluşur (bknz. Şekil 4.7).
- Tip 3 için :  $e = (b ; 2h)_{min} = (18,00m; 15,20m)_{min} = 15,20m$  ise  $e=15,20m < d=30,0m$  olduğunda, geçiş cephesinde A , B ve C bölgelerinde rüzgar etkileri oluşur (bknz. Şekil 4.7).



Şekil 4. 9 Tipik bir yapı için duvar etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları



Şekil 4. 10 Tip 1 için çatı etki bölgelerindeki rüzgâr basınçları

#### **4.3.4. Deprem Yüklerinin Belirlenmesi**

Bu çalışmada; deprem etkileri, TBDY 2018’te verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

Deprem etkilerinin belirlenmesinde kullanılan deprem verileri, deprem yer hareketi düzeylerine bağlı olarak, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Haritaları esas alınmıştır. Bu Haritalar <https://tdth.afad.gov.tr/> adresli internet sitesinden erişilmektedir [15].

Bu çalışma için, deprem verileri aşağıda verilmiştir.

##### Deprem Yer Hareketi Düzeyinin Belirlenmesi

TBDY 2018§2.2’de dört farklı deprem yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. Bunlar; Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1), Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2), Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3) ve Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4) olarak verimiştir.

Deprem etkileri için, TBDY 2018§2.2.2’de verilen Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) esas alınmıştır.

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini olarak tanımlanmıştır. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

##### Yerel Zemin Sınıfının Belirlenmesi

Deprem tasarım spektrumlarının tanımlanmasında esas alınacak yerel zemin sınıfları, TBDY 2018§16.4 Tablo 16.1’e göre belirlenmiştir. Yerel zemin sınıfı, ZC olarak öngörülmüştür. Bu zemin sınıfına ait veriler Çizelge 4.10’da verilmiştir.



Çizelge 4. 10 Yerel zemin sınıfları (bknz. TBDY 2018§16.4 Tablo 16.1)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ( $c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ( $PI > 50$ ) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

### Standart Deprem Yer Hareketi Spektrumlarının Belirlenmesi

Deprem yer hareketi spektrumları, belirli bir deprem yer hareketi düzeyi esas alınarak %5 sönüm oranı için, harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlı olarak belirlenmektedir.

(1) Harita spektral ivme katsayıları, TBDY 2018§2.2’de belirtilen deprem yer hareketi düzeyleri için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kapsamında tanımlanmıştır:

(a) Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı  $S_5$  : Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $(V_s)_{30}$ : zeminin ilk 30m’lik profiline ait ortalama kayma dalgası] esas alınarak %5 sönüm oranı ve 0,2 saniye için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz bir katsayıyı ifade etmektedir.

(b) 1,0 Saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı  $S_1$  : Belirli bir deprem yer hareketi düzeyi için referans zemin koşulu [ $(V_s)_{30}$ ] esas alınarak %5 sönüm oranı ve 1,0 saniye için harita spektral ivmelerinin yerçekimi ivmesine bölünmesi ile boyutsuz bir katsayıyı ifade etmektedir.

Tez çalışması için harita spektral ivme katsayıları, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (<https://tdth.afad.gov.tr/>) adresli internet sitesinde alınmıştır (Şekil 4.11).

Kullanıcı Girdileri	
Rapor Başlığı	Tez Çalışması
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yılı) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZC Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem	38.669254°
Boylam	29.388348°
Çıktılar	
$S_S = 0.639$	$S_1 = 0.158$
$PGA = 0.267$	$PGV = 14.828$

Şekil 4. 11 Harita spektral ivme katsayıları

Şekil 4.11’de tanımlanan harita spektral ivme katsayıları  $S_S$  ve  $S_1$ , TBDY 2018§2.3.2.1’de belirtilen tasarım spektral ivme katsayıları  $S_{DS}$  ve  $S_{D1}$ ’e dönüştürülmektedir.

$$S_{DS} = S_S F_S = 0,639 \times 1,244 \approx 0,795 \quad (4.9)$$

$$S_{D1} = S_1 F_1 = 0,158 \times 1,500 \approx 0,237 \quad (4.10)$$

Burada  $F_S$  ve  $F_1$  TBDY 2018§2.3.3’de tanımlanan yerel zemin etki katsayılarıdır (Çizelge 4.11).

(2) Yerel zemin etki katsayıları, TBDY 2018§16.4’de tanımlanan yerel zemin sınıflarına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları  $F_S$  ve  $F_1$ , sırası ile TBDY 2018§2.3.3.1’de verilen Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 4. 11 Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_S$					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					
Yerel zemin sınıfı ZC ve $S_S = 0,639$ için $F_S = 1,244$						
Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı $F_1$					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					
Yerel zemin sınıfı ZC ve $S_1 = 0,158$ için $F_S = 1,500$						

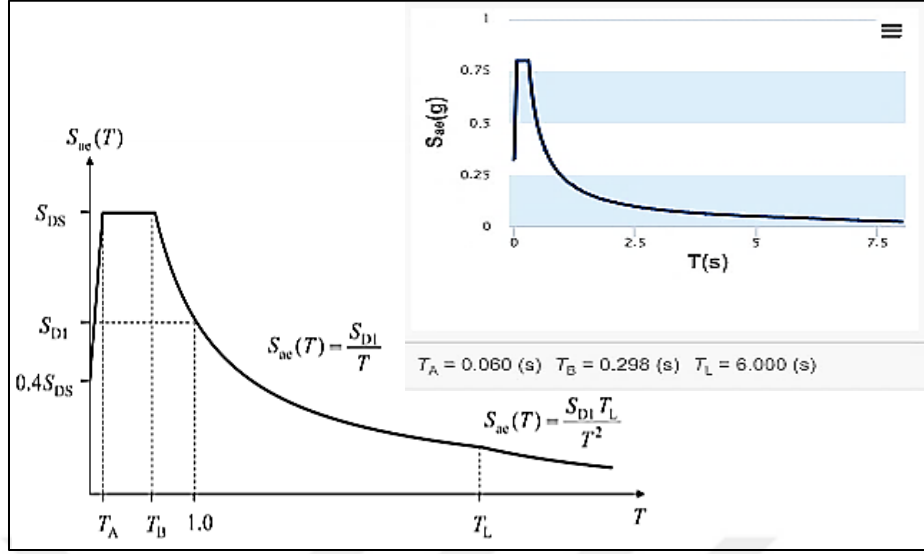
- (3) Yatay elastik tasarım spektrumu, gözönüne alınan deprem yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{\partial e}(T)$ , doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden TBDY 2018§2.3.4 Denk.(2.2)'ye göre doğrulanmıştır (Şekil 4.12).

$$S_{\partial e}(T) = \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad 0 \leq T \leq T_A$$

$$S_{\partial e}(T) = S_{DS} \quad T_A \leq T \leq T_B$$

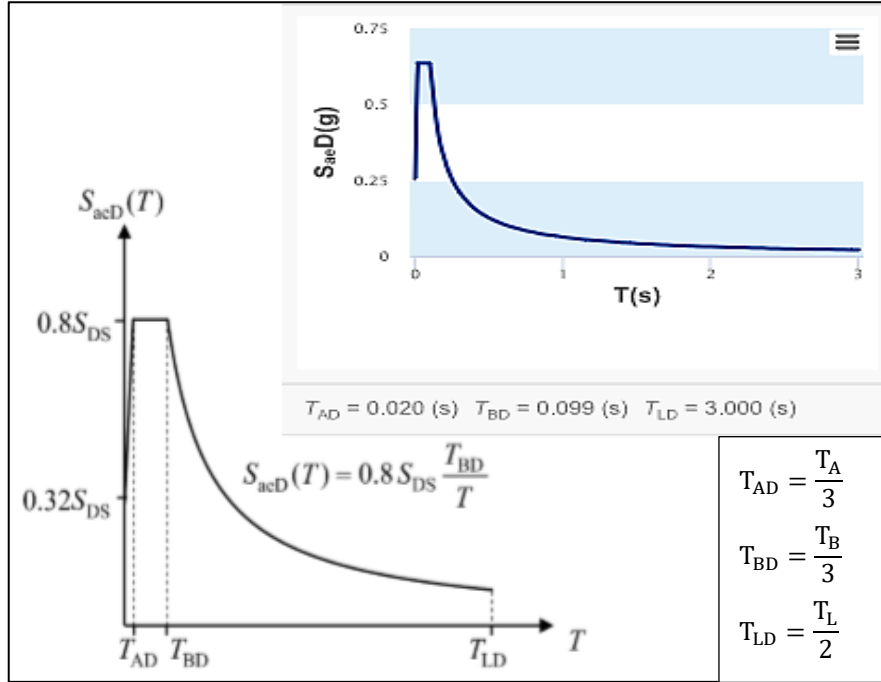
$$S_{\partial e}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad T_B \leq T \leq T_L$$

$$S_{\partial e}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T} \quad T_L \leq T$$



Şekil 4. 12 Yatay elastik tasarım spektrumu

- (4) Düşey elastik tasarım spektrumu, deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumu'nun ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri  $S_{aeD}(T)$ , yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi [g] cinsinden Denk.(2.5) 'e göre doğrulanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4. 13 Düşey elastik tasarım spektrumu

## Bina Kullanım Sınıfı ve Bina Önem Katsayısının Belirlenmesi

TBDY 2018§3.2’de verilen Deprem Tasarım Sınıfları’nın belirlenmesi için, Bina Kullanım Sınıfları (BKS), binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak TBDY 2018§3.1.2’de tanımlanan Tablo 3.1’e göre doğrulanmıştır.

Çizelge 4. 12 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS=1	<b>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</b> <b>a)</b> Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) <b>b)</b> Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler <b>d)</b> Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
BKS=2	<b>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</b> Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1,2
BKS=3	<b>Diğer binalar</b> BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1,0

Çizelge 4.12’de verilen, bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayılarına göre; bina türü endüstri yapısı olduğunda BKS=3 bina kullanım sınıfına dâhil olmaktadır.

## Deprem Tasarım Sınıfının Belirlenmesi

Bina kullanım sınıfına ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısına bağlı olarak, deprem etkisi altında tasarımda esas alınacak Deprem Tasarım Sınıfları (DTS), TBDY 2018§3.2’de verilen Tablo 3.2’ye göre belirlenmiştir.

Çizelge 4. 13 Deprem Tasarım Sınıfları (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı ( $S_{DS}$ )	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS=1	BKS=2,3
$S_{DS} < 0,33$	DTS=4a	DTS=4
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	DTS=3a	DTS=3
$0,50 \leq S_{DS} < 0,75$	DTS=2a	DTS=3
$0,75 \leq S_{DS}$	DTS=1a	DTS=1

Tablo 4.13'e göre, BKS=3 ve  $S_{DS} \cong 0,795$  olduğu için Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 olmaktadır.

#### Bina Yükseklik Sınıfının Belirlenmesi

Bina yükseklik sınıfı TBDY 2018§3.3'teki verilen kriterler esas alınarak deprem tasarım sınıfları için Tablo 3.3'e göre belirlenmiştir. Bina yükseklik sınıfları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4. 14 Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS=1, 1a, 2, 2a	DTS=3, 3a	DTS=4, 4a
BYS=1	$70 < H_N$	$91 < H_N$	$105 < H_N$
BYS=2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS=3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS=4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS=5	$17,5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS=6	$10,5 < H_N \leq 17,5$	$17,5 < H_N \leq 28$	
BYS=7	$7 < H_N \leq 10,5$	$10,5 < H_N \leq 17,5$	
BYS=8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10,5$	

Çizelge 4.14'e göre; tez çalışmasında ele alınan yapıların bina yükseklik sınıfı, BYS=7'ye tekabül etmektedir.

#### Yapı Performans Düzeyinin Belirlenmesi

TBDY 2018§3.4'te Bina Performans Hedefleri'nin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için Bina Performans Düzeyleri tanımlanmıştır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

(a) Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.

(b) Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

(c) Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.

(d) Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

Bu çalışmada, Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2) ve Deprem Tasarım Sınıfı DTS=1 için tanımlanan Normal Performans Hedefleri TBDY 2018§3.5.1’de verilen Tablo 3.4(a) temel alınmıştır. Bu verilerin sunumu Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4. 15 Performans Hedefleri ve Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları

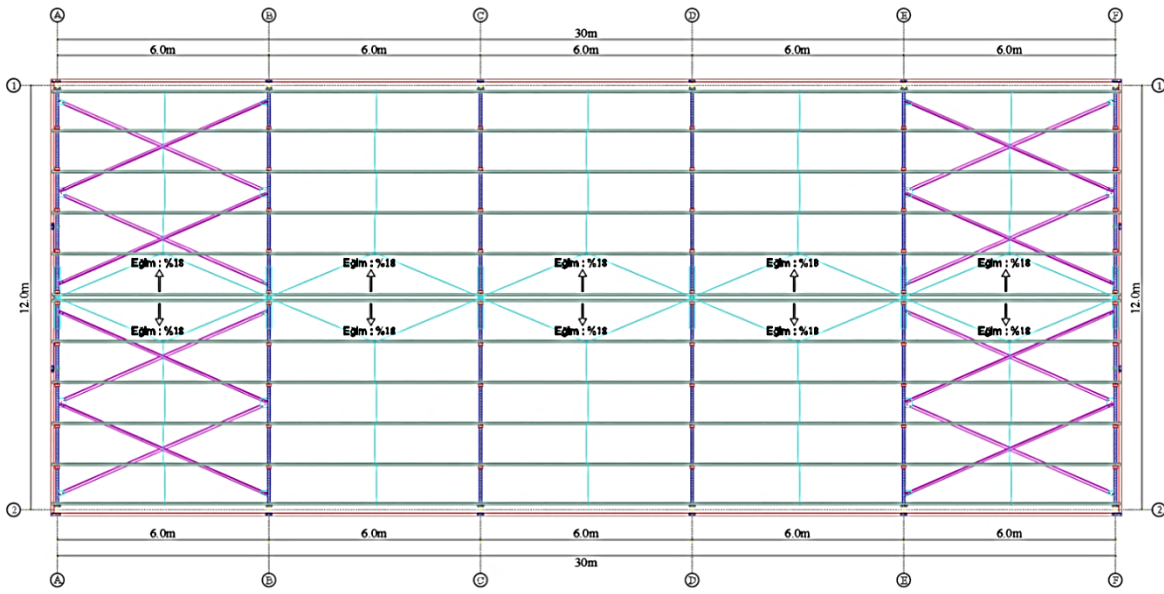
Deprem Yer H. Düzeyi	DTS=1		Not 1 : Yapı sahibinin isteğine bağlı olarak daha ileri performans hedefleri seçilebilir.
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	
DD-3	-	-	
DD-2	KH	DGT	
DD-1	-	-	

Not : Çizelge 4.15’te verilen Performans Hedefleri ve Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımları dikkate alınarak her yapı tipi için yatay deprem yükleri belirlenmiştir.

## 5. ÇELİK PORTAL ÇERÇEVELERİN TBDY 2018 ve TÇY 2018'E GÖRE ANALİZ VE TASARIMI

### 5.1. Yapı Geometrileri

Yapı tipleri, 30m uzunluğunda (6m beş aralık) ve 12m, 15m ve 18m'lik açıklıklardan oluşan üç tip portal çerçeveli sanayi yapılarıdır. Üç tip portal çerçeveli yapının yüksekliği, saçak seviyesine kadar 6m ve tüm yapı tipleri için çatı eğimi (%18) sabit tutulmuştur.



Şekil 5. 1 Çatı Sistem Planı (Tip 1)

Bu yapıların kesit planları, yapı tipleri için ayrıca verilmiştir. Yapıların dış cephe kaplaması, sandviç panel ve çatı kaplaması, alüminyum sandviç panel olarak öngörülmüştür.

Tek katlı tek açıklıklı çelik sanayi yapılarının düşey ve yatay yükler altında, SAP2000 v19.2.0 programı kullanılarak, TBDY 2018 ve TÇY 2018 yönetmelik kriterlerine uygun olarak yapının analiz ve tasarım yapılmıştır.

Analizi yapılan, tek katlı portal çerçeveli çelik sanayi yapılarının tasarım aşamaları, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için verilmiştir.



## 5.2. Yapıya Etkilecek Yükler

### 5.2.1. Rüzgar Yükleri

Rüzgar yükleri, TS EN 1991-1-4 yönetmeliği esas alınarak madde 4.3.3.'te verilmiştir. Etki bölgelerindeki rüzgar basınçları, Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da verilmiştir.

### 5.2.2. Sismik Yükler

Deprem yükleri, madde 4.3.4.'de verilen parametrelere bağlı olarak hesaplanmıştır. Deprem parametrelerine bağlı olarak TBDY 2018§4'te verilen kriterler esas alınarak belirlenmiştir.

### 5.2.3. Kar Yükleri

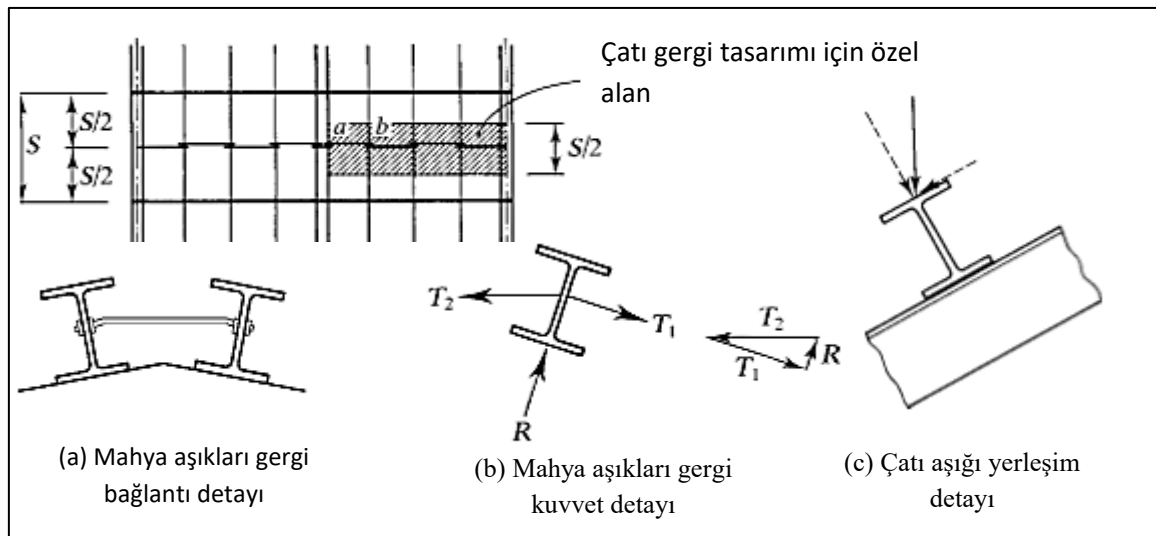
Kar yükleri, TS EN 1991-1-3 yönetmeliği esas alınarak madde 4.3.2.'de verilmiştir (Bkz. Şekil 4.5).

### 5.2.4. Çatı ve Cephe Sabit Yükleri

Çatı ve cephe sabit yükleri, madde 4.3.1.'de verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.1).

## 5.3. Çatı Elemanlarının Tasarımı

### 5.3.1. Çatı Aşıklarının Tasarımı



Şekil 5. 2 Çatı aşığı yerleşim detayı ve yük etkime tipi

Şekil 5.2’de gösterildiği gibi çatı aşığı bükülmeye çok zayıftır ve çatı tarafından sağlanan gergi desteğiyle veya çatı kaplaması katkısıyla bükülmeye karşı önlem alınabilir. Çatı aşıkların portal çerçeve birleşiminde metal bir güverte kullanılırsa, genellikle sert bir şekilde kavislere tutturulur ve gergi çubuklarına ihtiyaç duyulmayabilir. Bununla birlikte, bazen, aşıkların kendisinin ağırlığı, problemlere neden olmak için yeterlidir ve inşaat sırasında destek sağlamak için gergi çubuklarına ihtiyaç duyulabilir.

Gergi çubukları, çatıya paralel çatı yüklerinin bileşenini desteklemek için tasarlanmıştır. Çatı aşıkları arasındaki her segmentin altındaki her şeyi desteklediği varsayılır; bu nedenle, üst çubuk, Şekil 5.2’de gösterildiği gibi, kirişin topuğundan zirveye kadar çubuklara bağımlı olan çatı alanı üzerindeki yük için tasarlanmıştır. Her bir çubukta kuvvet farklı olacak olsa da, alışılmış uygulama, bir boyda bir boyut kullanmaktır.

Söz konusu olan fazladan malzeme miktarı önemsizdir ve her bölüm için aynı büyüklükteki kullanım, inşaat sırasında bir karışma olasılığını ortadan kaldırır.

Sırt aşıkları arasındaki bağlama çubuğu, her iki taraftaki gergi çubuklarından gelen yüke dayanmalıdır. Bu yatay elemandaki gerilme kuvveti, bileşenlerinden biri olarak üst gergi-çubuk segmentindeki kuvvete sahiptir. Bir tepe aşığın serbest cisim diyagramı, Şekil 5.2b’de gösterilmiştir.

### Çatı Aşıkların Yük Analizi

Çatı aşıklarının tasarımı için, esas alınan kar ve ölü yükler aşağıda verilmiştir.

*Kar Yüğü :*

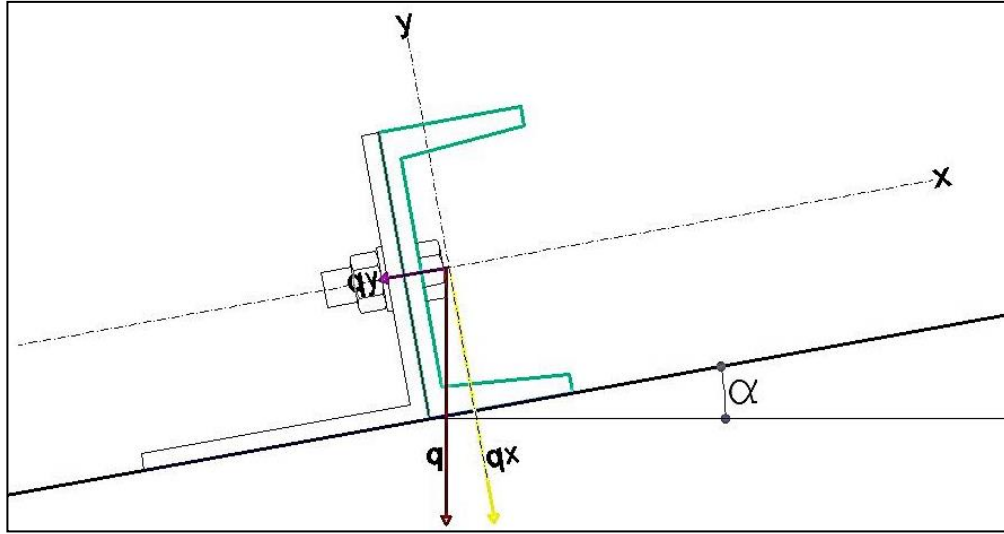
$$S_{qx} = G_q \cos \alpha = (1,008\text{kN/m}^2) \times (\cos 10,2) \cong 0,992\text{kN/m} \quad (5.1)$$

$$S_{qx} = G_q \sin \alpha = (1,008\text{kN/m}^2) \times (\sin 10,2) \cong 0,1785\text{kN/m} \quad (5.2)$$

*Ölü Yüğü :*

$$G_{qx} = G_q \cos \alpha = (0,2832\text{kN/m}^2) \times (\cos 10,2) \cong 0,2787\text{kN/m} \quad (5.3)$$

$$G_{qx} = G_q \sin \alpha = (0,2832\text{kN/m}^2) \times (\sin 10,2) \cong 0,0502\text{kN/m} \quad (5.4)$$



Şekil 5. 3 Çatı aşığı yerleşim detayı ve yük etkime tipi

Çatı aşığı, Şekil 5.3'te gösterildiği gibi, iki açıklıkta bir sürekli olacak şekilde SAP2000 v19.2.0 programı kullanılarak tasarlanmıştır.

Steel Stress Check Information (AISC 360-10)

Frame ID: 1  
Design Code: AISC 360-10  
Analysis Section: UPN100  
Design Section: UPN100

COMBO ID	STATION LOC	----MOMENT INTERACTION CHECK----	--MAJ-SHR--	MIN-SHR--
		RATIO = AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
DSTL2	3,00	0,402 (C) = 0,000 + 0,402 + 0,000	0,019	0,000
DSTL2	3,50	0,313 (C) = 0,000 + 0,313 + 0,000	0,031	0,000
DSTL2	4,00	0,179 (C) = 0,000 + 0,179 + 0,000	0,044	0,000
DSTL2	4,50	0,000 (C) = 0,000 + 0,000 + 0,000	0,056	0,000
DSTL2	5,00	0,222 (C) = 0,000 + 0,222 + 0,000	0,069	0,000
DSTL2	5,50	0,490 (C) = 0,000 + 0,490 + 0,000	0,081	0,000
DSTL2	6,00	0,802 (C) = 0,000 + 0,802 + 0,000	0,093	0,000

Modify/Show Overwrites: Overwrites  
Display Details for Selected Item: Details  
Display Complete Details: Tabular Data

Strength  Deflection

OK Cancel Table Format File

Şekil 5. 4 Çatı aşığı tasarım sonuçları

Aşıklar çatı taşıyıcı sistemi üzerine basit mesnetli olarak teşkil edildikleri için, çatı örtüsü vasıtasıyla her iki taraftan gelen alan yükünün yarısına maruz kalacakları kabul edilebilir. Bu durumda;

- ✓ Orta bölgelerde bulunan aşıklara aşık boyunca (t) genişliğinde bir alan yükü etkir.
- ✓ Kenar aşıklara (mahya ve damlalık aşığı) ise aşık boyunca (t/2) genişliğinde bir alan yükü etkir.

Çatı örtüsünün montajının yapılabilmesi ve bir düzlem oluşturulması gerektiği için en elverişsiz aşıklar için (orta aşıklar) tasarım yapılır. Kenar aşıklarda aynı boyutta imal edilir. Kenar aşıklardaki bu boyut fazlalığı daha sonraki aşamalarda değerlendirilir.

Rüzgar yükünün özelliği gereği (TS 498) çatı düzlemine dik etkidiği kabul edilir. Bu nedenle, rüzgar yükü profilinin (y) asal eksenini doğrultusunda etki yapar, (x) asal eksenini doğrultusunda herhangi bir etkisi olmaz.

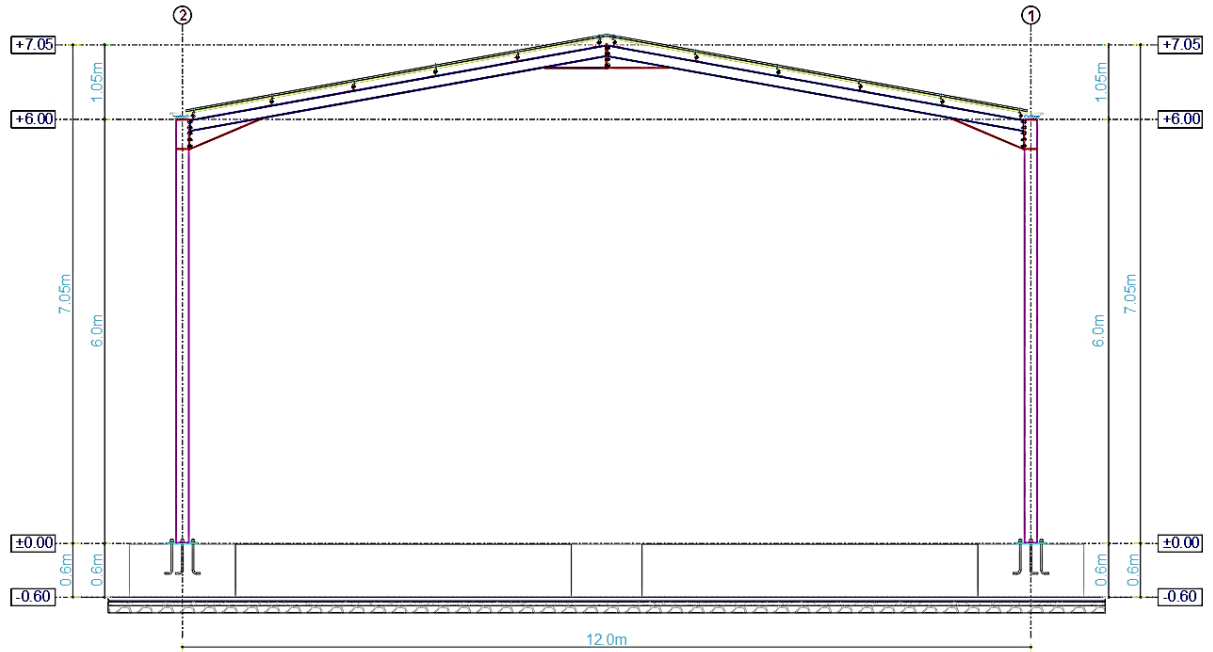
Bu çalışmada, çatı aşığı olarak seçilen UPN 100 profilinin kullanılması uygundur. Bu bağlamda portal çerçeve kirişine etki edecek olan ölü ve kar yükleri, çatı aşıkları vasıtasıyla birleşim noktalarına tekil yük olarak ektilmiştir.

#### 5.4. Tip 1 Yapı Sistemi

Tipik tek katlı tek açıklıklı Tip 1 çelik sanayi yapısının düşey ve yatay yükler altında, TBDY 2018 ve TÇY 2018 yönetmelik kriterleri esas alınarak analiz ve tasarım yapılmıştır. Tasarım aşamaları, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için verilmiştir.

#### Yapı Bilgisi

Tip 1 yapı sisteminin, aksonometrik görünüşü tipik çerçeve enkesiti Şekil 5.5'te verilmiştir.

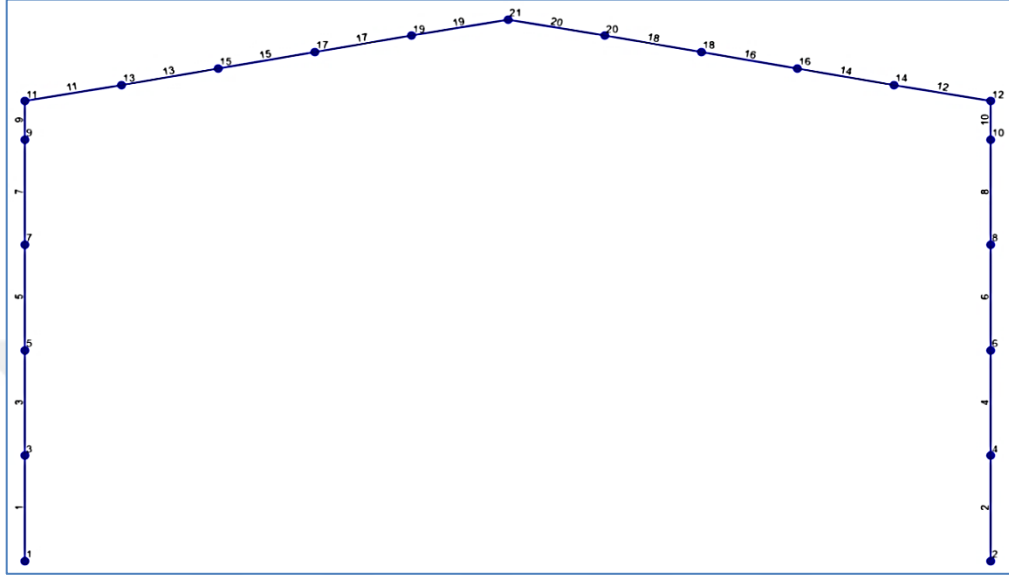


Şekil 5. 5 Tipik Çerçeve Enkesiti (Tip 1)

Yapı çeliği olarak S235 kullanılmıştır. Bu yapı çeliğine ait mekanik özellikler, EN 10025-2 de verilmiştir.

## Kesitlerin Kontrolü

Yönetmelikler esas alınarak Tip 1 yapısı için kesit dayanımları doğrulanmıştır. Şekil 5.6'da yapının eleman bilgileri ve Çizelge 5.1'de eleman koordinat bilgileri verilmiştir.



Şekil 5. 6 Yapı eleman bilgileri (Tip 1)

Çizelge 5. 1 Yapı elemanların koordinat bilgileri (Tip 1)

Eleman	Nokta I	Nokta J	Uzunluk	Koordinat X	Koordinat Z
1	1	3	1,375	3	0,6875
2	2	4	1,375	15	0,6875
3	3	5	1,375	3	2,0625
4	4	6	1,375	15	2,0625
5	5	7	1,375	3	3,4375
6	6	8	1,375	15	3,4375
7	7	9	1,375	3	4,8125
8	8	10	1,375	15	4,8125
9	9	11	0,5	3	5,75
10	10	12	0,5	15	5,75
11	11	13	1,21882	3,6	6,10668
12	12	14	1,21882	14,4	6,10668
13	13	15	1,21882	4,8	6,32003
14	14	16	1,21882	13,2	6,32003
15	15	17	1,21882	6	6,53337
16	16	18	1,21882	12	6,53337
17	17	19	1,21882	7,2	6,7467
18	18	20	1,21882	10,8	6,7467
19	19	21	1,21882	8,4	6,96003
20	20	21	1,21882	9,6	6,96003

## GKT Yöntemi ile Portal Çerçeve Tasarımı

Bu kısımda, Tip 1 yapı sisteminin, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) için yapı elemanlarının gerekli dayanımları doğrulanmıştır.

### *Program Veri Tabanlı Yönetmelik Seçimi*

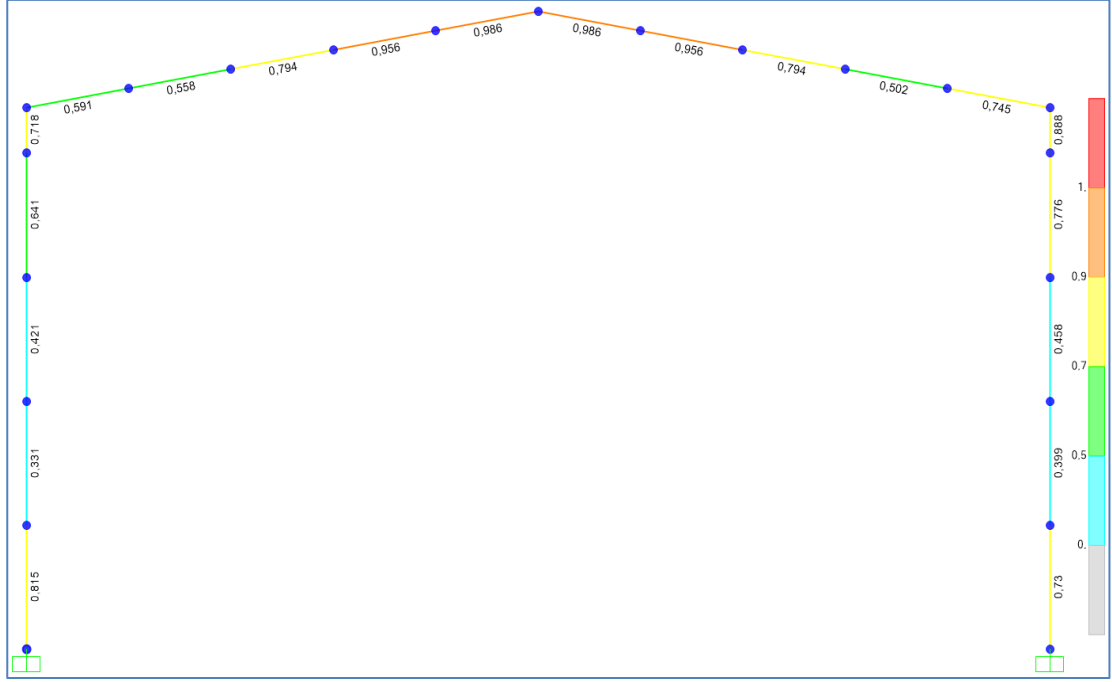
SAP2000 v19.2.0 veri tabanında mevcut olan, ANSI/AISC 360-10 An American National Standard, TÇY 2018’de verilen Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) kriterlerinin çoğunlukla aynıdır. Bunun için, Şekil 5.7’de gösterildiği gibi AISC-ASD89 kullanılmıştır [16].

	Item	Value
1	Design Code	AISC-ASD89
2	Multi-Response Case Design	Envelopes
3	Framing Type	Moment Frame
4	Lateral Factor for Wind	1,
5	Lateral Factor for Seismic	1,
6	Consider Deflection?	No
7	DL Limit, L/	120,
8	Super DL+LL Limit, L/	120,
9	Live Load Limit, L/	360,
10	Total Limit, L/	240,
11	Total-Camber Limit, L/	240,
12	Pattern Live Load Factor	0,75
13	Demand/Capacity Ratio Limit	0,95
14	Cm Calculation Option	Program Determined
15	Cm Calculation Tolerance	
16	Cb Calculation Option	Program Determined
17	Cb Calculation Tolerance	

Şekil 5. 7 Yapı tasarımı için yönetmelik tercihleri

### *Taşıyıcı Sistem Tasarım Özeti*

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) kriterleri esas alınarak, analiz ve tasarımı yapılan yapının, tasarım sonuçları Şekil 5.8’de verilmiştir. Ayrıca, Çizelge 5.2’de yapı elemanların tasarım sonuç değerleri verilmektedir.



Şekil 5. 8 Yapı eleman tasarım sonuçları (Tip 1 - GKT)

Çizelge 5. 2 Yapı elemanların tasarım sonuçlarının değerleri (Tip 1 - GKT)

No	Kesit	Eleman	Kapasite Oran	Yük Birleşimi
9	HE220A	Kolon	0,71826	(3) G+S
1	HE220A	Kolon	0,814668	(7) 0.6G+W
3	HE220A	Kolon	0,330905	(7) 0.6G+W
5	HE220A	Kolon	0,421371	(3) G+S
7	HE220A	Kolon	0,640742	(3) G+S
10	HE220A	Kolon	0,888376	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
2	HE220A	Kolon	0,730451	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
4	HE220A	Kolon	0,398909	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
6	HE220A	Kolon	0,457588	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
8	HE220A	Kolon	0,775768	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
11	IPE400	Kiriş	0,590961	(3) G+S
13	IPE400	Kiriş	0,557985	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
15	IPE400	Kiriş	0,794222	(3) G+S
17	IPE400	Kiriş	0,955731	(3) G+S
19	IPE400	Kiriş	0,986427	(3) G+S
12	IPE400	Kiriş	0,745051	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
14	IPE400	Kiriş	0,501901	(3) G+S
16	IPE400	Kiriş	0,794222	(3) G+S
18	IPE400	Kiriş	0,955731	(3) G+S
20	IPE400	Kiriş	0,986427	(3) G+S

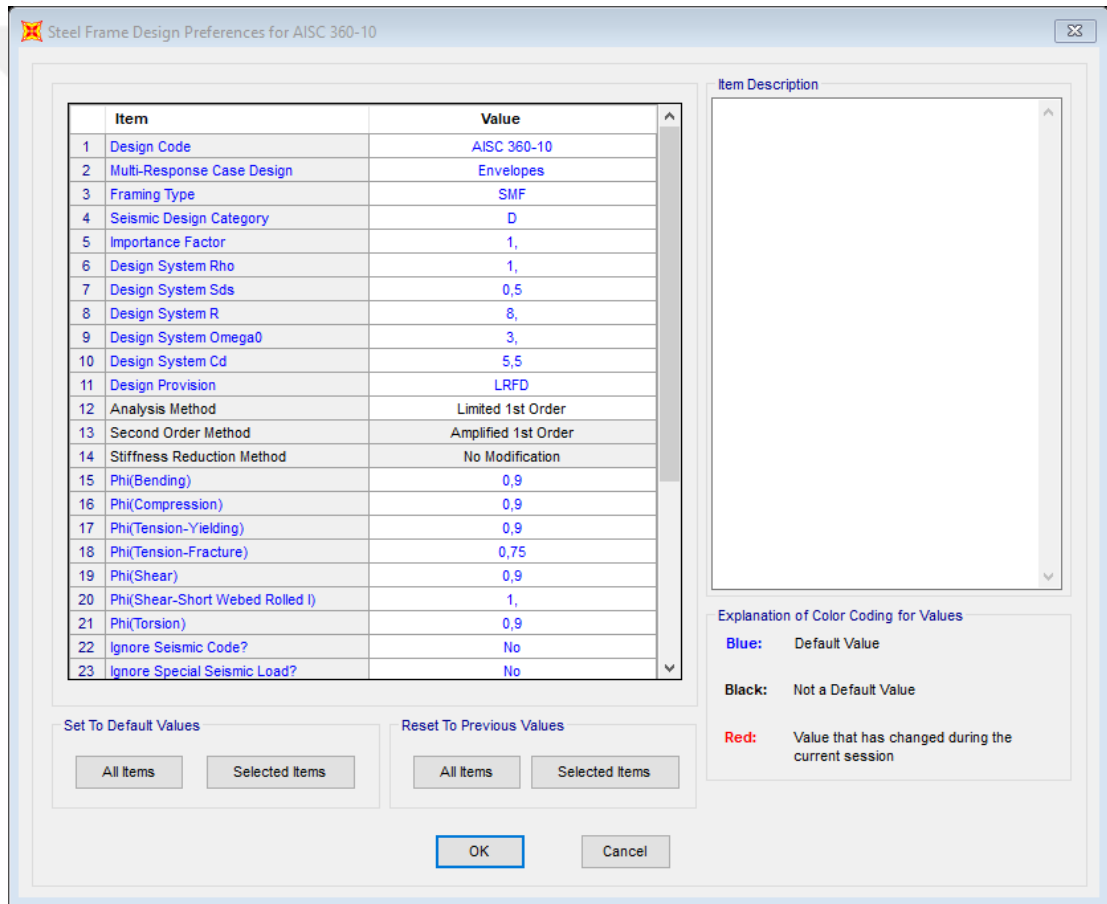


## YDKT Yöntemi ile Portal Çerçeve Tasarımı

Bu kısımda, Tip 1 yapı sisteminin, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için yapı elemanlarının gerekli dayanımları doğrulanmıştır.

### *Program Veri Tabanlı Yönetmelik Seçimi*

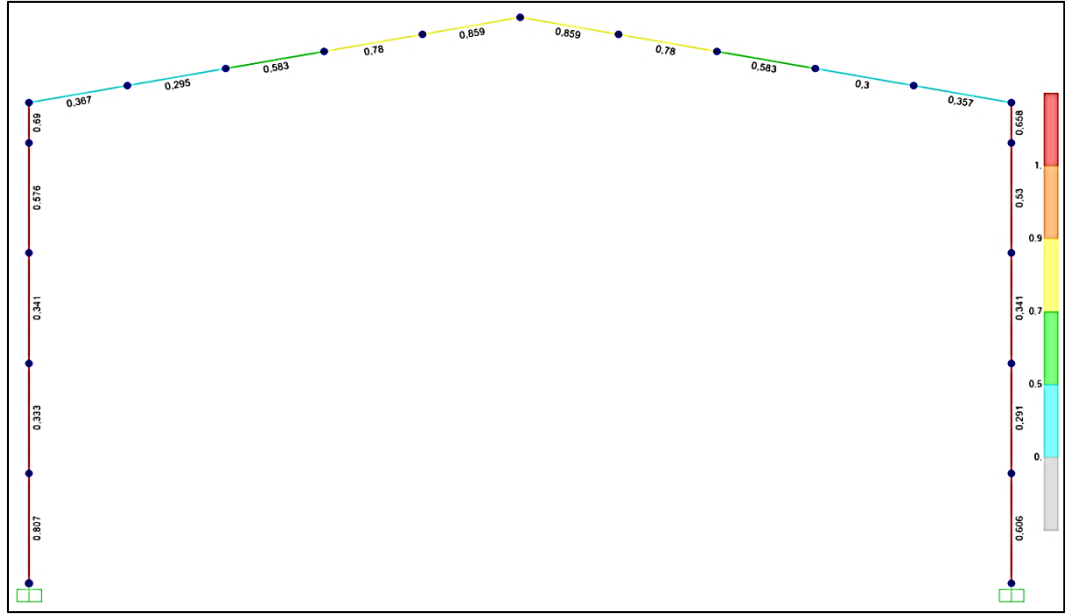
SAP2000 v19.2.0 veri tabanında mevcut olan, ANSI/AISC 360-10 An American National Standard, TÇY 2018’de verilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) kriterlerinin çoğunlukla aynıdır. Bunun için, Şekil 5.9’da gösterildiği gibi AISC 360-10 yönetmeliği kullanılmıştır.



Şekil 5. 9 Yapı tasarımı için yönetmelik tercihleri (YDKT)

### *Taşıyıcı Sistem Tasarım Özeti*

Şekil 5.10 ve Çizelge 5.3’de yapı elemanların tasarım sonuç değerleri verilmektedir.



Şekil 5. 10 Yapı eleman tasarım sonuçları (Tip 1 - YDKT)

Çizelge 5. 3 Yapı elemanların tasarım sonuçlarının değerleri (Tip 1 - YDKT)

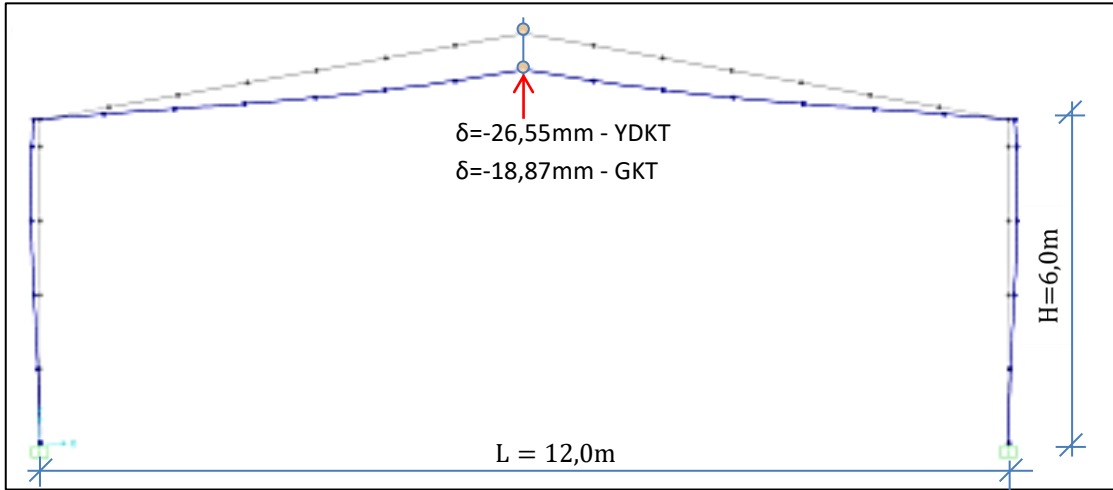
Eleman No	Kesit	Eleman	Kapasite Oranı	Yük Birleşimi
9	HE200A	Kolon	0,690308	(6) 0.9G+1.6W
1	HE200A	Kolon	0,80663	(6) 0.9G+1.6W
3	HE200A	Kolon	0,332662	(6) 0.9G+1.6W
5	HE200A	Kolon	0,340897	(2a) 1.2G+1.6S
7	HE200A	Kolon	0,576269	(6) 0.9G+1.6W
10	HE200A	Kolon	0,658342	(2a) 1.2G+1.6S
2	HE200A	Kolon	0,605626	(4) 1.2G+0.5S+1.6W
4	HE200A	Kolon	0,290908	(5) 1.2G+0.2S+1.0E
6	HE200A	Kolon	0,340897	(2a) 1.2G+1.6S
8	HE200A	Kolon	0,530412	(2a) 1.2G+1.6S
11	IPE360	Kiriş	0,367428	(6) 0.9G+1.6W
13	IPE360	Kiriş	0,295145	(5) 1.2G+0.2S+1.0E
15	IPE360	Kiriş	0,582803	(2a) 1.2G+1.6S
17	IPE360	Kiriş	0,779846	(2a) 1.2G+1.6S
19	IPE360	Kiriş	0,858551	(2a) 1.2G+1.6S
12	IPE360	Kiriş	0,357314	(5) 1.2G+0.2S+1.0E
14	IPE360	Kiriş	0,299753	(6) 0.9G+1.6W
16	IPE360	Kiriş	0,582803	(2a) 1.2G+1.6S
18	IPE360	Kiriş	0,779846	(2a) 1.2G+1.6S
20	IPE360	Kiriş	0,858551	(2a) 1.2G+1.6S

## Taşıyıcı Sistemde Kullanılabilirlik Sınır Durumu Kontrolü

Çelik yapı sistemlerinin kullanılabilirlik sınır durumları için, TÇY 2016§15’de belirtilen kriterler esas alınarak kontrol edilmiştir.

### *Düşey Yer Değiştirme Kontrollü*

TÇY 2018§15.2’deki kriterler temel alınarak, Tip 1 yapısı için düşey yer değiştirme (sehim) kontrolleri doğrulanmıştır. TÇY 2018§15.1’e göre, ölü ve kar yük etkileri gözönünde bulundurularak Şekil 5.11’de düşey yer değiştirme (sehim) değerleri verilmiştir.



Şekil 5. 11 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri (Tip 1)

Çizelge 5.4’te düşey sehim değerlerin kontrollü verilmektedir. Bu tabloya göre, YDKT için sehim değerleri, GKT’ye göre %40,07 oranında artmaktadır.

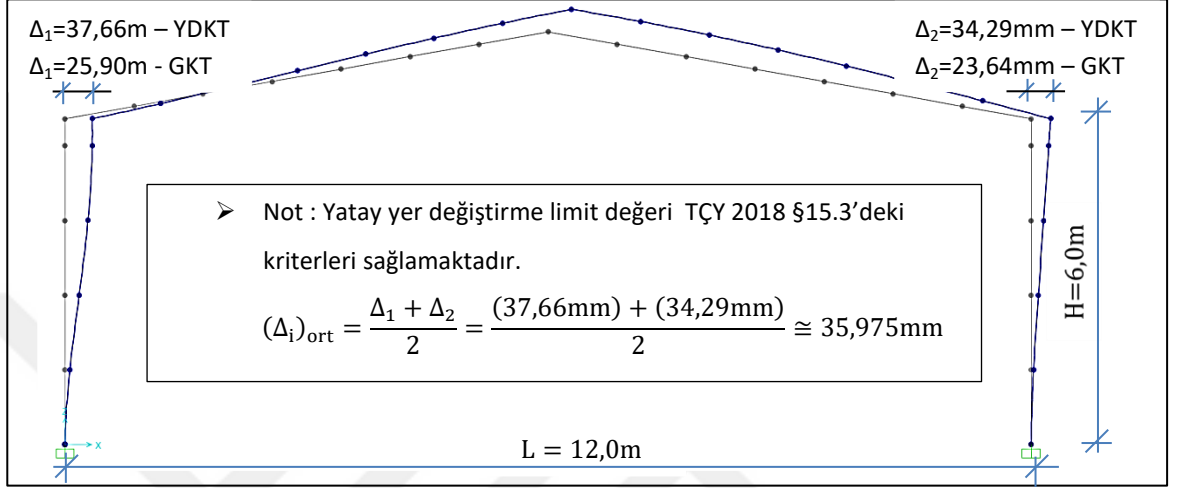
### Çizelge 5. 4 Düşey Yer Değiştirme (Sehim) Kontrollü (Tip 1)

No	Düşey Yer Değiştirme Limit Değerleri		Tasarım Düşey Yer Değiştirme Limit Değerleri		Sehim Kontrolü
			YDKT	GKT	
1	G Limit, L/120	100mm	15,21mm	10,94mm	√
2	G + S Limit, L/120	100mm	37,89mm	26,81mm	√
3	S Limit, L/240	50mm	22,68mm	15,87mm	√
4	Toplam Limit, L/300	40mm	26,55mm	18,87mm	√

G : Ölü Yük  
S : Kar Yüğü  
Toplam Limit : TÇY 2018 §15’1de belirtilen (2) numaralı yük birleşimini ifade etmektedir.

### Yatay Yer Değişirme Kontrollü

TÇY 2018§15.3'e göre, Tip 1 yapısı için yatay yer değiştirme kontrolleri doğrulanmıştır. TÇY 2018§15.1'e göre, ölü ve rüzgâr yük etkileri gözönünde bulundurularak Şekil 5.12'de yatay yer değiştirme (sehim) değerleri verilmiştir.



Şekil 5. 12 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri (Tip 1)

Şekil 5.12'ye göre, GKT yatay yer değiştirme (sehim) limit değerlerini baz alırsak; yatay yer değiştirme (sehim) limit değerleri %45,24 oranında artmaktadır.

### Düşey Titreşim Kontrollü

Yapılarda düşey titreşim kontrollü TÇY 2018§15.4'de düşey hareketli yükler altında titreşim hesaplarının ve konfor kontrollerinin yapılmasını önermektedir.

Titreşim kontrollü için, BS EN 1990-Ek A1.4.4 referans alınmıştır. Yapıda oluşacak titreşimler, kullanıcılara yönelik önemli rahatsızlıkları önlemek için sınırlandırılmıştır.

### Rüzgar Etkisi Altında Konfor Kontrollü

Rüzgar etkisi altında konfor kontrollü, TÇY 2018§15.5'de belirtilen kriterler doğrultusunda, yatay yer değiştirmelere sınırlama getirilerek sağlanmıştır.

Not 1A : Bu çalışmadaki Tip 1 yapısı için, TÇY 2018§15'de belirtilen düşey ve yatay yer değiştirme tipik sapma limitlerini sağlamaktadır.

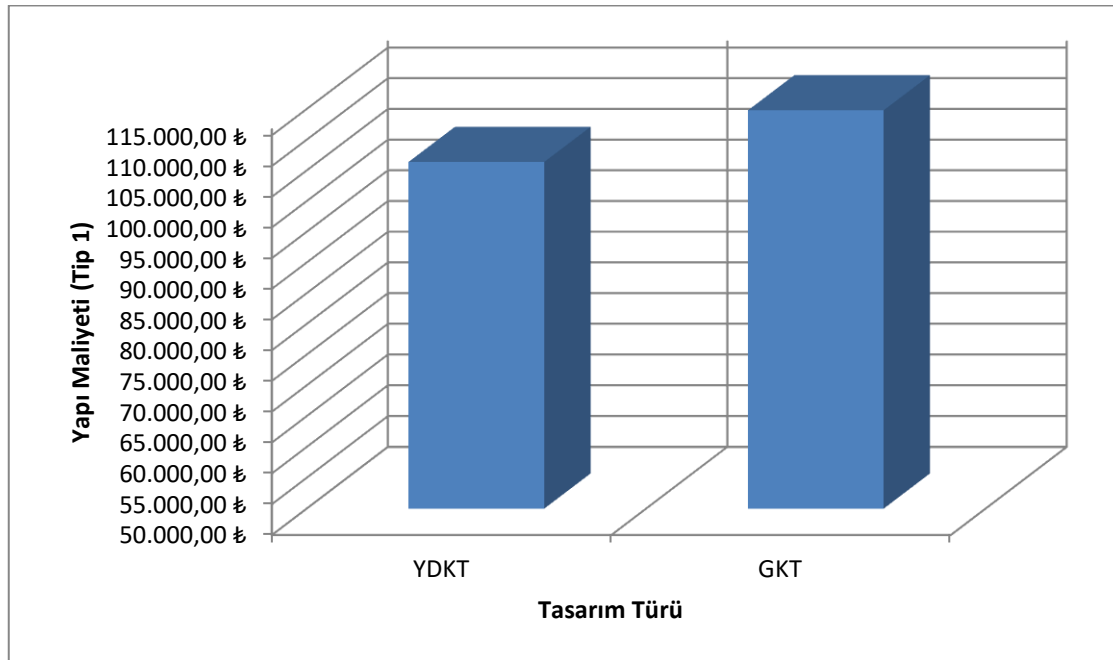
## Tip 1 Yapısı İçin Portal Çerçevenin Maliyeti

Çizelge 5. 5 Tip 1 yapısının tasarım türleri için maliyeti

Tasarım Türü	Kullanım Alanı	Eleman	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Genel Maliyet (TL)
YDKT	Çatı Kaplaması	Poliüretan Sandviç Panel	372,00m <sup>2</sup>	75,45	28 067,40
	Çatı Aşığı	UPN 100	3 816,00kg	2 670,00	10 188,72
	Çerçeve Kirişleri	IPE 360	5 196,10kg	2 670,00	13 873,59
	Çerçeve Kolonları	HEA 200	3 553,20kg	2 670,00	9 487,04
	Çelik Kontriksüyon İşçiliği		13 837,30kg	2 840,00	39 297,93
	Çatı Kaplaması İşçiliği		372,00m <sup>2</sup>	5,50	2 064,60
	<b>Toplam Maliyet</b>				
GKT	Çatı Kaplaması	Poliüretan Sandviç Panel	372,00m <sup>2</sup>	75,45	28 067,40
	Çatı Aşığı	UPN 100	3 816,00kg	2 670,00	10 188,72
	Çerçeve Kirişleri	IPE 400	6 033,30kg	2 670,00	16 108,91
	Çerçeve Kolonları	HEA 220	4 242,00kg	2 670,00	11 326,14
	Çelik Kontriksüyon İşçiliği		15 363,30kg	2 840,00	43 631,77
	Çatı Kaplaması İşçiliği		372,00m <sup>2</sup>	5,50	2 064,60
	<b>Toplam Maliyet</b>				

Çizelge 5.5'te tasarım türleri için verilen maliyetlerde kaynak hesabı ve temel ankrajı, çelik konstrüksiyon işçiliğinin içine dahil edilmiştir.

Grafik 5. 1 Yapı yaklaşık maliyeti (Tip 1)

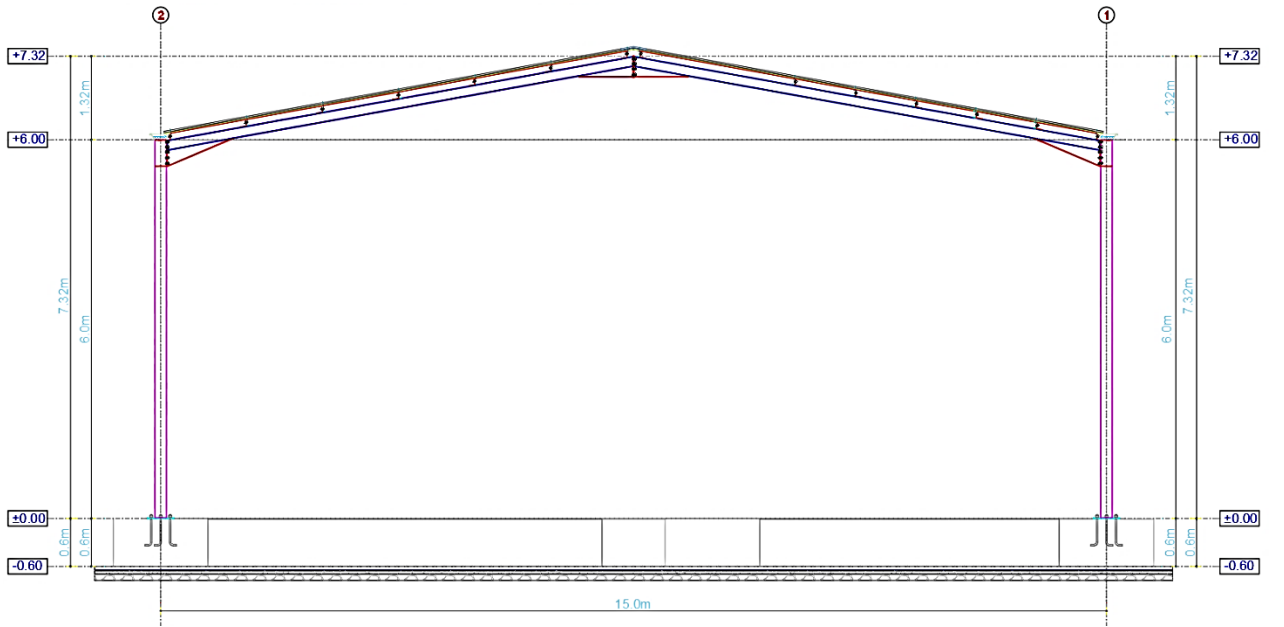


## 5.5. Tip 2 Yapı Sistemi

Tipik tek katlı tek açıklıklı Tip 2 çelik sanayi yapısının düşey ve yatay yükler altında, TBDY 2018 ve TÇY 2018 yönetmelik kriterleri esas alınarak analiz ve tasarım yapılmıştır. Tasarım aşamaları, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için verilmiştir.

### Yapı Bilgisi

Tip 2 yapı sisteminin, aksonometrik görünüşü tipik çerçeve enkesiti Şekil 5.13'te verilmiştir.

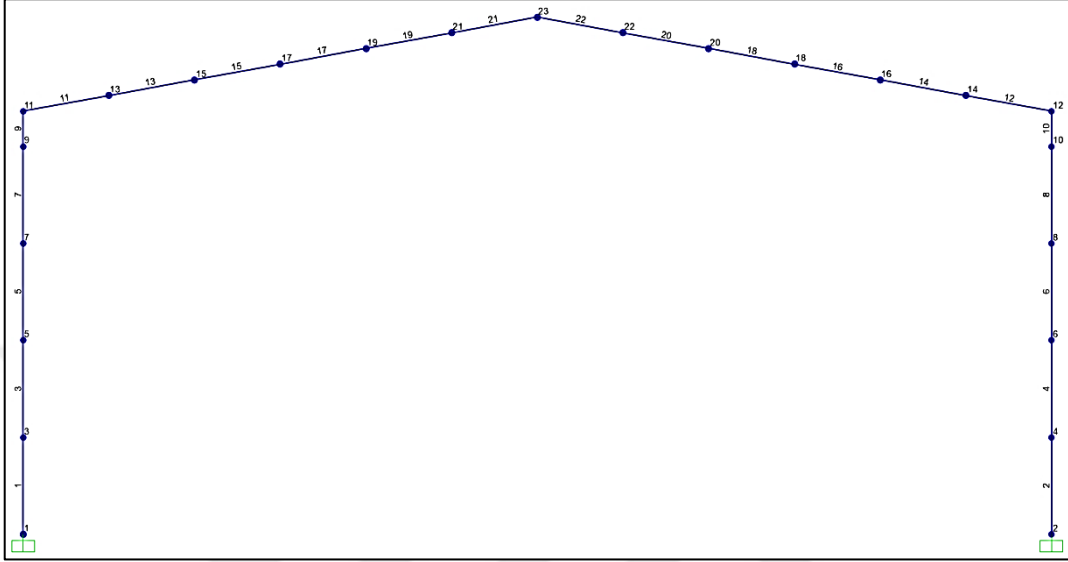


Şekil 5. 13 Tipik Çerçeve Enkesiti (Tip 2)

Yapı çeliği olarak S235 kullanılmıştır. Bu yapı çeliğine ait mekanik özellikler, EN 10025-2 de verilmiştir.

## Kesitlerin Kontrolü

Yönetmelikler esas alınarak Tip 2 yapısı için kesit dayanımları doğrulanmıştır. Şekil 5.14'te yapının eleman bilgileri ve Çizelge 5.6'da eleman koordinat bilgileri verilmiştir.



Şekil 5. 14 Yapı eleman bilgileri (Tip 2)

Çizelge 5. 6 Yapı elemanların koordinat bilgileri (Tip 2)

Eleman No	I	J	Uzunluk	Koordinat X	Koordinat Z
1	1	3	1,375m	1,5m	0,6875m
2	2	4	1,375m	16,5m	0,6875m
3	3	5	1,375m	1,5m	2,0625m
4	4	6	1,375m	16,5m	2,0625m
5	5	7	1,375m	1,5m	3,4375m
6	6	8	1,375m	16,5m	3,4375m
7	7	9	1,375m	1,5m	4,8125m
8	8	10	1,375m	16,5m	4,8125m
9	9	11	0,5m	1,5m	5,75m
10	10	12	0,5m	16,5m	5,75m
11	11	13	1,27m	2,125m	6,11109m
12	12	14	1,27m	15,875m	6,11109m
13	13	15	1,27m	3,375m	6,3333m
14	14	16	1,27m	14,625m	6,3333m
15	15	17	1,27m	4,625m	6,55552m
16	16	18	1,27m	13,375m	6,55552m
17	17	19	1,27m	5,875m	6,77774m
18	18	20	1,27m	12,125m	6,77774m
19	19	21	1,27m	7,125m	6,99997m
20	20	22	1,27m	10,875m	6,99997m
21	21	23	1,27	8,375	7,22219
22	22	23	1,27	9,625	7,22219

## GKT Yöntemi ile Portal Çerçeve Tasarımı

Bu kısımda, Tip 2 yapı sisteminin, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) için yapı elemanlarının gerekli dayanımları doğrulanmıştır.

### *Program Veri Tabanlı Yönetmelik Seçimi*

Bunun Tip 1 yapısı için, Şekil 5.7’de verilen AISC-ASD89 kullanılmıştır.

### *Taşıyıcı Sistem Tasarım Özeti*

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) kriterlerine göre, analiz ve tasarımı yapılan yapının, tasarım sonuçları Çizelge 5.7’de verilmektedir.

Çizelge 5. 7 Yapı elemanların tasarım sonuçların değerleri (Tip 2 - GKT)

Eleman No	Kesit	Eleman	Kapasite Oranı	Yük Birleşimi
11	IPE500	Kiriş	0,664795	(3) G+S
13	IPE500	Kiriş	0,413191	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
15	IPE500	Kiriş	0,650279	(3) G+S
17	IPE500	Kiriş	0,847268	(3) G+S
19	IPE500	Kiriş	0,949564	(3) G+S
21	IPE500	Kiriş	0,964315	(3) G+S
12	IPE500	Kiriş	0,753136	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
14	IPE500	Kiriş	0,358597	(3) G+S
16	IPE500	Kiriş	0,650279	(3) G+S
18	IPE500	Kiriş	0,847268	(3) G+S
20	IPE500	Kiriş	0,949564	(3) G+S
22	IPE500	Kiriş	0,964315	(3) G+S
9	HE260A	Kolon	0,589102	(3) G+S
1	HE260A	Kolon	0,511311	(7) 0.6G+W
3	HE260A	Kolon	0,21162	(7) 0.6G+W
5	HE260A	Kolon	0,333869	(3) G+S
7	HE260A	Kolon	0,521987	(3) G+S
10	HE260A	Kolon	0,662205	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
2	HE260A	Kolon	0,518179	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
4	HE260A	Kolon	0,273587	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
6	HE260A	Kolon	0,341837	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)
8	HE260A	Kolon	0,578096	(6b) G+0.75S+0.75(0.75E)



## YDKT Yöntemi ile Portal Çerçeve Tasarımı

Bu kısımda, Tip 2 yapı sisteminin, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için yapı elemanlarının gerekli dayanımları doğrulanmıştır.

### *Program Veri Tabanlı Yönetmelik Seçimi*

SAP2000 v19.2.0 veri tabanında mevcut olan, ANSI/AISC 360-10 LRD yönetmeliği kullanılmıştır.

### *Taşıyıcı Sistem Tasarım Özeti*

YDKT için, Çizelge 5.8'de yapı eleman tasarım sonuç değerleri verilmektedir.

Çizelge 5. 8 Yapı elemanların tasarım sonuçların değerleri (Tip 2 - YDKT)

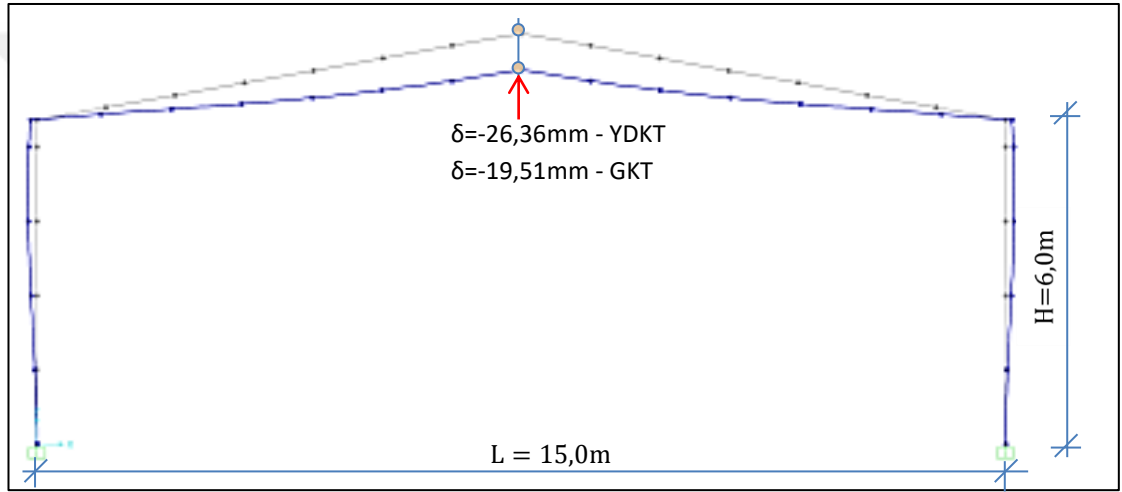
Eleman No	Kesit	Eleman	Kapasite Oranı	Yük Birleşimi
11	IPE450	Kiriş	0,615941	(2a) 1.2G+1.6S
13	IPE450	Kiriş	0,298301	(2a) 1.2G+1.6S
15	IPE450	Kiriş	0,572282	(2a) 1.2G+1.6S
17	IPE450	Kiriş	0,757291	(2a) 1.2G+1.6S
19	IPE450	Kiriş	0,853367	(2a) 1.2G+1.6S
21	IPE450	Kiriş	0,867386	(2a) 1.2G+1.6S
12	IPE450	Kiriş	0,615941	(2a) 1.2G+1.6S
14	IPE450	Kiriş	0,298301	(2a) 1.2G+1.6S
16	IPE450	Kiriş	0,572282	(2a) 1.2G+1.6S
18	IPE450	Kiriş	0,757291	(2a) 1.2G+1.6S
20	IPE450	Kiriş	0,853367	(2a) 1.2G+1.6S
22	IPE450	Kiriş	0,867386	(2a) 1.2G+1.6S
9	HE240A	Kolon	0,61854	(2a) 1.2G+1.6S
1	HE240A	Kolon	0,639803	(6) 0.9G+1.6W
3	HE240A	Kolon	0,269979	(6) 0.9G+1.6W
5	HE240A	Kolon	0,33392	(2a) 1.2G+1.6S
7	HE240A	Kolon	0,543371	(2a) 1.2G+1.6S
10	HE240A	Kolon	0,61854	(2a) 1.2G+1.6S
2	HE240A	Kolon	0,488529	(3) 1.2G+1.6S+0.8W
4	HE240A	Kolon	0,228523	(5) 1.2G+0.2S+1.0E
6	HE240A	Kolon	0,33392	(2a) 1.2G+1.6S
8	HE240A	Kolon	0,543371	(2a) 1.2G+1.6S

## Taşıyıcı Sistemde Kullanılabilirlik Sınır Durumu Kontrolü

Çelik yapı sistemlerinin kullanılabilirlik sınır durumları için, TÇY 2018§15’de belirtilen kriterler esas alınarak kontrol edilmiştir.

### *Düşey Yer Değiştirme Kontrollü*

TÇY 2018§15.2’deki kriterler temel alınarak, Tip 2 yapısı için düşey yer değiştirme (sehim) kontrolleri doğrulanmıştır. TÇY 2018§15.1’e göre, (2) numaralı yük birleşimini için Şekil 5.15’te düşey yer değiştirme (sehim) değerleri verilmiştir.



Şekil 5. 15 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri (Tip 2)

Çizelge 5.9’a göre, GKT düşey yer değiştirme (sehim) limit değerlerini baz alırsak; düşey yer değiştirme (sehim) limit değerleri %35,11 oranında artmaktadır.

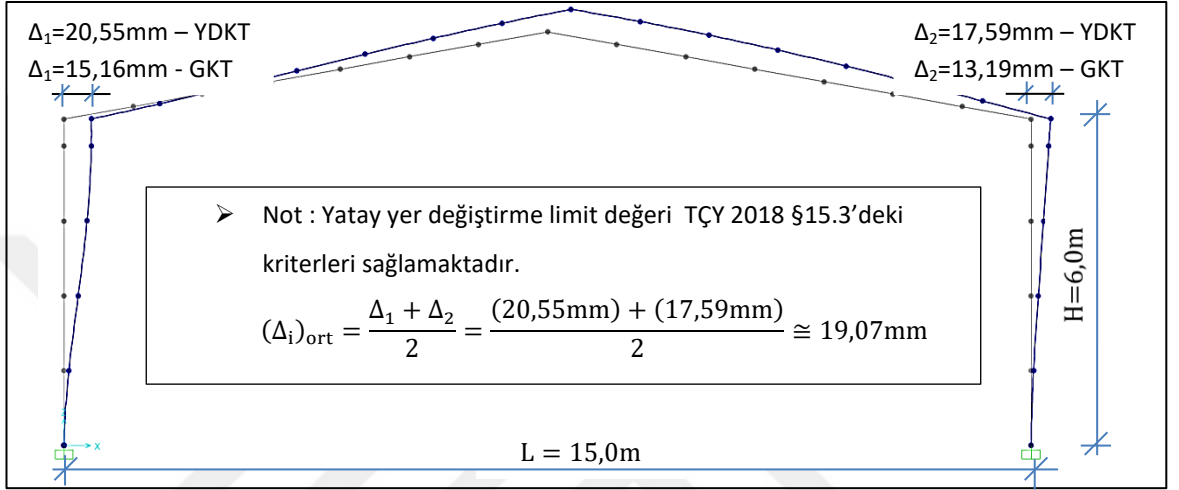
### Çizelge 5. 9 Düşey Yer Değiştirme (Sehim) Kontrollü (Tip 2)

No	Düşey Yer Değiştirme Limit Değerleri		Tasarım Düşey Yer Değiştirme Limit Değerleri		Sehim Kontrolü
			YDKT	GKT	
1	G Limit, L/120	125mm	16,42mm	12,33mm	√
2	G + S Limit, L/120	125mm	36,29mm	26,70mm	√
3	S Limit, L/240	62,5mm	19,87mm	14,37mm	√
4	Toplam Limit, L/300	50mm	26,36mm	19,51mm	√

Toplam Limit : TÇY 2018 § 15’1de belirtilen (2) numaralı yük birleşimini ifade etmektedir.

### Yatay Yer Değiştirme Kontrollü

TÇY 2018§15.3'deki kriterler temel alınarak, Tip 2 yapısı için yatay yer değiştirme (sehim) kontrolleri doğrulanmıştır. TÇY 2018§15.1'e göre, ölü ve rüzgâr yük etkileri esas alınarak (4) numaralı yük birleşimini için Şekil 5.16'da yatay yer değiştirme (sehim) değerleri verilmiştir.



Şekil 5. 16 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri (Tip 2)

Şekil 5.16'ya göre, GKT yatay yer değiştirme (sehim) limit değerlerini baz alırsak; yatay yer değiştirme (sehim) limit değerleri %34,53 oranında artmaktadır.

### Düşey Titreşim Kontrollü

Yapılarda düşey titreşim kontrollü TÇY 2018§15.4'de düşey hareketli yükler altında titreşim hesaplarının ve konfor kontrollerinin yapılmasını önermektedir.

Bu çalışmada düşey titreşim kontrollü, BS EN 1990 - Ek A1.4.4 referans alınmıştır. Yapıda oluşacak titreşimler, kullanıcılara yönelik önemli rahatsızlıkları önlemek için sınırlandırılmıştır.

### Rüzgâr Etkisi Altında Konfor Kontrollü

Rüzgâr etkisi altında konfor kontrollü, TÇY 2018§15.5'e göre, TÇY 2018§15.3'de maksimum yatay yer değiştirmelere sınırlama getirilerek sağlanmıştır.

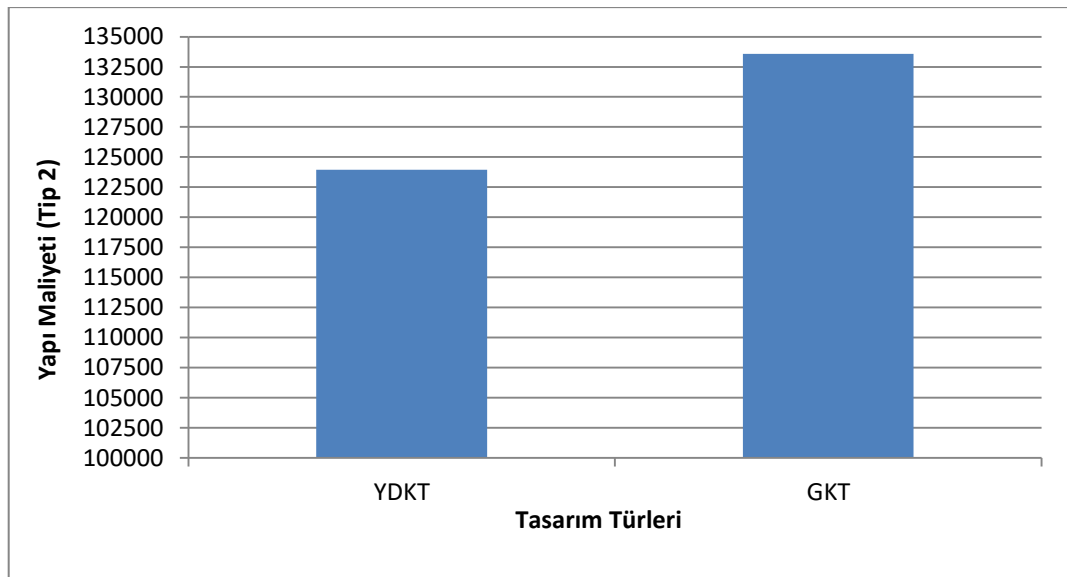
## Tip 2 Yapısı İçin Portal Çerçevenin Maliyeti

Çizelge 5.10'da tasarım türleri için verilen maliyetlerde; kaynak hesabı ve temel ankrajı, çelik konstrüksiyon işçiliğinin içine dahil edilmiştir.

Çizelge 5. 10 Tip 2 yapısının tasarım türleri için maliyeti

Tasarım Türü	Kullanım Alanı	Eleman	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Genel Maliyet (TL)
YDKT	Çatı Kaplaması	Poliüretan Sandviç Panel	457,20m <sup>2</sup>	75,45	34 495,74
	Çatı Aşığı	UPN 100	4 452,00kg	2 670,00	11 886,84
	Çerçeve Kirişleri	IPE 450	6 984,00kg	2 670,00	18 647,28
	Çerçeve Kolonları	HEA 240	4 341,60kg	2 670,00	11 592,07
	Çelik Kontrüksiyon İşçiliği		15 777,60kg	2 840,00	44 808,38
	Çatı Kaplaması İşçiliği		457,20m <sup>2</sup>	5,50	2 514,60
	<b>Toplam Maliyet</b>				
GKT	Çatı Kaplaması	Poliüretan Sandviç Panel	457,20m <sup>2</sup>	75,45	34 495,74
	Çatı Aşığı	UPN 100	4 452,00kg	2 670,00	11 886,84
	Çerçeve Kirişleri	IPE 500	8 163,00kg	2 670,00	21 795,21
	Çerçeve Kolonları	HEA 260	4 910,40kg	2 670,00	13 110,77
	Çelik Kontrüksiyon İşçiliği		17 525,00kg	2 840,00	49 771,00
	Çatı Kaplaması İşçiliği		457,20m <sup>2</sup>	5,50	2 514,60
	<b>Toplam Maliyet</b>				

Grafik 5. 2 Yapı yaklaşık maliyeti (Tip 1)

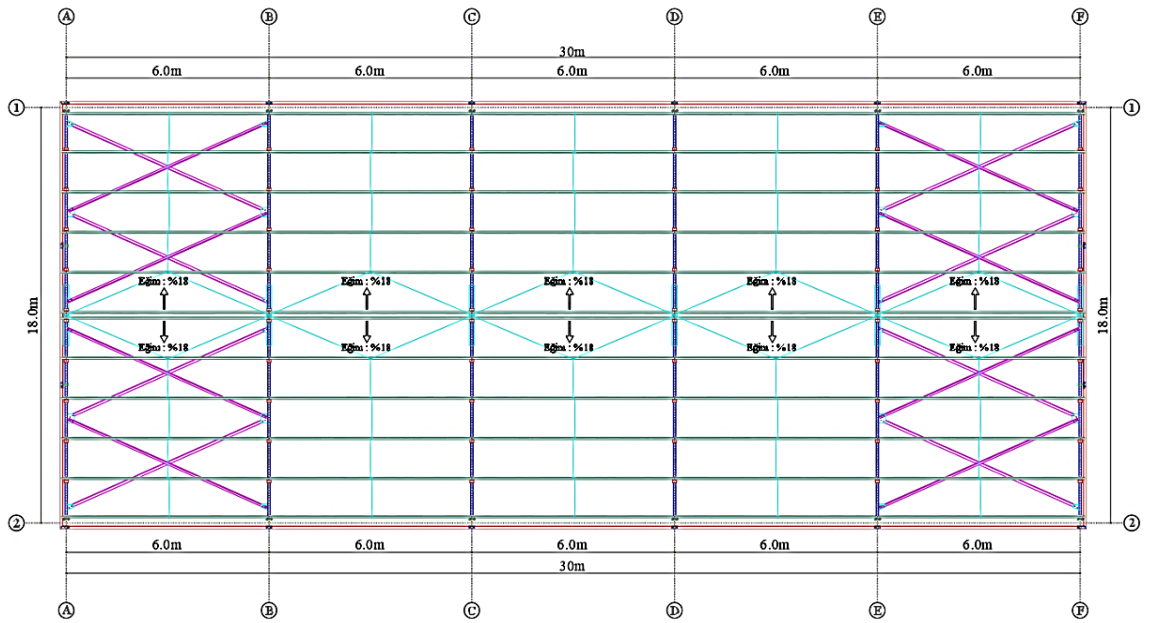


## 5.6. Tip 3 Yapı Sistemi

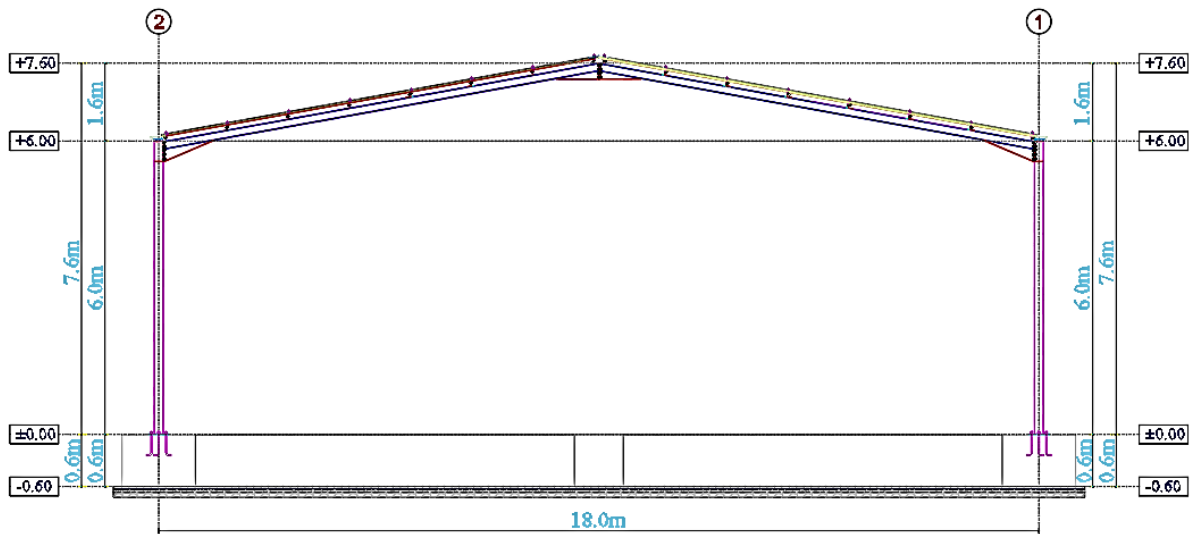
Tipik tek katlı tek açıklıklı Tip 3 çelik sanayi yapısının düşey ve yatay yükler altında, TBDY 2018 ve TÇY 2018 yönetmelik kriterleri esas alınarak analiz ve tasarım yapılmıştır. Tasarım aşamaları, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için verilmiştir [17].

### 5.6.1. Yapı Bilgisi

Yapı sisteminin, çatı sistem planı Şekil 5.17 ve çerçeve enkesiti Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.17 Çatı Sistem Planı (Tip 3)



Şekil 5.18 Tipik Çerçeve Enkesiti (Tip 3)

### 5.6.2. GKT Yöntemi ile Tip 3 Portal Çerçeve Tasarımı

Bu kısımda, Tip 3 portal çerçeveli yapısının Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) için, yapı elemanlarının gerekli dayanımları doğrulanmıştır.

Yapının analizi için, SAP2000 v19.2.0 programı kullanıldı. Taşıyıcı sistem tasarımı için, en elverişsiz yük durumları dikkate alınmıştır.

#### Ön Boyutlandırma

Taşıyıcı sistem elemanların ön boyutlandırması için, SAP 2000 v19.2.1 statik programı kullanıldı. Taşıyıcı sisteme etki eden düşey yüke bağlı olarak kesitler belirlenmiştir (Kiriş: IPE 550 ve Kolon: HEA 280).

#### Analiz Yönteminin Belirlenmesi

EN 1993-1-1§5.2.1(3)'e göre; birinci mertebeden analizin kullanılabilmesi için, aşağıdaki kriterlerin yerine getirilmesi gerekmektedir [17]. Bu kriterler:

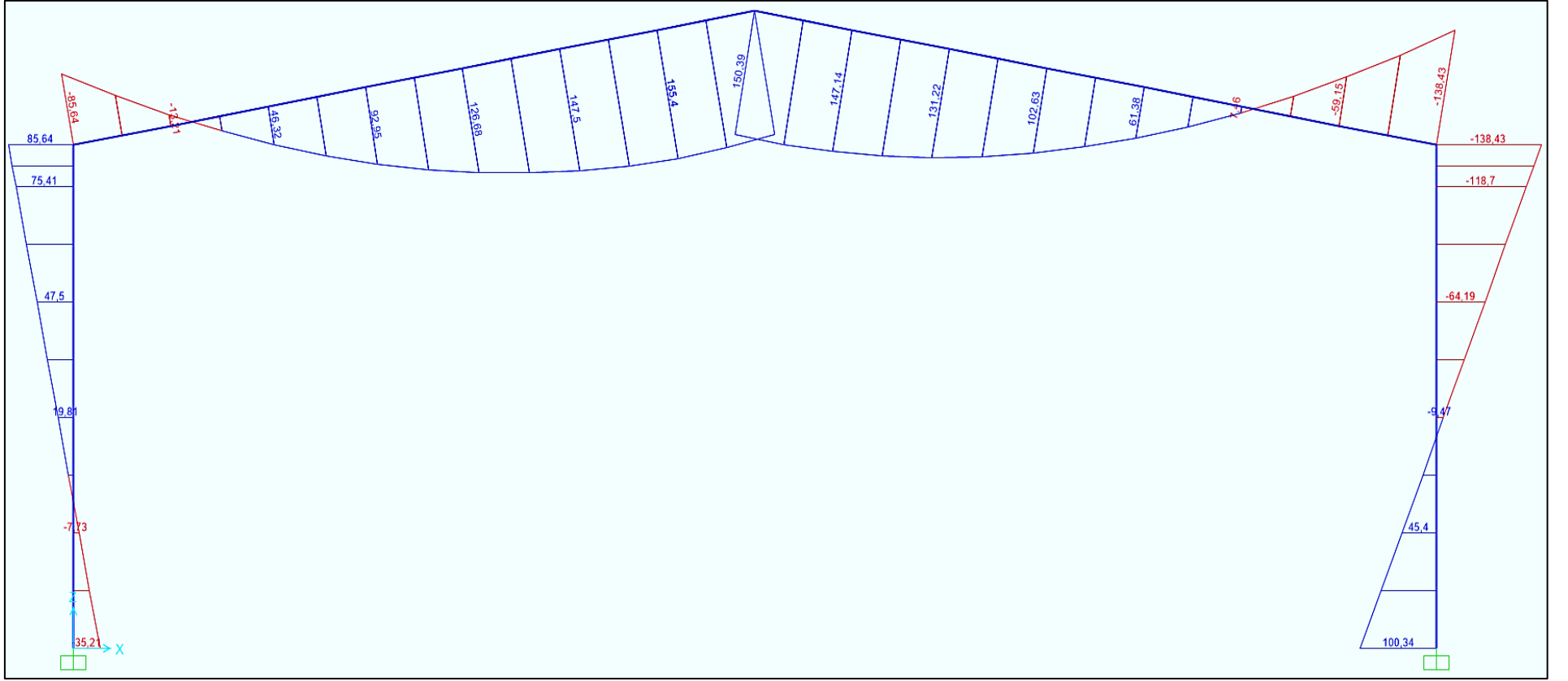
$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} = \frac{1277,26\text{kN}}{95,15\text{kN}} \cong 13,42 \geq 10 \text{ ise elastik analiz} \quad (5.5)$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15 \text{ ise plastik analiz yöntemi kullanılır.} \quad (5.6)$$

EN 1993-1-1§5.2.1(2)'ye göre, ikinci mertebeden etkilerin, yapısal davranışı önemli derecede değiştirdiği takdirde düşünülmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu nedenle,  $15 > \alpha_{cr} \cong 13,42 \geq 10$  olduğundan; birinci dereceden analiz yöntemi kullanılmıştır. İkinci dereceden etkiler ihmal edilmiştir.

#### Kesitlerin Kontrolü

Yönetmelikler esas alınarak Tip 3 yapısı için kesit dayanımları doğrulanmıştır. Bu bölüm, çerçeve elemanların kesit dayanım kontrollerinin özetini sunar.

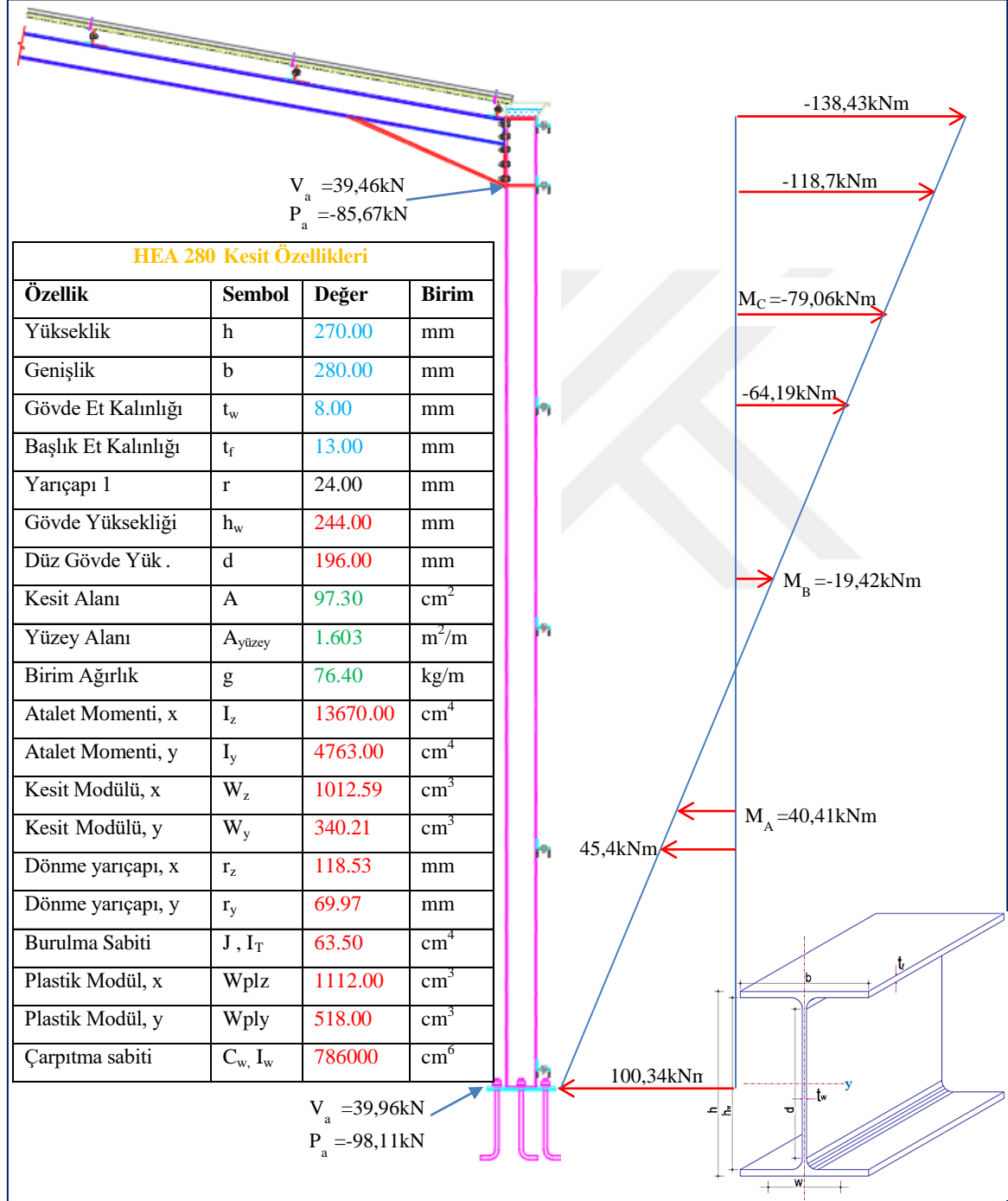


Şekil 5. 19 Elverişsiz yük birleşimlerinde elde edilen moment diyagramı

Portal çerçevenin analizi için; SAP 2000 v19.2.1 programı kullandı. En elverişsiz yük birleşimlerinde elde edilen moment diyagramı Şekil 5.19'da verilmiştir. Ayrıca, tüm elemanlarda oluşan iç kuvvetler EK 4A Çizelge 4A.1'de verilmiştir.

## Portal Çerçeve Kolonlarının Tasarımı

Taşıyıcı sistem analizinde; en elverişsiz yük birleşimi için portal çerçeve kolonundaki iç kuvvetler ve kesit özellikleri Şekil 5.20’de verilmektedir.

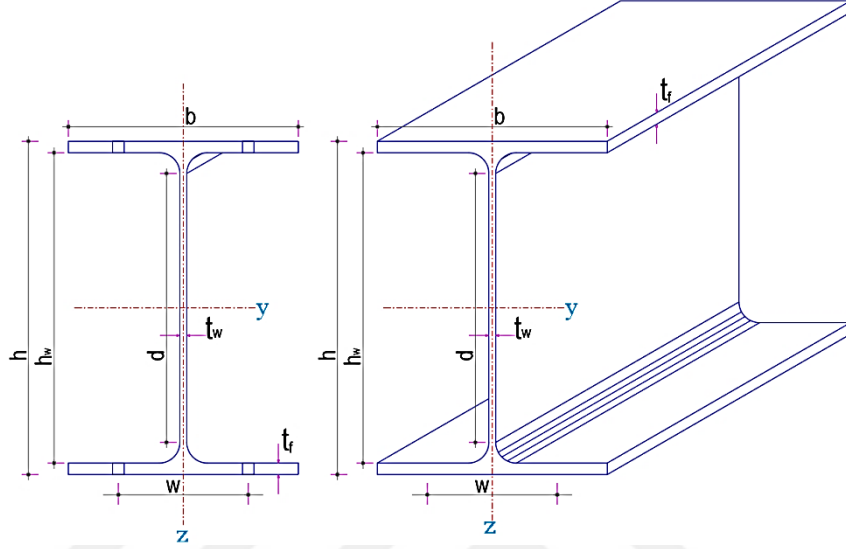


Şekil 5. 20 Kolon kesit özellikleri ve iç kuvvetler (Tip 3 - GKT)



### Kesit Sınıflaması

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TÇY 2018) bölüm 5.4’de tanımlanan enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı, Tablo 5.1A ve Tablo 5.1B’de belirtilen kriterler doğrultusunda kontrol edilmiştir.



Şekil 5.21 Profil Kesit Detayı

### Gövde Parçası

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{196\text{mm}}{8,00\text{mm}} \cong 24,5 \leq \lambda_r = 1,49 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 44,47 \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 5})$$

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{196\text{mm}}{8,00\text{mm}} \cong 24,5 \leq \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 112,4 \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 15})$$

### Başlık Parçası

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{280\text{mm}}{2 \times 26,0\text{mm}} \cong 10,77 \leq \lambda_r = 0,56 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 16,74 \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 1})$$

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{280\text{mm}}{2 \times 26,0\text{mm}} \cong 10,77 \leq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 11,236 \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 10})$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından narin olmayan enkesit ve Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit kompakt olarak değerlendirilir.

### Kesitin Dayanımı

Kolon kesit dayanımı, iç kuvvetlere bağlı olarak TBDY 2018 ve TÇY 2018’de verilen kriterler esas alınarak doğrulanmıştır.

### Kesme Kuvveti Dayanımı

TÇY-2018§10’da verilen ilgili koşullar esas alınarak kesitin kesme kuvveti dayanım kontrollü yapılmıştır.

Çekme alanı katkısı dikkate alınmadığında, TÇY-2018§10.2.1’e verilen esaslar baz alınarak karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$  , Denk.(5.7) ile hesaplanmıştır.

$$V_n = 0,6F_y A_w C_{v1} \quad (5.7)$$

TÇY-2016§10.2.1(a)’ya göre; I-enkesitli hadde profilleri için,

$$\frac{d}{t_w} = \frac{196\text{mm}}{8,00\text{mm}} \cong 24,5 \leq 2,24x \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24x \sqrt{\frac{210000\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 66,96 \checkmark$$

$$\Omega_v = 1,50 \text{ (GKT)} \quad \text{ve} \quad C_{v1} = 1,0 \text{ alınmıştır.}$$

TÇY-2016§10.2.1(b)’ye göre, gövdede düşey ara rijitlik levhalarının kullanılmadığı durum için,  $C_{v1}$  katsayısı Denk.(5.8) ile kontrol edilmiştir.

$$\frac{d}{t_w} \cong 24,5 \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34x(2x10^5\text{N/mm}^2)}{235\text{N/mm}^2}} \cong 75,99 \text{ için; } C_{v1} = 1,0 \checkmark \quad (5.8)$$

Buna göre;

$$\text{Gövde Alanı : } A_w = dt_w = 196\text{mm}x8,00\text{mm} = 1568\text{mm}^2$$

$$V_n = 0,6F_y A_w C_{v1} = 0,6x(235\text{N/mm}^2)x(1568\text{mm}^2)x1,0x10^{-3} \cong 221,09\text{kN}$$

$$V_a \cong 39,96\text{kN} \leq V_g = \frac{V_n}{\Omega_v} = \frac{221,09\text{kN}}{1,50} = 147,39\text{kN} \quad \checkmark$$

### Eğilme ve Kesme Etkileşimi

EN 1993-1-1§6.2.8’de; kesme kuvveti ve eğilme momenti bir kesit üzerinde aynı anda etkiğinde, kesme kuvveti, plastik makaslama direncinin %50'sinden daha küçükse, ihmal edilebileceğini belirtmektedir.

$$V_a = 39,396\text{kN} < 0,5xV_g = 0,5x1147,39\text{kN} \cong 73,695\text{kN} \quad (5.9)$$

Bu nedenle; kesme kuvvetinin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

### Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı TÇY 2018§8’de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmıştır.

### Kolon Burkulma Boyunun Belirlenmesi

Burkulma boyu yöntemi ile tasarım yapıldığında, burkulma boyu TÇY-2018§6.4’de verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

TÇY-2018§6.4.3(2)’de belirtilen, yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş moment aktaran çerçevelerde burkulma boyu katsayısı, K, kolonun üst ve alt uçlarında Denk.(5.10) ile belirlenen  $G_A$  ve  $G_B$  büyüklüklerine bağlı olarak, Denk.(5.11) ve Şekil 5.22’de verilen nomogramdan yararlanarak hesaplanmıştır.

$$G = \frac{\sum(E_c I_c / L_c)}{\sum(E_g I_g / L_g)} \quad (5.10)$$

$$K = \sqrt{\frac{G_A(1,6G_B + 4,0) + (4G_B + 7,5)}{G_A + G_B + 7,5}} \quad (5.11)$$

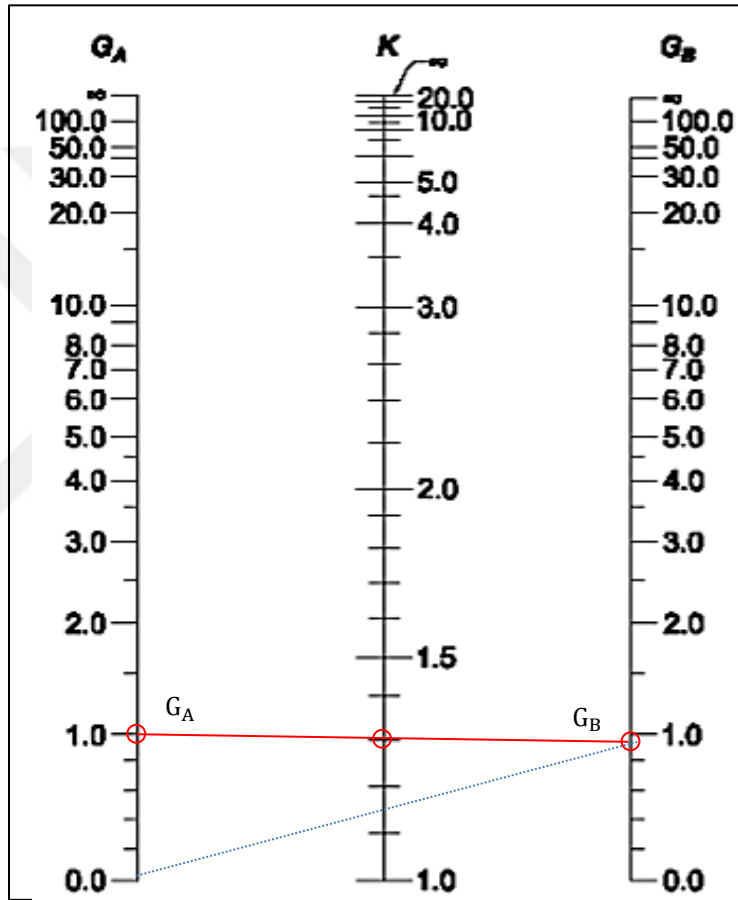
$G_A$  ve  $G_B$  büyüklükleri, kolonların ve kirişlerin sınır koşullarına bağlıdır. Bu sınır koşullar, aşağıda verilmiştir.

Kolon temele ankastre bağlandığında, alt uçta  $G_A = 0$  olur. Ancak, TÇY-2018§6.4.3(b) de kolonun temele bağlantısının rijit olması halinde, temel dönmesinin sıfıra eşit olduğu kanıtlanmadığı sürece,  $G_A = 1$  olarak alınabileceğini belirtmektedir.

Yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş portal çerçeve kirişinin, diğer ucu ankastre olduğundan, kirişin  $(E_g I_g / L_g)$  eğilme rijitliği 2/3 oranında azaltılmıştır. Buna göre;

$$G_B = \frac{(2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2) \times (13670 \times 10^4 \text{ mm}^2) / 6000 \text{ mm}}{(2/3) \times (2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2) \times (33740 \times 10^4 \text{ mm}^2) / 9000 \text{ mm}} \cong 0,912$$

$$K = \sqrt{\frac{1,0 \times (1,6 \times 0,912 + 4,0) + (4 \times 0,912 + 7,5)}{1,0 + 0,912 + 7,5}} \cong 1,328$$



Şekil 5. 22 Tip 3 için kolon burkulma boyu katsayısı (GKT)

Kolon burkulma boyu,  $L_c = KL \cong 1,328 \times 6000 \text{ mm} = 7968 \text{ mm}$  olur.

TÇY-2018§8.1.1'e göre; burkulma boyu kullanılarak hesaplanan narinlik oranı, aşağıda verilen şartı sağlamalıdır.

$$\frac{L_c}{i_y} = \frac{7968 \text{ mm}}{118,53 \text{ mm}} \cong 67,22 \leq 200 \sqrt{\quad}$$

### *Kolon Tasarım Esasının Belirlenmesi*

Karakteristik aksenal basınç kuvveti, TÇY-2018§8.2’de verilen, Tablo 5.1A ya göre aksenal basınç kuvveti altındaki narin olmayan enkesitli (narin enkesit parçası içermeyen elemanlardan oluşan) elemanlar için,  $P_n$ , Denk.(5.12) ile hesaplanmıştır.

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (5.12)$$

Burada, kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , Denk.(5.13) ile doğrulanmıştır.

$$\frac{L_c}{i_y} \cong 67,22 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71x \sqrt{\frac{2,1x10^5 N/mm^2}{235 N/mm^2}} \cong 140,8 \quad \checkmark \quad (5.13)$$

Eğilmeli burkulma sınır durumu için, elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ , Denk.(5.14) ile hesaplanmıştır.

$$F_e = \frac{E\pi^2}{\left(\frac{L_c}{i_y}\right)^2} = \frac{(2,1x10^5 N/mm^2)\pi^2}{\left(\frac{7968 mm}{118,53 mm}\right)^2} \cong 458,65/mm^2 \quad (5.14)$$

$$F_{cr} = \left[0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0,658^{\frac{235}{458,65}}\right] x (235 N/mm^2) \cong 189,64 N/mm^2 \quad (5.15)$$

Buna göre;

$$P_n = F_{cr}A_g = 189,64 N/mm^2 x 9730 mm^2 x 10^{-3} = 1845,2 kN$$

$$P_g = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{1845,2 kN}{1,67} \cong 1104,91 kN \quad \text{ve} \quad P_r \cong -98,11 kN \leq P_g \cong 1104,91 kN \quad \checkmark$$

### *Eğilme ve Aksenal Kuvvet Etkileşimi*

EN 1993-1-1§6.2.9’a göre; aksenal kuvvet ve eğilme momenti bir kesit üzerinde aynı anda etkiğinde, aşağıdaki iki şartın sağlanması durumunda aksenal kuvvetin göz ardı edilebileğini belirtmektedir.

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad \text{ve} \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{şeklinde ifade edilmektedir.}$$

$$0,25N_{pl,Rd} = 0,25F_y A = 0,25 \times (9730 \text{ mm}^2) \times (235 \text{ N/mm}^2) \times 10^{-3} \cong 571,64 \text{ kN} \quad (5.16)$$

$$\frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times (244 \text{ mm}) \times (8,00 \text{ mm}) \times (235 \text{ N/mm}^2)}{1,0} \times 10^{-3} \cong 229,36 \text{ kN} \quad (5.17)$$

$$N_{Ed} \cong -98,11 \text{ kN} \leq \frac{0,5h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \cong 229,36 \text{ kN} \quad \text{koşulunu sağlamaktadır.}$$

Bu nedenle aksenal kuvvetin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir.

### Eğilme Momenti Dayanımı

Kuvvetli asal eksenini etrafında eğilme etkisindeki, TÇY 2018§5.4 Tablo 5.1B'e göre, I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , akma sınır durumu için, TÇY-2018§9.2'de verilen Denk.(5.18) ile belirlenmiştir.

$$M_n = F_y W_{plx} = (235 \text{ N/mm}^2) \times (1112 \times 10^3 \text{ mm}^3) \times 10^{-6} \cong 261,32 \text{ kNm} \quad (5.18)$$

### Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumunun Belirlenmesi

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu için, TÇY 2018§9.2.2'de verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

Kolon basınç başlıklarının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğu,  $L_b = 6000 \text{ mm}$  olarak öngörüldü.

Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk, TÇY 2018§9.2.2 Denk.(5.19) ile belirlenmiştir.

$$L_p = 1,76i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 69,97 \text{ mm} \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2}{235 \text{ N/mm}^2}} \cong 3681 \text{ mm} \quad (5.19)$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınır uzunluk, TÇY 2018§9.2.2 Denk.(5.20) ile belirlenmiştir.

$$L_r = 1,95i_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex}h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex}h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \quad (5.20)$$

Denk. (5.20) için, c katsayısı ve etkin atalet yarıçapı,  $i_{ts}$ , Denk.(5.21) ve Denk.(5.22) ile belirlenmiştir.

$$c = 1,0 \quad (5.21)$$

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ex}} = \frac{\sqrt{(4763,00\text{cm}^4) * (786000\text{cm}^6)}}{1012,59\text{cm}^3} \cong 60,4252\text{cm}^2 \quad (5.22)$$

$$i_{ts} \cong 77,734\text{mm} \quad \text{ve} \quad h_0 = h - t_f = 270\text{mm} - 13,00\text{mm} = 257,00\text{mm} \text{ olur.}$$

$$\frac{J_c}{W_{ex} h_0} = \frac{(63,5 \times 10^4 \text{mm}^3) * (1,0)}{(1012,59 \times 10^3 \text{mm}^3) * (257\text{mm})} \cong 0,00244$$

$$6,76 \left( \frac{0,7F_y}{E} \right)^2 = 6,76 * \left( \frac{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2}{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2} \right)^2 \cong 0,000004148$$

$$1,95 i_{ts} \frac{E}{0,7F_y} = 1,95 * (77,734\text{mm}) * \left( \frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2} \right) \cong 193508,04\text{mm}$$

$$L_r = (193508,04\text{mm}) * \sqrt{\frac{2,44}{10^3} + \sqrt{\left( \frac{2,44}{10^3} \right)^2 + \frac{4,148}{10^6}}} \cong 14504\text{mm}$$

$L_p \cong 3681\text{mm} < L_b = 6000\text{mm} \leq L_r \cong 14504\text{mm}$  olduğu için, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , TÇY 2018§9.2.2(b) Denk.(5.23) doğrulanmıştır.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7F_y W_{ex}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p = F_y W_{plx} \quad (5.23)$$

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$ , TÇY 2018§9.1(c) maddesi uyarınca, Denk.(5.24) ile belirlenmiştir.

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (5.24)$$

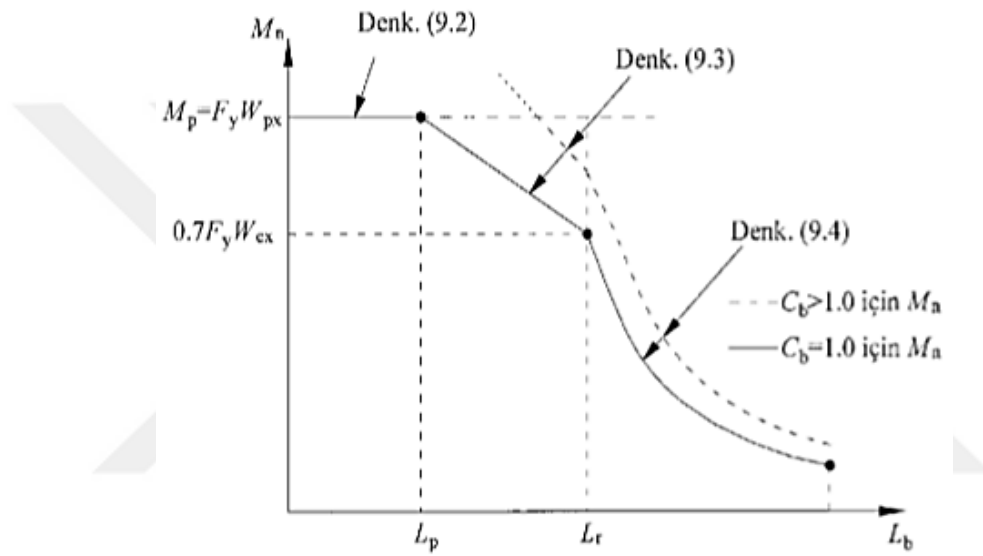
$$C_b = \frac{12,5 \times 138,43\text{kNm}}{2,5 \times 138,43\text{kNm} + 3 \times 40,41\text{kNm} + 4 \times 19,42\text{kNm} + 3 \times 79,06\text{kNm}} \cong 2,21$$

$$M_n = 2,21 \left[ 261,32 - \left( 261,32 - \frac{0,7 \times 235 \times 1012590}{10^6} \right) \left( \frac{2319}{10823} \right) \right] \cong 532,65\text{kNm}$$

$M_n \cong 532,65\text{kNm} > M_p \cong 261,32\text{kNm}$  olduğundan dolayı, yanal burulmalı burkulma sınır durumu için, karakteristik moment dayanımı,  $M_n \cong 261,32\text{kNm}$  olarak gözönüne alınmıştır.

$$M_{ry} = 138,43\text{kNm} \leq M_{cx} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{261,32\text{kNm}}{1,67} \cong 156,48\text{kNm}$$

Kesit üzerine etki eden gerekli eğilme momenti,  $M_{ry}$ , güvenli eğilme momenti dayanımında küçük kalmıştır. Seçilen kesit eğilme momenti açısından uygundur.



Şekil 5.23  $L_b$ 'ye bağlı olarak karakteristik eğilme momenti

### Bileşik Etkiler Etkisinde Portal Çerçeve Kolonun Tasarımı

#### *Eğilme ve Basınç Etkisi*

Eğilme ve basınç etkisi için, düzlem dışı bükülme etkileşimi, TÇY 2018§11.1.1 Denk.(5.25) ile doğrulanmıştır.

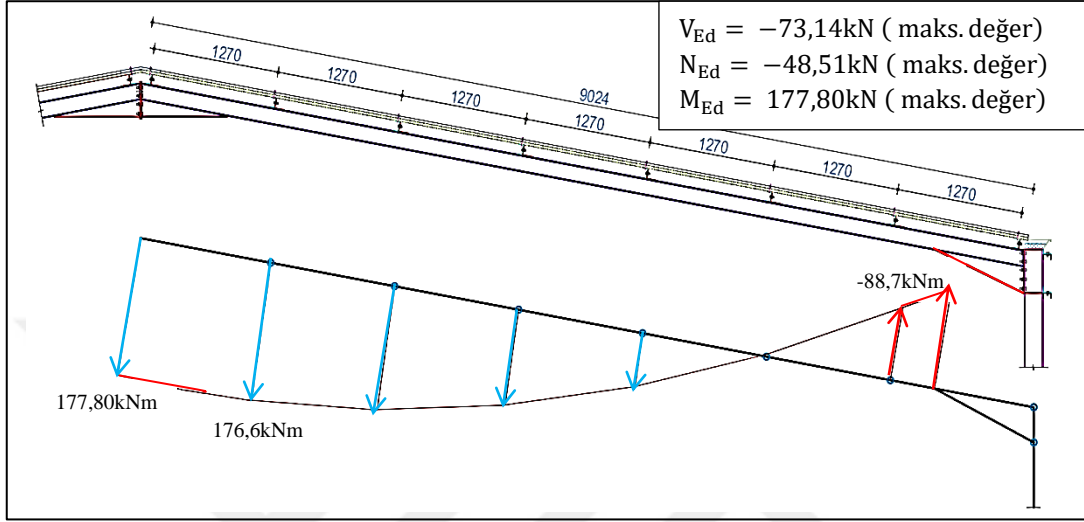
$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_g}{P_d} \cong \frac{98,11\text{kN}}{1104,91\text{kN}} \cong 0,088794562 < 0,2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \cong \frac{98,11\text{kN}}{2 \times 1104,91\text{kN}} + \frac{138,43\text{kNm}}{156,48\text{kNm}} \cong 0,92905 \leq 1,0 \quad (5.25)$$

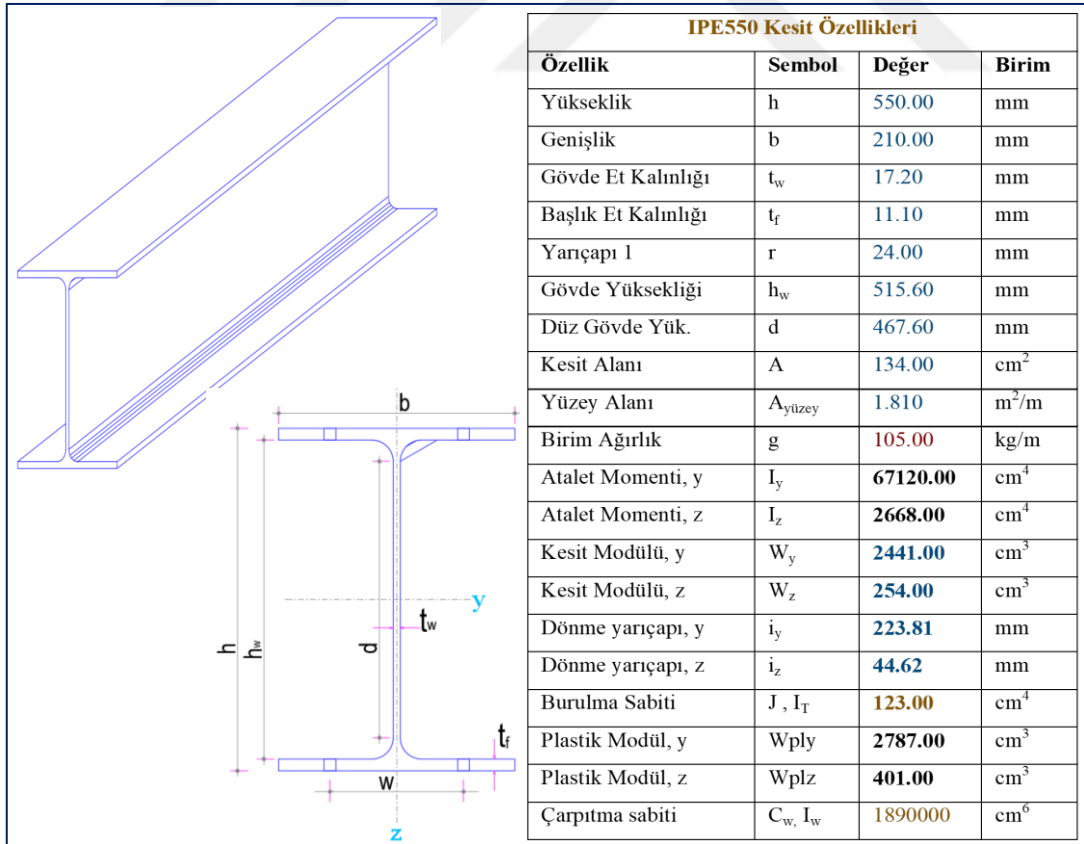


## Portal Çerçeve Kirişlerin Tasarımı

Taşıyıcı sistem analizinde; en elverişsiz yük birleşimi için portal çerçeve kirişindeki iç kuvvetler Şekil 5.24 ve kesit özellikleri Şekil 5.25’de verilmektedir.



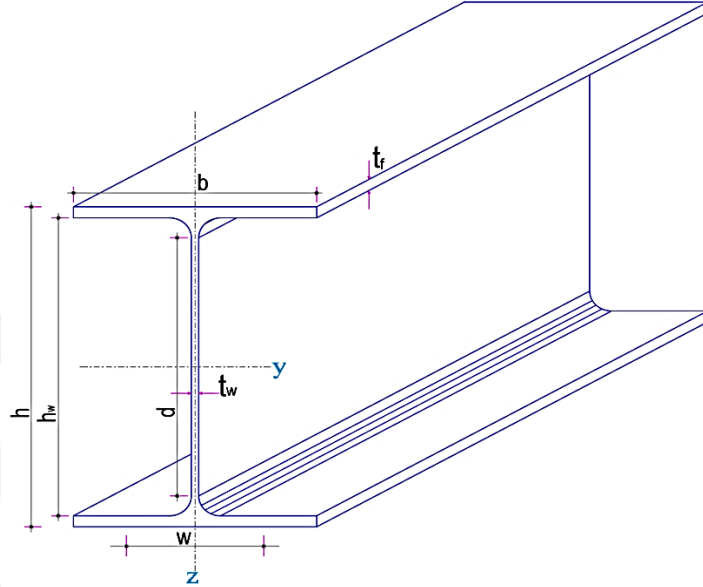
Şekil 5. 24 Çerçeve Kirişi Moment Diyagramı (Tip 3 - GKT)



Şekil 5. 25 Portal çerçeve kirişi kesit özellikleri ve detayı (Tip 3 - GKT)

### *Kesit Sınıflaması*

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TÇY 2018) bölüm 5.4’de tanımlanan enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı, Tablo 5.1A ve Tablo 5.1B’de belirtilen kriterler doğrultusunda kontrol edilmiştir.



Şekil 5. 26 Profil Kesit Detayı

### *Gövde Parçası*

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{467,6\text{mm}}{11,1\text{mm}} \cong 42,1 \leq \lambda_r = 1,49 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 43,47 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 5})$$
$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{467,6\text{mm}}{11,1\text{mm}} \cong 42,1 \leq \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 110 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 15})$$

### *Başlık Parçası*

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{210\text{mm}}{34,4\text{mm}} \cong 6,1 \leq \lambda_r = 0,56 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 16,34 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 1})$$
$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{210\text{mm}}{34,4\text{mm}} \cong 6,1 \leq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 11,1 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 10})$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından narin olmayan enkesit ve Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit kompakt olarak değerlendirilir.

### Kesitin Dayanımı

Kiriş kesit dayanımı, TÇY 2018’da verilen kriterler esas alınarak doğrulanmıştır.

### Kesme Kuvveti Dayanımı

Çekme alanı katkısı dikkate alınmadığında, TÇY 2018§10.2.1’e verilen esaslar baz alınarak karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ , Denk.(5.26) ile hesaplanmıştır.

$$V_n = 0,6F_y A_w C_{v1} \quad (5.26)$$

TÇY 2018§10.2.1(a)’ya göre; I-enkesitli hadde profilleri için,

$$\frac{d}{t_w} = \frac{467,60\text{mm}}{11,10\text{mm}} \cong 42,13 \leq 2,24x \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24x \sqrt{\frac{210000\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 66,96 \checkmark$$

$$\Omega_v = 1,50 \text{ (GKT)} \quad \text{ve} \quad C_{v1} = 1,0 \text{ alınmıştır.}$$

TÇY 2018§10.2.1(b)’ye göre, gövdede düşey ara rijitlik levhalarının kullanılmadığında;

$$\frac{d}{t_w} \cong 42,13 \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34x(2x10^5\text{N/mm}^2)}{235\text{N/mm}^2}} \cong 75,99 \text{ için; } C_{v1} = 1,0 \checkmark$$

Buna göre;

$$\text{Gövde Alanı : } A_w = dt_w = 467,60\text{mm}x11,10\text{mm} = 5190,36\text{mm}^2$$

$$V_n = 0,6F_y A_w C_{v1} = 0,6x(235\text{N/mm}^2)x(5190,36\text{mm}^2)x1,0x10^{-3} \cong 731,8\text{kN}$$

$$V_{Ed} \cong -73,14\text{kN} \leq V_g = \frac{V_n}{\Omega_v} = \frac{731,8\text{kN}}{1,50} = 487,87\text{kN} \quad \checkmark$$

### Eğilme ve Kesme Etkileşimi

EN 1993-1-1§6.2.8’e göre eğilme ve kesme etkileşimi kontrol edilmiştir.

$$V_{Ed} \cong -73,14\text{kN} < 0,5xV_g = 0,5x487,87\text{kN} \cong 243,94\text{kN}$$

Bu nedenle bu çalışmada; portal çerçeve kirişinde kesme kuvvetinin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

### Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı TÇY 2018§8'de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmıştır.

### Kiriş Burkulma Boyunun Belirlenmesi

Burkulma boyu yöntemi ile tasarım yapıldığında, burkulma boyu TÇY 2018§6.4'de verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

TÇY 2018§6.4.3(a) maddesi gereğince, yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş moment aktaran portal çerçeve kirişi için burkulma boyu katsayısı,  $K=1,0$  alındı. Böylece;

Kiriş başlığı mesnet noktaları yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklendiğinden,  $L_b = L_{cx} = 8720\text{mm}$  olarak öngörüldü.

TÇY 2016§8.1.1'e göre narinlik oranı kontrollü aşağıda verilmiştir.

$$\frac{L_{cy}}{i_y}, \frac{8720\text{mm}}{223,8\text{mm}} \cong 38,96 \leq 200 \text{ ve } \frac{L_{cz}}{i_z} = \frac{4500\text{mm}}{44,62\text{mm}} \cong 100,99 \leq 200 \checkmark$$

Ayrıca;

$$\frac{L_{cy}}{i_y} \cong 38,96 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71x \sqrt{\frac{2,1x10^5\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 140,8 \checkmark$$

TÇY 2018§8.2'ye göre, portal çerçeve kirişlerin I enkesitli profilin karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , Denk.(5.27) ile hesaplanmıştır.

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (5.27)$$

Kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , yönetmelikte belirtilen Denk.(5.28) ile hesaplanmıştır.

$$F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{F_y}{F_e}} \right] F_y \quad (5.28)$$

TÇY 2018§8.2.1'e göre; eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ , Denk.(5.29) ile hesaplanmıştır.

$$F_e = \frac{E\pi^2}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{(2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2)\pi^2}{\left(\frac{8720 \text{ mm}}{223,8 \text{ mm}}\right)^2} \cong 1300,22 \text{ N/mm}^2 \quad (5.29)$$

Buna göre;

$$F_{cr} = \left[0,658^{\frac{235}{1300,22}}\right] \times (2,1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2) \cong 194,7 \text{ N/mm}^2 \quad (5.28)$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 194,7 \text{ N/mm}^2 \times 13400 \text{ mm}^2 \times 10^{-3} \cong 2608,98 \text{ kN}$$

$$P_g = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{2608,98 \text{ kN}}{1,67} = 1562,26 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{P_g} \cong \frac{48,51 \text{ kN}}{1562,26 \text{ kN}} \cong 0,031 \leq 0,2 \quad \checkmark$$

#### Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkileşimi

EN 1993-1-1 §6.2.9'da Eksenel kuvvet ve eğilme momenti bir kesit üzerinde aynı anda etki ettiğinde, aşağıdaki iki şartın sağlanması durumunda eksenel kuvvetin göz ardı edilebileceğini belirtmektedir.

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad \text{ve} \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{şeklinde ifade edilmektedir.}$$

$$0,25 N_{pl,Rd} = 0,25 F_Y A = 0,25 \times (235 \text{ N/mm}^2) \times (13400 \text{ mm}^2) \times 10^{-3} \cong 787,25 \text{ kN} \quad (5.30)$$

$$\frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times (515,6 \text{ mm}) \times (11,1 \text{ mm}) \times (235 \text{ N/mm}^2)}{1,0} \times 10^{-3} \cong 672,47 \text{ kN} \quad (5.31)$$

$$N_{Ed} \cong -48,51 \text{ kN} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \cong 672,47 \text{ kN} \quad \text{koşulunu sağlamaktadır.}$$

Bu nedenle, eksenel kuvvetin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

### Eksenel Çekme Kuvveti Dayanımı

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı, TÇY 2018§7’de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmıştır.

#### *Narinlik Kontrollü*

TÇY 2018§7.1.1’e göre, çekme etkisindeki elemanlarda stabilite bir tasarım kriteri olmamasına karşın, narinlik oranı aşağıdaki gibi sınırlandırılmıştır.

$$\frac{L_{cy}}{i_y} \cong 38,96 \leq 300 \text{ veya } \frac{L_{cz}}{i_z} \cong 100,99 \leq 300 \text{ koşulu sağlanmaktadır.}$$

#### *Etkin Net Enkesit Alanı*

Etkin enkesit alanı, TÇY 2018§7.1.3’te verilen Tablo-7.1’deki gerilme düzensizliği etki katsayıları esas alınarak Denk. (5.32) ile belirlenmiştir.

$$U = 1,0 \quad (\text{Tablo – 7.1 Durum 1})$$
$$A_e = UA_n = (1,0)(134000\text{mm}^2) \cong 134000\text{mm}^2 \quad (5.32)$$

#### *Akma Sınır Durumu*

Akma sınır durumu için karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ , kayıpsız enkesit alanı kullanılarak TÇY 2018§7.2.1 Denk.(5.33) ile hesaplanmıştır.

$$T_n = F_y A_g = (235\text{N/mm}^2)(13400\text{mm}^2)10^{-3} \cong 3149\text{kN} \quad (5.33)$$

Buna göre güvenli çekme kuvveti dayanımı,

$$T_a = 18,45\text{kN} \leq T_g = \frac{F_y A_g}{\Omega_t} = \frac{3149\text{kN}}{1,67} \cong 1885,63\text{kN} \quad (5.34)$$

#### *Kırılma Sınır Durumu*

Çekme elemanlarında kırılma sınır durumu için, karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ , etkin net enkesit alanı kullanılarak TÇY 2018§7.2.2 Denk. (5.35) ile hesaplanmıştır.

$$T_n = F_u A_e = (360\text{N/mm}^2)(13400\text{mm}^2)10^{-3} \cong 4824\text{kN} \quad (5.35)$$

Buna göre güvenli çekme kuvveti dayanımı,

$$T_a = 18,45\text{kN} \leq T_g = \frac{F_y A_g}{\Omega_t} = \frac{4824\text{kN}}{2,0} \cong 2412\text{kN} \quad (5.36)$$

### Eğilme Momenti Dayanımı

Kuvvetli asal eksenini etrafında eğilme etkisindeki, I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_p$ , akma sınır durumu için, TÇY 2018§9.2 Denk.(5.37) ile belirlenmiştir.

$$M_p = F_y W_{ply} = (235\text{N/mm}^2) \times (2787 \times 10^3 \text{mm}^3) \times 10^{-6} \cong 654,95\text{kNm} \quad (5.37)$$

### *Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumunun Belirlenmesi*

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu için, TÇY 2018§9.2.2'de verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

Kiriş başlığı mesnet noktaları yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklendiğinden,  $L_b = L_{cx} = 8720\text{mm}$  olarak öngörülmüştür.

Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk, TÇY 2018§9.2.2 Denk.(5.38) ile belirlenmiştir.

$$L_p = 1,76i_z \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76(44,62\text{mm}) \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 2348\text{mm} \quad (5.38)$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınır uzunluk, TÇY 2018§9.2.2 Denk.(5.39) ile belirlenmiştir.

$$L_r = 1,95i_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex}h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ex}h_0}\right)^2 + 6,76\left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \quad (5.39)$$

Denk. (5.39) için, c katsayısı ve etkin atalet yarıçapı,  $i_{ts}$ , aşağıda verilmiştir.

$$c = 1,0 \quad (5.40)$$

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_z C_w}}{W_{ey}} = \frac{\sqrt{(2668,00\text{cm}^4) * (1890000\text{cm}^6)}}{2441,00\text{cm}^3} \cong 29,09\text{cm}^2 \quad (5.40)$$

$$i_{ts} \cong 53,94\text{mm}; \quad h_0 = h - t_f = 550\text{mm} - 17,2\text{mm} = 532,8\text{mm}$$

$$\frac{J_c}{W_{ey} h_0} = \frac{(123,00 \times 10^4 \text{mm}^3) * (1,0)}{(2441,00 \times 10^3 \text{mm}^3) * (532,8\text{mm})} \cong 0,0009457429572$$

$$6,76 \left( \frac{0,7F_y}{E} \right)^2 = 6,76 * \left( \frac{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2}{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2} \right)^2 \cong 0,000004148$$

$$1,95 i_{ts} \frac{E}{0,7F_y} = 1,95 * (53,94\text{mm}) * \left( \frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2} \right) \cong 134276,1702\text{mm}$$

$$L_r = (134276,1702\text{mm}) * \sqrt{0,000945 + \sqrt{(0,000945)^2 + \frac{4,148}{10^6}}} \cong 7585\text{mm}$$

$L_r \cong 7585\text{mm} < L_b \cong 8720\text{mm}$  olduğu için, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , TÇY 2018§9.2.2(c) Denk.(5.41) doğrulanmıştır.

$$M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p = F_y W_{plx} \quad (5.41)$$

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$ , TÇY 2018§9.1(c) maddesi uyarınca, Denk.(5.42) ile belirlenmiştir.

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (5.42)$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 177,80\text{kNm}}{2,5 \times 177,80\text{kNm} + 3 \times 153,2\text{kNm} + 4 \times 109,1\text{kNm} + 3 \times 12,1\text{kNm}} \cong 2,614$$

Kritik gerilme,  $F_{cr}$ , TÇY 2018§9.2.2'de belirtilen Denk.(5.43) ile hesaplanmıştır.

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left( \frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} = \frac{1,614 \pi^2 \times (2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2)}{\left( \frac{8720\text{mm}}{53,94\text{mm}} \right)^2} \cong 128,00\text{N/mm}^2 \quad (5.43)$$



Buna göre; karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = F_{cr}W_{ez} \cong (128,00\text{N/mm}^2) \times (2441 \times 10^3 \text{mm}^3) \times 10^{-6} \cong 312,45\text{kNm}$$

$M_n \cong 312,45\text{kNm} \leq M_p \cong 654,95\text{kNm}$  olduğundan, karakteristik moment dayanımı,  $M_n \cong 312,45\text{kNm}$  alınarak gerekli kontroller yapıldı.

$$M_{rz} = 177,80\text{kNm} \leq M_{cz} = \frac{M_n}{\Omega_b} = \frac{312,45\text{kNm}}{1,67} \cong 187,095\text{kNm} \checkmark$$

### Bileşik Etkiler Etkisinde Portal Çerçeve Kirişin Tasarımı

TÇY 2018§11'e göre, bileşik etkiler etkisinde portal çerçeve kirişin tasarımı doğrulanmıştır.

#### *Eğilme ve Basınç Etkisi*

Eğilme ve basınç etkisi, TÇY 2018§11.1.1 Denk.(5.44) ile doğrulanmıştır.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_r}{P_g} \cong \frac{48,51\text{kN}}{1562,26\text{kN}} \cong 0,031 < 0,2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \cong \frac{48,51\text{kN}}{2 \times 1562,26\text{kN}} + \frac{177,80\text{kNm}}{187,095\text{kNm}} \cong 0,9658 \leq 1,0 \checkmark \quad (5.44)$$

#### *Eğilme ve Çekme Etkisi*

Eğilme ve çekme etkisi için, düzlem dışı bükülme etkileşimi, TÇY 2018§11.1.1 Denk.(5.45) ile doğrulanmıştır.

$$\frac{T_a}{T_g} \cong \frac{18,45\text{kN}}{2412\text{kN}} \cong 0,007649253731 \leq 0,2 \text{ için;}$$

$$\frac{T_a}{2T_g} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \cong \frac{18,45\text{kN}}{2 \times 2412\text{kN}} + \frac{177,80\text{kNm}}{187,095\text{kNm}} \cong 0,995414 \leq 1,0 \checkmark \quad (5.45)$$

### Tasarım Özeti

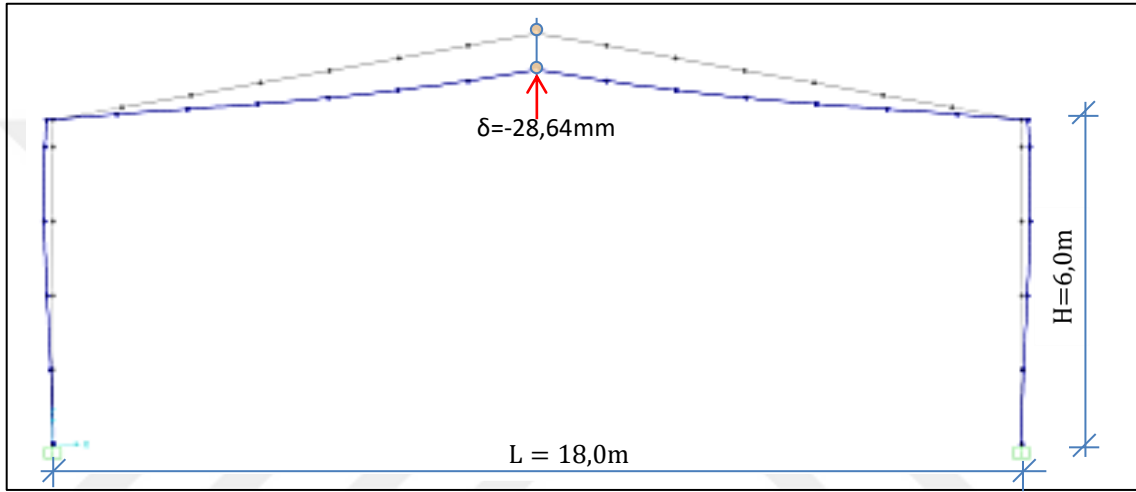
TÇY 2018 baz alınarak yapılan çalışmalarda kesitin kesit dayanımının uygulanan kuvvetlerden daha büyük olduğu gösterilmiştir.

## Taşıyıcı Sistemde Kullanılabilirlik Sınır Durumu Kontrolü

TÇY 2018§15’de belirtilen kriterlere göre, portal çerçevenin kullanılabilirlik sınır durumlarının yatay ve düşey yer değiştirmelerin sınır değeri aşağıda verilmiştir.

### *Düşey Yer Değiştirme Kontrollü*

TÇY 2018§15.2’deki kriterler baz alınarak düşey yer değiştirme (sehim) kontrolleri doğrulanmıştır. Şekil 5.27’de düşey yer değiştirme (sehim) gösterilmiştir.



Şekil 5. 27 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri

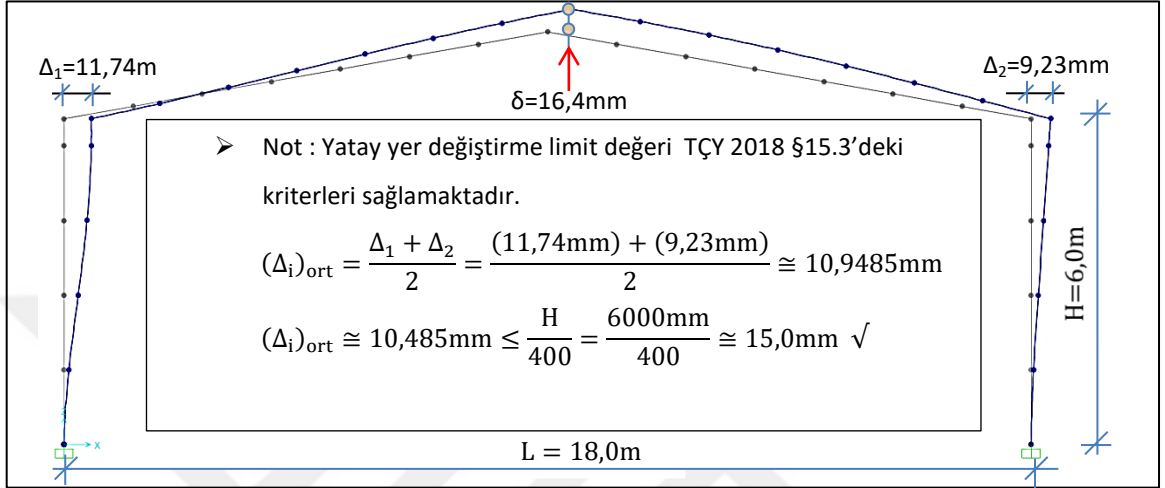
Çizelge 5.1’de TÇY 2018§15.2’de belirtilen düşey yer değiştirme (sehim) kriterleri gözönüne alınarak portal çerçeve tasarımı için gerekli kontroller yapıldı.

### Çizelge 5. 11 Düşey Yer Değiştirme (Sehim) Kontrollü

No	Düşey Yer Değiştirme Limit Değerleri	Tasarım Düşey Yer Değiştirme Limit Değerleri	Sehim Kontrolü	
1	G Limit, L/120	150mm	25,87mm	√
2	G + S Limit, L/120	150mm	40,09mm	√
3	S Limit, L/240	75mm	37,17mm	√
4	Toplam Limit, L/300	60mm	44,46mm	√

### Yatay Yer Değiştirme Kontrollü

TÇY 2018§15.3'deki kriterler baz alınarak yatay yer değiştirme kontrolleri yapılmıştır. Şekil 5.28'te TÇY 2018§15'1'de belirtilen (4) numaralı yük birleşimini için yatay yer değiştirme kontrollü yapılmıştır.



Şekil 5. 28 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri

### Düşey Titreşim Kontrollü

Yapılarda düşey titreşim kontrollü TÇY 2018§15.4'de düşey hareketli yükler altında titreşim hesaplarının ve konfor kontrollerinin yapılmasını önermektedir.

Bu çalışmada düşey titreşim kontrollü, BS EN 1990 - Ek A1.4.4 referans alınmıştır. Yapıda oluşacak titreşimler, kullanıcılara yönelik önemli rahatsızlıkları önlemek için sınırlandırılmıştır.

### Rüzgar Etkisi Altında Konfor Kontrollü

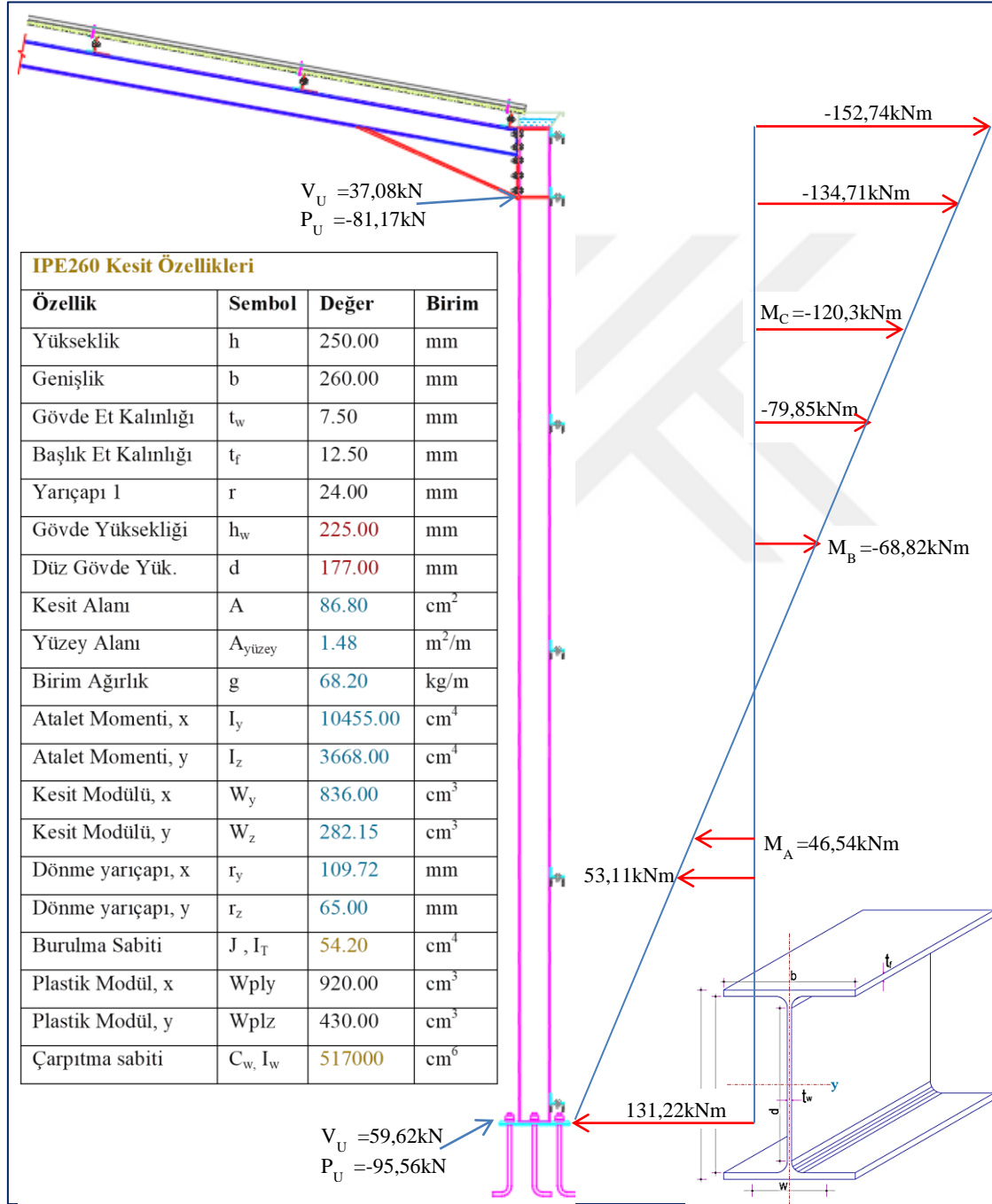
Rüzgar etkisi altında konfor kontrollü, TÇY 2018§15.5'de belirtilen kriterler doğrultusunda, TÇY 2018§15.3'de maksimum yatay yer değiştirmelere sınırlama getirilerek sağlanmıştır.

Not 1 : Bu çalışmadaki Tip 3 yapısının GKT için, TÇY 2018§15'de belirtilen düşey ve yatay yer değiştirme tipik sapma limitlerini sağlamaktadır.

### 5.6.3. YDKT Yöntemi ile Portal Çerçeve Tasarımı

Bu kısımda, Tip 3 portal çerçevesi yapısının Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) için, yapı elemanlarının gerekli dayanımları doğrulanmıştır.

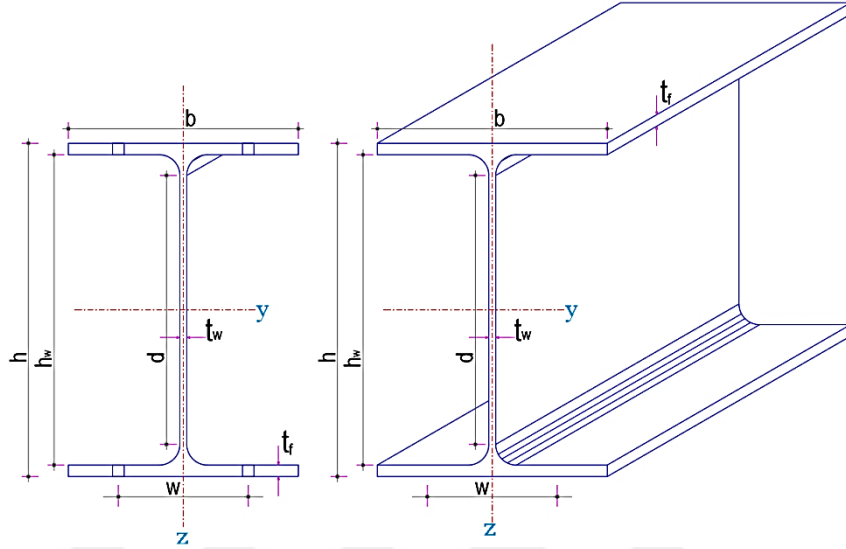
#### Portal Çerçeve Kolonların Tasarımı



Şekil 5. 29 Kolon kesit özellikleri ve iç kuvvetler (Tip 3 - YDKT)

### Kesit Sınıflaması

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TÇY 2018) bölüm 5.4’de tanımlanan enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı, Tablo 5.1A ve Tablo 5.1B’de belirtilen kriterler doğrultusunda kontrol edilmiştir.



Şekil 5.30 Profil Kesit Detayı

### Gövde Parçası

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{177\text{mm}}{7,50\text{mm}} \cong 23,6 \leq \lambda_r = 1,49 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 44,47 \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 5})$$

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{177\text{mm}}{7,50\text{mm}} \cong 23,6 \leq \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 112,4 \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 15})$$

### Başlık Parçası

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{260\text{mm}}{25,0\text{mm}} \cong 10,40 \leq \lambda_r = 0,56 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 16,74 \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 1})$$

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{260\text{mm}}{25,0\text{mm}} \cong 10,40 \leq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 11,236 \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 10})$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından narin olmayan enkesit ve Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit kompakt olarak değerlendirilir.

### Kesitin Dayanımı

Kolon kesit dayanımı, TÇY 2018'da verilen kriterler esas alınarak doğrulanmıştır.

### Kesme Kuvveti Dayanımı

TÇY-2018§10'a göre, kesitin kesme kuvveti dayanım kontrollü yapılmıştır. Çekme alanı katkısı dikkate alınmadığında, TÇY 2018§10.2.1'e verilen esaslar baz alınarak karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$ , Denk.(5.46) ile hesaplanmıştır.

$$V_n = 0,6F_y A_w C_{v1} \quad (5.46)$$

TÇY 2018§10.2.1(a)'ya göre; I-enkesitli hadde profilleri için,

$$\frac{d}{t_w} = \frac{177\text{mm}}{7,50\text{mm}} \cong 23,6 \leq 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \times \sqrt{\frac{210000\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 66,96 \quad (5.47)$$

$$\Phi_v = 1,0 \text{ (YDKT)} \quad \text{ve} \quad C_{v1} = 1,0 \text{ alınmıştır.}$$

TÇY 2018§10.2.1(b)'ye göre, gövdede düşey ara rijitlik levhalarının kullanılmadığı durum için,  $C_{v1}$  katsayısı Denk.(5.48) ile kontrol edilmiştir.

$$\frac{d}{t_w} \cong 23,6 \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34 \times (2 \times 10^5 \text{N/mm}^2)}{235\text{N/mm}^2}} \cong 75,99 \text{ için; } C_{v1} = 1,0 \quad (5.48)$$

Buna göre;

$$\text{Gövde Alanı : } A_w = d t_w = 177\text{mm} \times 7,50\text{mm} = 1327,50\text{mm}^2$$

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_{v1} = 0,6 \times (235\text{N/mm}^2) \times (1327,50\text{mm}^2) \times 1,0 \times 10^{-3} \cong 187,18\text{kN}$$

$$V_u \cong 59,62\text{kN} \leq V_d = \Phi_v V_n = (1,0)(187,18\text{kN}) = 187,18\text{kN} \quad \checkmark$$

### Eğilme ve Kesme Etkileşimi

EN 1993-1-1§6.2.8'e göre;

$$V_u = 59,62\text{kN} < 0,5 V_d = 0,5 \times 187,18\text{kN} \cong 93,59\text{kN}$$

Bu nedenle; kesme kuvvetinin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

### Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı TÇY 2018§8’de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmıştır.

### Kolon Burkulma Boyunun Belirlenmesi

Burkulma boyu yöntemi ile tasarım yapıldığında, burkulma boyu TÇY 2018§6.4’de verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

TÇY 2018§6.4.3(2)’de belirtilen, yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş moment aktaran çerçevelerde burkulma boyu katsayısı, K, kolonun üst ve alt uçlarında Denk.(5.49) ile belirlenen  $G_A$  ve  $G_B$  büyüklüklerine bağı olarak, Denk.(5.50) ve Şekil 5.31’de verilen nomogramdan yararlanarak hesaplanmıştır.

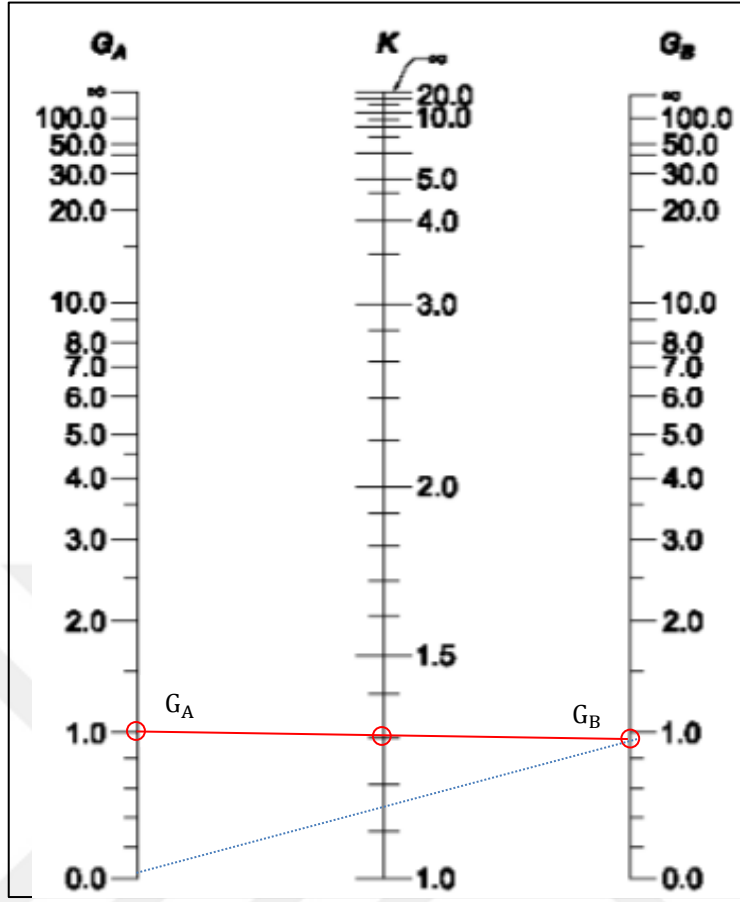
$G_A$  ve  $G_B$  büyüklükleri, kolonların ve kirişlerin sınır koşullarına bağıdır. Bu sınır koşullar, aşağıda verilmiştir.

Kolon temele ankastre bağıldığında, alt uçta  $G_A = 0$  olur. Ancak, TÇY 2018§6.4.3(b) de kolonun temele bağılantısının rijit olması halinde, temel dönmesinin sıfıra eşit olduğıu kanıtlanmadığı sürece,  $G_A = 1$  olarak alınabileceğini belirtmektedir.

Yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş portal çerçeve kirişinin, diğeri ucu ankastre olduğundan, kirişin  $(E_g I_g / L_g)$  eğilme rijitliğı 2/3 oranında azaltılmıştır. Buna göre;  $G_B$  değeri aşağıda hesaplanmıştır.

$$G_B = \frac{(2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2) \times (10455 \times 10^4 \text{mm}^2) / 6000 \text{mm}}{(2/3) \times (2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2) \times (33740 \times 10^4 \text{mm}^2) / 9000 \text{mm}} \cong 0,697 \quad (5.49)$$

$$K = \sqrt{\frac{1,0 \times (1,6 \times 0,697 + 4,0) + (4 \times 0,697 + 7,5)}{1,0 + 0,697 + 7,5}} \cong 1,294 \quad (5.50)$$



Şekil 5. 31 Tip 3 için kolon burkulma boyu katsayısı (GKT)

Kolon burkulma boyu,  $L_c = KL \cong 1,294 \times 6000 \text{mm} = 7764 \text{mm}$  olur.

TÇY 2018§8.1.1'e göre; burkulma boyu kullanılarak hesaplanan narinlik oranı, aşağıda verilen şartı sağlamalıdır.

$$\frac{L_c}{i_y} = \frac{7764 \text{mm}}{109,72 \text{mm}} \cong 70,762 \leq 200 \sqrt{\quad}$$

#### *Kolon Tasarım Esasının Belirlenmesi*

Karakteristik aksenal basınç kuvveti, TÇY 2018§8.2'de verilen, Tablo 5.1A ya göre aksenal basınç kuvveti altındaki narin olmayan enkesitli (narin enkesit parçası içermeyen elemanlardan oluşan) elemanlar için,  $P_n$ , Denk.(5.51) ile hesaplanmıştır.

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (5.51)$$



Burada, kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , Denk.(5.52) ile doğrulanmıştır.

$$\frac{L_c}{i_y} \cong 70,762 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 140,8 \quad (5.52)$$

Eğilmeli burkulma sınır durumu için, elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ , Denk.(5.53) ile hesaplanmıştır.

$$F_e = \frac{E\pi^2}{\left(\frac{L_c}{i_y}\right)^2} = \frac{(2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2)\pi^2}{\left(\frac{7764 \text{mm}}{109,72 \text{mm}}\right)^2} \cong 413,92 \text{N/mm}^2 \quad (5.53)$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e}\right] F_y = \left[0,658 \frac{235}{413,92}\right] \times (235 \text{N/mm}^2) \cong 185,3 \text{N/mm}^2 \quad (5.54)$$

Buna göre;

$$P_n = F_{cr} A_g = 185,3 \text{N/mm}^2 \times 8680 \text{mm}^2 \times 10^{-3} = 1608,37 \text{kN}$$

$$P_d = \Phi_c P_n = (0,90)(1608,37) \cong 1447,53 \text{kN}$$

$$P_r \cong -95,56 \text{kN} \leq P_d \cong 1447,53 \text{kN} \quad \checkmark$$

### Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkileşimi

EN 1993-1-1 §6.2.9'a göre; eksenel kuvvet ve eğilme momenti bir kesit üzerinde aynı anda etkideğinde, aşağıdaki iki şartın sağlanması durumunda eksenel kuvvetin göz ardı edilebileğini belirtmektedir.

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad \text{ve} \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{şeklinde ifade edilmektedir.}$$

$$0,25 N_{pl,Rd} = 0,25 F_y A = 0,25 \times (8680 \text{mm}^2) \times (235 \text{N/mm}^2) \times 10^{-3} \cong 509,95 \text{kN}$$

$$\frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times (225 \text{mm}) \times (7,50 \text{mm}) \times (235 \text{N/mm}^2)}{1,0} \times 10^{-3} \cong 198,28 \text{kN}$$

$$N_{Ed} \cong -95,56 \text{kN} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \cong 198,28 \text{kN} \quad \text{koşulunu sağlamaktadır.}$$

Bu nedenle eksenel kuvvetin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir.

### Eğilme Momenti Dayanımı

I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , akma sınır durumu için, TÇY 2018§9.2'e göre Denk.(5.55) ile belirlenmiştir.

$$M_n = F_y W_{ply} = (235\text{N/mm}^2) \times (920 \times 10^3 \text{mm}^3) \times 10^{-6} \cong 216,2 \text{kNm} \quad (5.55)$$

### Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumlarının Belirlenmesi

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu için, TÇY 2018§9.2.2'ye göre kontrol edilmiştir.  $L_b = 6000\text{mm}$  olarak öngörüldü. Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk;

$$L_p = 1,76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 109,72 \text{mm} \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 5773 \text{mm} \quad \text{Denk. (5.56)}$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınır uzunluk;

$$L_r = 1,95 i_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ey} h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ey} h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}} \quad \text{Denk. (5.57)}$$

Denk. (5.57) için, c katsayısı ve etkin atalet yarıçapı,  $i_{ts}$ , aşağıda verilmiştir.

$$c = 1,0 \quad (5.58)$$

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ey}} = \frac{\sqrt{(10455,00 \text{cm}^4) * (517000 \text{cm}^6)}}{836,00 \text{cm}^3} \cong 87,9429 \text{cm}^2 \quad (5.59)$$

$i_{ts} \cong 93,78\text{mm}$  ve  $h_0 = h - t_f = 250\text{mm} - 12,50\text{mm} = 237,50\text{mm}$  olur.

$$\frac{J_c}{W_{ey} h_0} = \frac{(54,20 \times 10^4 \text{mm}^3) * (1,0)}{(836,00 \times 10^3 \text{mm}^3) * (237,50 \text{mm})} \cong 0,002729790985$$

$$6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2 = 6,76 * \left(\frac{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2}{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}\right)^2 \cong 0,000004148$$

$$1,95 i_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} = 1,95 * (93,78 \text{mm}) * \left(\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2}\right) \cong 233452,3404 \text{mm}$$

$$L_r = (233452,3404\text{mm}) * \sqrt{\frac{2,72979098}{10^3} + \sqrt{\left(\frac{2,72979098}{10^3}\right)^2 + \frac{4,148}{10^6}}} \cong 18286\text{mm}$$

$L_p \cong 5773\text{mm} < L_b = 6000\text{mm} \leq L_r \cong 18286\text{mm}$  olduğu için, karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ , TÇY 2018§9.2.2(b) Denk.(5.60) doğrulanmıştır.

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0,7F_y W_{ey}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p = F_y W_{ply} \quad (5.60)$$

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$ , TÇY 2018§9.1(c)'ye göre, Denk.(5.61) ile belirlenmiştir.

$$C_b = \frac{12,5M_{\text{maks}}}{2,5M_{\text{maks}} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (5.61)$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 152,74\text{kNm}}{2,5 \times 152,74\text{kNm} + 3 \times 46,54\text{kNm} + 4 \times 68,82\text{kNm} + 3 \times 120,3\text{kNm}} \cong 1,64881$$

$$M_n = 1,64881 \times \left[ 216,2 - \left( 216,2 - \frac{0,7 \times 235 \times 836000}{10^6} \right) \left( \frac{227}{12513} \right) \right] \cong 354,12\text{kNm}$$

$M_n \cong 354,12\text{kNm} > M_p \cong 216,2\text{kNm}$  olduğundan dolayı, karakteristik moment dayanımı,  $M_n \cong 216,2\text{kNm}$  olarak gözönüne alınmıştır.

$$M_{ry} = -152,74\text{kNm} \leq M_{cy} = \Phi_b M_n = (0,9) \times (216,2\text{kNm}) \cong 194,58\text{kNm}$$

Kesit üzerine etki eden gerekli eğilme momenti,  $M_{ry}$ , güvenli eğilme momenti dayanımında küçük kalmıştır. Seçilen kesit eğilme momenti açısından uygundur.

### Bileşik Etkiler Etkisinde Portal Çerçeve Kolonun Tasarımı

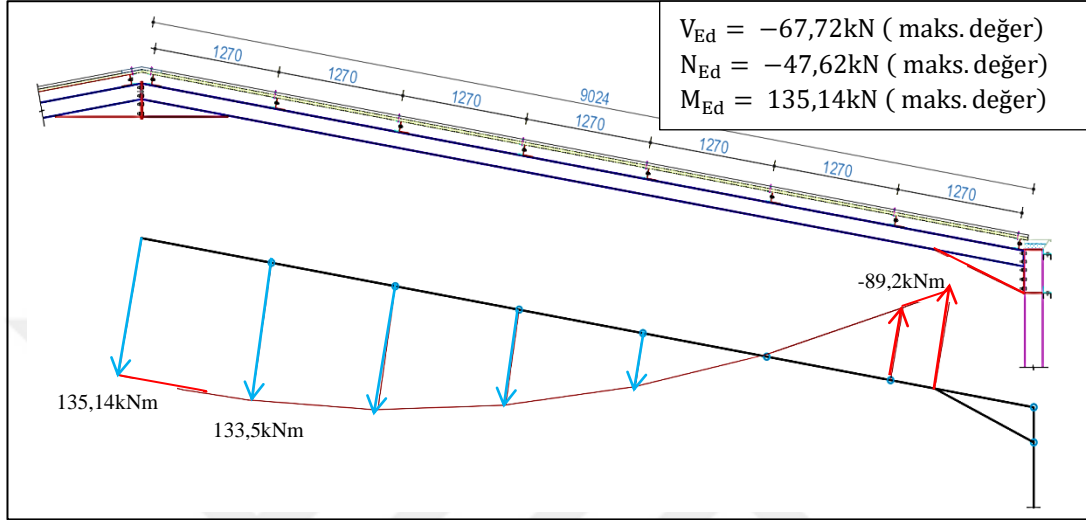
Eğilme ve basınç etkisi için, düzlem dışı bükülme etkileşimi, TÇY 2018§11.1.1 Denk.(5.62) ile doğrulanmıştır.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_r}{P_d} \cong \frac{95,56\text{kN}}{1447,53\text{kN}} \cong 0,066015902 < 0,2 \text{ için;}$$

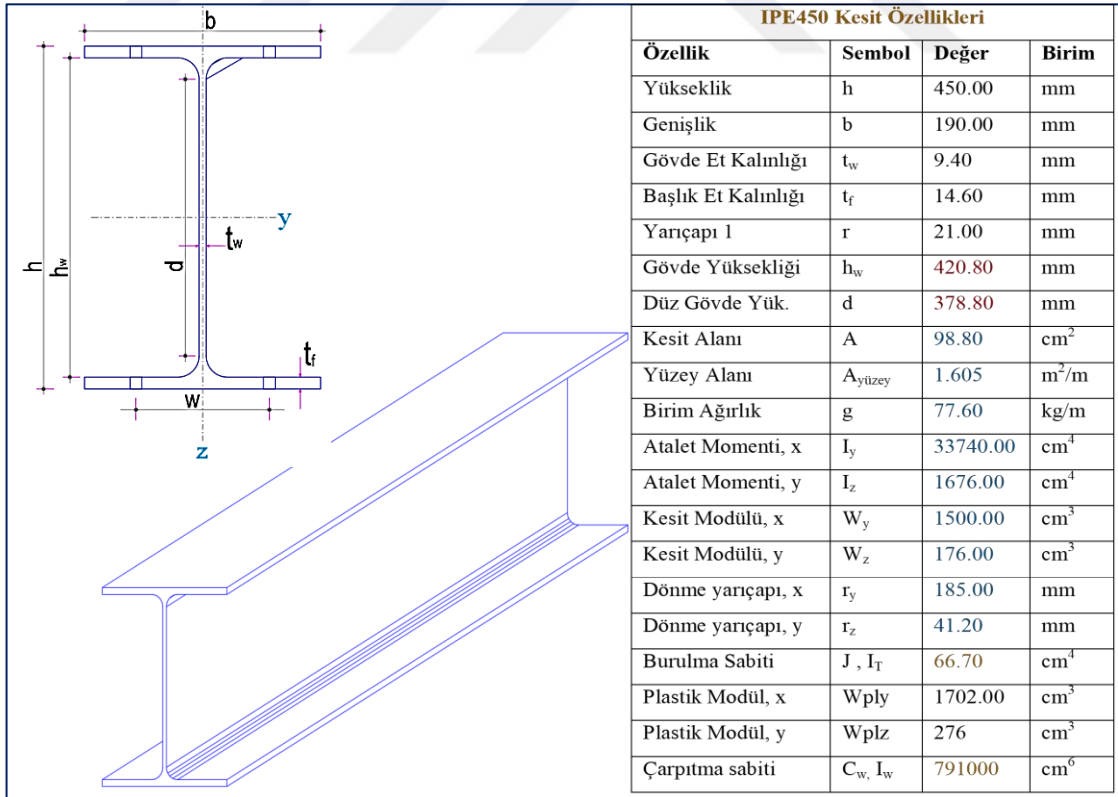
$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \cong \frac{95,56\text{kN}}{2 \times 1447,53\text{kN}} + \frac{152,74\text{kNm}}{194,58\text{kNm}} \cong 0,817980713 \leq 1,0 \quad (5.62)$$

## Portal Çerçeve Kirişlerin Tasarımı

Taşıyıcı sistem analizinde; en elverişsiz yük birleşimi için portal çerçeve kirişindeki iç kuvvetler Şekil 5.32 ve kesit özellikleri Şekil 5.33’de verilmektedir.



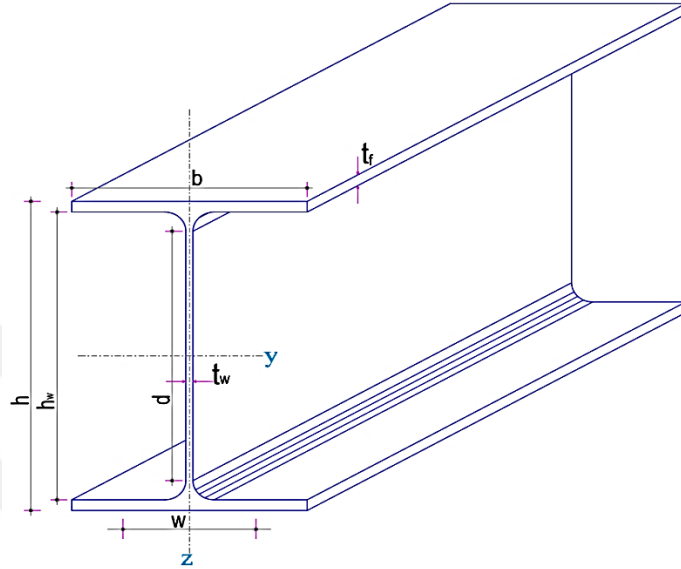
Şekil 5. 32 Çerçeve Kirişi Moment Diyagramı (Tip 3 - YDKT)



Şekil 5. 33 Portal çerçeve kirişi kesit özellikleri ve detayı (Tip 3 - YDKT)

### *Kesit Sınıflaması*

Çelik Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TÇY 2018) bölüm 5.4’de tanımlanan enkesit parçasının genişlik (çap) / kalınlık oranı, Tablo 5.1A ve Tablo 5.1B’de belirtilen kriterler doğrultusunda kontrol edilmiştir.



Şekil 5. 34 Profil Kesit Detayı

### Gövde Parçası

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{378,8\text{mm}}{9,4\text{mm}} \cong 40,3 \leq \lambda_r = 1,49x \sqrt{\frac{2x10^5\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 43,47 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 5})$$

$$\lambda = \frac{d}{t_w} = \frac{378,8\text{mm}}{9,4\text{mm}} \cong 40,3 \leq \lambda_p = 3,76x \sqrt{\frac{2x10^5\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 110 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 15})$$

### Başlık Parçası

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{190\text{mm}}{29,2\text{mm}} \cong 6,51 \leq \lambda_r = 0,56x \sqrt{\frac{2x10^5\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 16,34 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1A, Durum 1})$$

$$\lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{190\text{mm}}{29,2\text{mm}} \cong 6,51 \leq \lambda_p = 0,38x \sqrt{\frac{2x10^5\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 11,1 \sqrt{\quad} \quad (\text{Tablo 5.1B, Durum 10})$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesit, başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1A da verilen  $\lambda_r$  sınır değerini aşmadığından narin olmayan enkesit ve Tablo 5.1B de verilen  $\lambda_p$  sınır değerini aşmadığından, enkesit kompakt olarak değerlendirilir.

### *Kesme Kuvveti Dayanımı*

TÇY 2018§10'da verilen ilgili koşullar esas alınarak kesitin kesme kuvveti dayanım kontrollü yapılmıştır. Çekme alanı katkısı dikkate alınmadığında, TÇY 2018§10.2.1'e verilen esaslar baz alınarak karakteristik kesme kuvveti dayanımı,  $V_n$  , Denk.(5.63) ile hesaplanmıştır.

$$V_n = 0,6F_y A_w C_{v1} \quad (5.63)$$

TÇY-2018§10.2.1(a)'ya göre; I-enkesitli hadde profilleri için,

$$\frac{d}{t_w} = \frac{378,8\text{mm}}{9,40\text{mm}} \cong 40,3 \leq 2,24 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,24 \times \sqrt{\frac{210000\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 66,96 \quad (5.64)$$

$\Phi_v = 1,0$  (YDKT) ve  $C_{v1} = 1,0$  alınmıştır.

TÇY-2018§10.2.1(b)'ye göre, gövdede düşey ara rijitlik levhalarının kullanılmadığı durum için,  $C_{v1}$  katsayısı Denk.(5.65) ile kontrol edilmiştir.

$$\frac{d}{t_w} \cong 40,3 \leq 1,1 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{\frac{5,34 \times (2 \times 10^5 \text{N/mm}^2)}{235\text{N/mm}^2}} \cong 75,99 \text{ için; } C_{v1} = 1,0 \quad (5.65)$$

Buna göre;

$$\text{Gövde Alanı : } A_w = dt_w = 378,8\text{mm} \times 9,40\text{mm} = 3560,72\text{mm}^2$$

$$V_n = 0,6F_y A_w C_{v1} = 0,6 \times (235\text{N/mm}^2) \times (3560,72\text{mm}^2) \times 1,0 \times 10^{-3} \cong 502,06152\text{kN}$$

$$V_u \cong 67,72\text{kN} \leq V_d = \Phi_v V_n = (1,0)(502,06152\text{kN}) = 502,06152\text{kN} \quad \checkmark$$

### *Eğilme ve Kesme Etkileşimi*

EN 1993-1-1§6.2.8'de; kesme kuvveti ve eğilme momenti bir kesit üzerinde aynı anda etkidiğinde, kesme kuvveti, plastik makaslama direncinin %50'sinden daha küçükse, ihmal edilebileceğini belirtmektedir.

$$V_u = 67,72\text{kN} < 0,5V_d = 0,5 \times 502,06152\text{kN} \cong 251,03076\text{kN} \quad \checkmark$$

Bu nedenle; kesme kuvvetinin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

### Eksenel Basınç Kuvveti Dayanımı

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı TÇY 2018§8'de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmıştır.

### Kiriş Burkulma Boyunun Belirlenmesi

TÇY 2018§6.4.3(a) maddesi gereğince, yanal yerdeğiştirmesi önlenmemiş moment aktaran portal çerçeve kirişi için burkulma boyu katsayısı,  $K=1,0$  alındı. Böylece;

Kiriş başlığı mesnet noktaları yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklendiğinden,  $L_b = L_{cy} = 8720\text{mm}$  olarak öngörüldü.

TÇY 2018§8.1.1'e göre narinlik oranı kontrollü aşağıda verilmiştir.

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{8720\text{mm}}{185,00\text{mm}} \cong 47,13514 \leq 200 \quad \text{ve} \quad \frac{L_{cz}}{i_z} = \frac{4500\text{mm}}{41,20\text{mm}} \cong 109,92 \leq 200\sqrt{}$$

Ayrıca;

$$\frac{L_{cy}}{i_y} \cong 47,13514 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71x \sqrt{\frac{2,1x10^5\text{N/mm}^2}{235\text{N/mm}^2}} \cong 140,8 \quad \sqrt{}$$

TÇY 2018§8.2'ye göre, portal çerçeve kirişlerin I enkesitli profilin karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı,  $P_n$ , Denk.(5.66) ile hesaplanmıştır.

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (5.66)$$

Kritik burkulma gerilmesi,  $F_{cr}$ , yönetmelikte belirtilen Denk.(5.67) ile hesaplanmıştır.

$$F_{cr} = \left[ 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (5.67)$$

TÇY 2018§8.2.1'e göre; eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,  $F_e$ , Denk.(5.68) ile hesaplanmıştır.

$$F_e = \frac{E\pi^2}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y}\right)^2} = \frac{(2,1x10^5\text{N/mm}^2)\pi^2}{\left(\frac{8720\text{mm}}{185,00\text{mm}}\right)^2} \cong 932,89\text{N/mm}^2 \quad \text{Denk. (5.68)}$$

Buna göre;

$$F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{235}{932,89}} \right] \times (235 \text{N/mm}^2) \cong 211,48423 \text{N/mm}^2 \quad \text{Denk. (5.67)}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 211,48423 \text{N/mm}^2 \times 9880 \text{mm}^2 \times 10^{-3} \cong 2089,46 \text{kN}$$

$$P_d = \Phi_c P_n = (0,9)(2089,46) = 1880,51 \text{kN}$$

$$P_r \cong -47,62 \text{kN} \leq P_d \cong 1880,51 \text{kN} \quad \checkmark$$

### *Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkileşimi*

EN 1993-1-1 §6.2.9’da Eksenel kuvvet ve eğilme momenti bir kesit üzerinde aynı anda etki ettiğinde, aşağıdaki iki şartın sağlanması durumunda eksenel kuvvetin göz ardı edilebileğini belirtmektedir.

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} \quad \text{ve} \quad N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{şeklinde ifade edilmektedir.}$$

$$0,25 N_{pl,Rd} = 0,25 F_Y A = 0,25 \times (235 \text{N/mm}^2) \times (9880 \text{mm}^2) \times 10^{-3} \cong 580,45 \text{kN}$$

$$\frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times (420,8 \text{mm}) \times (9,4 \text{mm}) \times (235 \text{N/mm}^2)}{1,0} \times 10^{-3} \cong 464,7736 \text{kN}$$

$$N_{Ed} \cong -47,62 \text{kN} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} \cong 464,7736 \text{kN} \quad \text{koşulunu sağlamaktadır.}$$

Bu nedenle, eksenel kuvvetin moment dayanımı üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir.

### *Eksenel Çekme Kuvveti Dayanımı*

Eksenel çekme kuvveti etkisindeki elemanların tasarımı, TÇY 2018 §7’de verilen ilgili koşullar esas alınarak doğrulanmıştır.

### *Narinlik Kontrollü*

TÇY 2018 §7.1.1’e göre, çekme etkisindeki elemanlarda stabilite bir tasarım kriteri olmamasına karşın, narinlik oranı aşağıdaki gibi sınırlandırılmıştır.

$$\frac{L_{cy}}{i_y} = \frac{8720 \text{mm}}{185,00 \text{mm}} \cong 47,13514 \leq 300 \quad \text{ve} \quad \frac{L_{cz}}{i_z} = \frac{4500 \text{mm}}{41,20 \text{mm}} \cong 109,92 \leq 300 \checkmark$$



### Etkin Net Enkesit Alanı

Etkin enkesit alanı, TÇY 2018§7.1.3'te verilen Tablo-7.1'deki gerilme düzensizliği etki katsayıları esas alınarak Denk. (5.69) ile belirlenmiştir.

$$U = 1,0 \quad (\text{Tablo – 7.1 Durum 1})$$
$$A_e = UA_n = (1,0)(9880\text{mm}^2) \cong 9880\text{mm}^2 \quad (5.69)$$

### Akma Sınır Durumu

Çekme elemanlarında akma sınır durumunda karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ , kayıpsız enkesit alanı için, TÇY 2018§7.2.1 Denk.(5.70) ile hesaplanmıştır.

$$T_n = F_y A_g = (235\text{N/mm}^2)(980\text{mm}^2)10^{-3} \cong 2321,8\text{kN} \quad (5.70)$$

Buna göre güvenli çekme kuvveti dayanımı,

$$T_u = 36,1\text{kN} \leq T_d = \Phi_t T_n = (0,9)(2321,8) \cong 2089,62\text{kN} \quad (5.71)$$

### Kırılma Sınır Durumu

Çekme elemanlarında kırılma sınır durumu için, karakteristik çekme kuvveti dayanımı,  $T_n$ , etkin net enkesit alanı kullanılarak TÇY 2018§7.2.2 Denk. (5.72) ile hesaplanmıştır.

$$T_n = F_u A_e = (360\text{N/mm}^2)(9880\text{mm}^2)10^{-3} \cong 3556,8\text{kN} \quad (5.72)$$

Buna göre güvenli çekme kuvveti dayanımı,

$$T_u = 36,1\text{kN} \leq T_d = \Phi_t T_n = (0,9)(3556,8) \cong 3201,12\text{kN} \quad (5.73)$$

### Eğilme Momenti Dayanımı

Kuvvetli asal eksen etrafında eğilme etkisindeki, I-enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_p$ , akma sınır durumu için, TÇY 2018§9.2 Denk.(5.74) ile belirlenmiştir.

$$M_p = F_y W_{ply} = (235\text{N/mm}^2)(1702 \times 10^3 \text{mm}^3)10^{-6} \cong 399,97\text{kNm} \quad (5.74)$$

### Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumunun Belirlenmesi

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu için, TÇY 2018§9.2.2’de verilen ilgili koşullar esas alınarak belirlenmiştir.

Kiriş başlığı mesnet noktaları yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklendiğinden,  $L_b = L_{cx} = 8720\text{mm}$  olarak öngörülmüştür.

Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk;

$$L_p = 1,76i_z \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76(41,2\text{mm}) \sqrt{\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{235 \text{N/mm}^2}} \cong 2168\text{mm} \quad (5.75)$$

Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma için sınır uzunluk;

$$L_r = 1,95i_{ts} \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ey}h_0} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{W_{ey}h_0}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2}} \quad (5.76)$$

Denk. (5.76) için, c katsayısı ve etkin atalet yarıçapı,  $i_{ts}$ ;

$$c = 1,0 \quad (5.77)$$

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_z C_w}}{W_{ey}} = \frac{\sqrt{(1676,00\text{cm}^4) * (791000\text{cm}^6)}}{1500,00\text{cm}^3} \cong 24,27\text{cm}^2 \quad (5.78)$$

$$i_{ts} \cong 49,27\text{mm} \quad \text{ve} \quad h_0 = h - t_f = 450\text{mm} - 14,60\text{mm} = 435,4\text{mm}$$

$$\frac{J_c}{W_{ey}h_0} = \frac{(66,70 \times 10^4 \text{mm}^3) * (1,0)}{(1500,00 \times 10^3 \text{mm}^3) * (435,4\text{mm})} \cong 0,00102128311$$

$$6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E}\right)^2 = 6,76 * \left(\frac{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2}{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}\right)^2 \cong 0,000004148$$

$$1,95i_{ts} \frac{E}{0,7F_y} = 1,95 * (49,27\text{mm}) * \left(\frac{2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2}{0,7 \times 235 \text{N/mm}^2}\right) \cong 122650,8511\text{mm}$$

$$L_r = (122650,8511\text{mm}) * \sqrt{0,0010212 + \sqrt{(0,0010212)^2 + \frac{4,148}{10^6}}} \cong 7045\text{mm}$$

$L_r \cong 7045\text{mm} < L_b \cong 8720\text{mm}$  olduğu için, karakteristik eğilme momenti dayanımı;

$$M_n = F_{cr}W_{ey} \leq M_p = F_yW_{ply} \quad (5.79)$$

Moment düzeltme katsayısı,  $C_b$ ;

$$C_b = \frac{12,5M_{maks}}{2,5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \quad (5.80)$$

$$C_b = \frac{12,5 \times 135,50\text{kNm}}{2,5 \times 135,50\text{kNm} + 3 \times 124,93\text{kNm} + 4 \times 59,11\text{kNm} + 3 \times 48,25\text{kNm}} \cong 1,55$$

Kritik gerilme,  $F_{cr}$  ;

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} = \frac{1,45 \pi^2 \times (2,1 \times 10^5 \text{N/mm}^2)}{\left(\frac{8720\text{mm}}{49,27\text{mm}}\right)^2} \cong 102,5612\text{N/mm}^2 \quad (5.81)$$

Buna göre; karakteristik eğilme momenti dayanımı,  $M_n$ ,

$$M_n = F_{cr}W_{ey} \cong (102,5612\text{N/mm}^2) \times (1500 \times 10^3 \text{mm}^3) \times 10^{-6} \cong 153,84\text{kNm}$$

$M_n \cong 153,84\text{kNm} \leq M_p \cong 399,97\text{kNm}$  olduğundan,  $M_n \cong 153,84\text{kNm}$  alınarak gerekli kontroller yapıldı.

$$M_{ry} = 135,50\text{kNm} \leq M_{cy} = \Phi_b M_n = (0,9) \times (153,84\text{kNm}) \cong 138,46\text{kNm}$$

Kesit üzerine etki eden gerekli eğilme momenti,  $M_{ry}$ , güvenli eğilme momenti dayanımında küçük kalmıştır. Seçilen kesit eğilme momenti açısından uygundur.

#### *Bileşik Etkiler Etkisinde Portal Çerçeve Kolonun Tasarımı*

Eğilme ve basınç etkisi için, düzlem dışı bükülme etkileşimi, TÇY 2018§11.1.1'e göre doğrulanmıştır.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_r}{P_d} \cong \frac{47,62\text{kN}}{1880,51\text{kN}} \cong 0,025322917 < 0,2 \quad \text{için;}$$

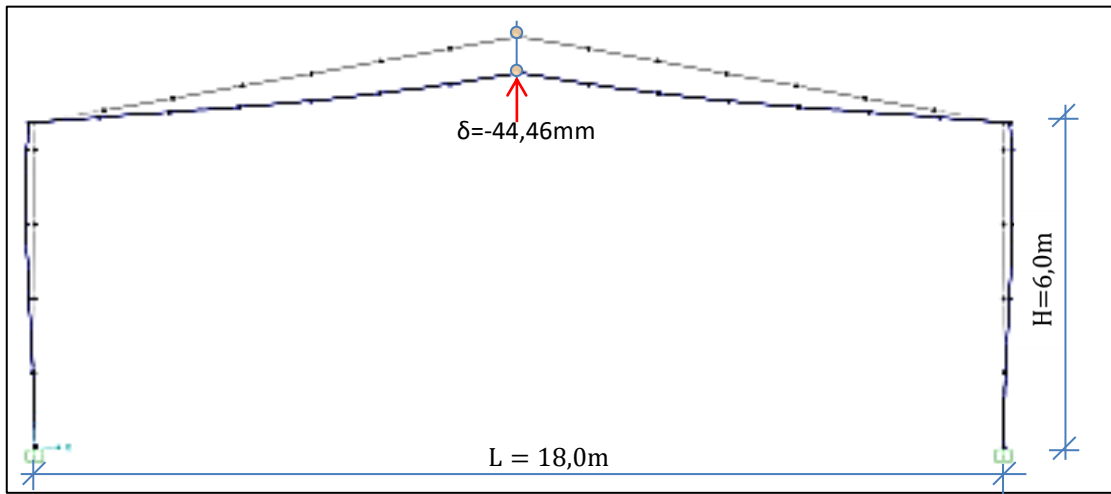
$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \cong \frac{47,62\text{kN}}{2 \times 1880,1\text{kN}} + \frac{135,50\text{kNm}}{138,46\text{kNm}} \cong 0,9912883 \leq 1,0 \quad (5.82)$$

## Taşıyıcı Sistemde Kullanılabilirlik Sınır Durumu Kontrolü

TÇY 2018§15'e göre, çelik yapı sistemlerinin kullanılabilir sınır durumları için tasarımına yönelik sınır değerleri aşağıda verilmiştir.

### *Düşey Yer Değişirme Kontrollü*

TÇY 2018§15.2'deki kriterler baz alınarak düşey yer değiştirme (sehim) kontrolleri doğrulanmıştır. Şekil 5.35'de TÇY 2018§15.1'de belirtilen (2) numaralı yük birleşimini için düşey yer değiştirme (sehim) gösterilmiştir.



Şekil 5. 35 Portal çerçeve düşey yer değiştirme sapma limitleri

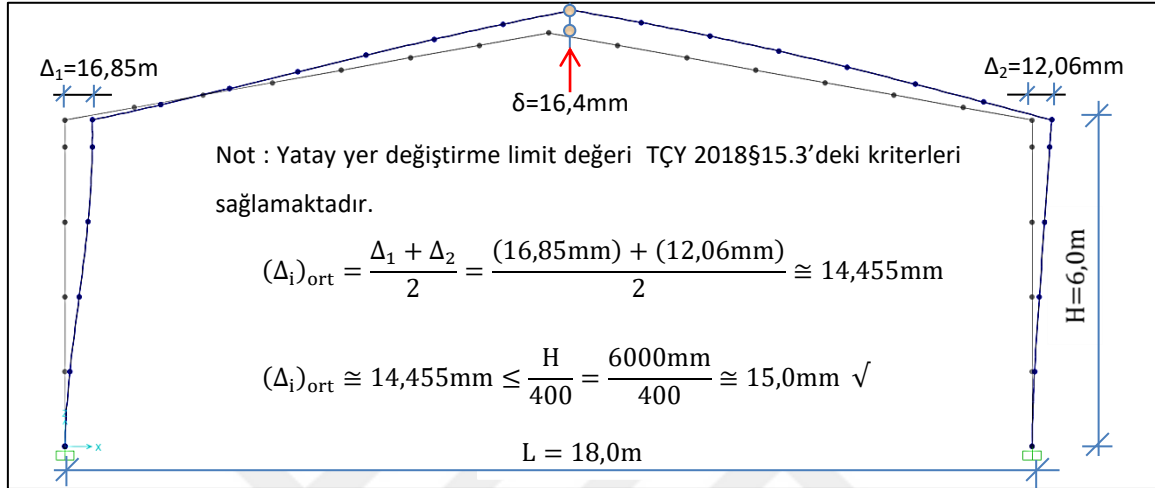
Çizelge 5.12'de TÇY 2018§5.10'da belirtilen düşey yer değiştirme (sehim) kriterleri gözönüne alınarak portal çerçeve tasarımı için gerekli kontroller yapıldı.

### **Çizelge 5. 12 Düşey Yer Değişirme (Sehim) Kontrollü**

No	Düşey Yer Değişirme Limit Değerleri	Tasarım Düşey Yer Değişirme Limit Değerleri	Sehim Kontrollü	
1	G Limit, L/120	150mm	25,87mm	√
2	G + S Limit, L/120	150mm	40,09mm	√
3	S Limit, L/240	75mm	37,17mm	√
4	Toplam Limit, L/300	60mm	44,46mm	√
G : Ölü Yük S : Kar Yüğü Toplam Limit : TÇY 2018 §15'1de belirtilen (2) numaralı yük birleşimini ifade etmektedir.				

### Yatay Yer Değiştirme Kontrollü

TÇY 2018§15.3'deki kriterler baz alınarak yatay yer değiştirme kontrolleri yapılmıştır. Şekil 5.36'da TÇY 2018§15'1'de belirtilen (4) numaralı yük birleşimini için yatay yer değiştirme kontrollü yapılmıştır.



Şekil 5. 36 Portal çerçeve yatay yer değiştirme sapma limitleri

### Düşey Titreşim Kontrollü

Yapılarda düşey titreşim kontrollü TÇY 2018§15.4'de düşey hareketli yükler altında titreşim hesaplarının ve konfor kontrollerinin yapılmasını önermektedir.

Bu çalışmada düşey titreşim kontrollü, BS EN 1990 - Ek A1.4.4 referans alınmıştır. Yapıda oluşacak titreşimler, kullanıcılara yönelik önemli rahatsızlıkları önlemek için sınırlandırılmıştır.

### Rüzgar Etkisi Altında Konfor Kontrollü

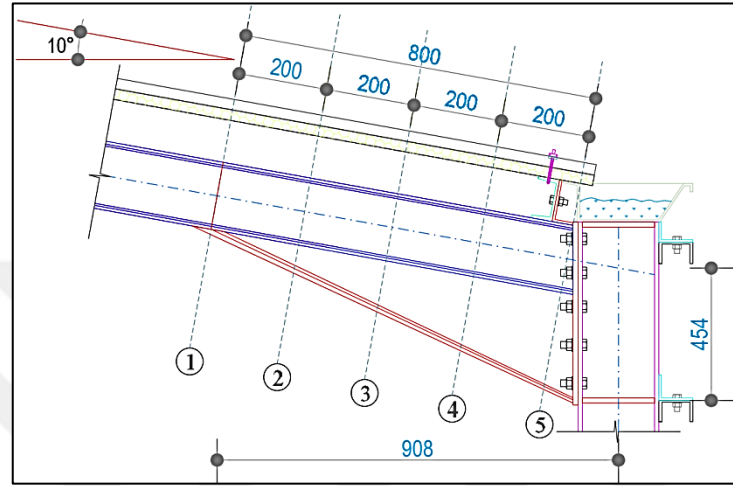
Rüzgar etkisi altında konfor kontrollü, TÇY 2018§15.5'de belirtilen kriterler doğrultusunda, TÇY 2018§15.3'de maksimum yatay yer değiştirmelere sınırlama getirilerek sağlanmıştır.

Not 1B : Bu çalışmadaki Tip 3 yapısının YDKT için, TÇY 2018§15'de belirtilen düşey ve yatay yer değiştirme tipik sapma limitlerini sağlamaktadır.

### 5.6.4. Tip 3 Portal Çerçeve Yapısının Birleşim Bölgelerinin Tasarımı

#### Kolon – Kiriş Birleşimi Tasarımı

Kolon – kiriş birleşimi, TBDY 2018§9 EK 9B'de belirtilen kriterler baz alınarak tasarlanmıştır. Birleşim bölgesi, aşağıdaki şekil 5.37'de gösterildiği gibi incelenmiştir.



Şekil 5.37 Kolon – Kiriş Birleşim Bölgesi

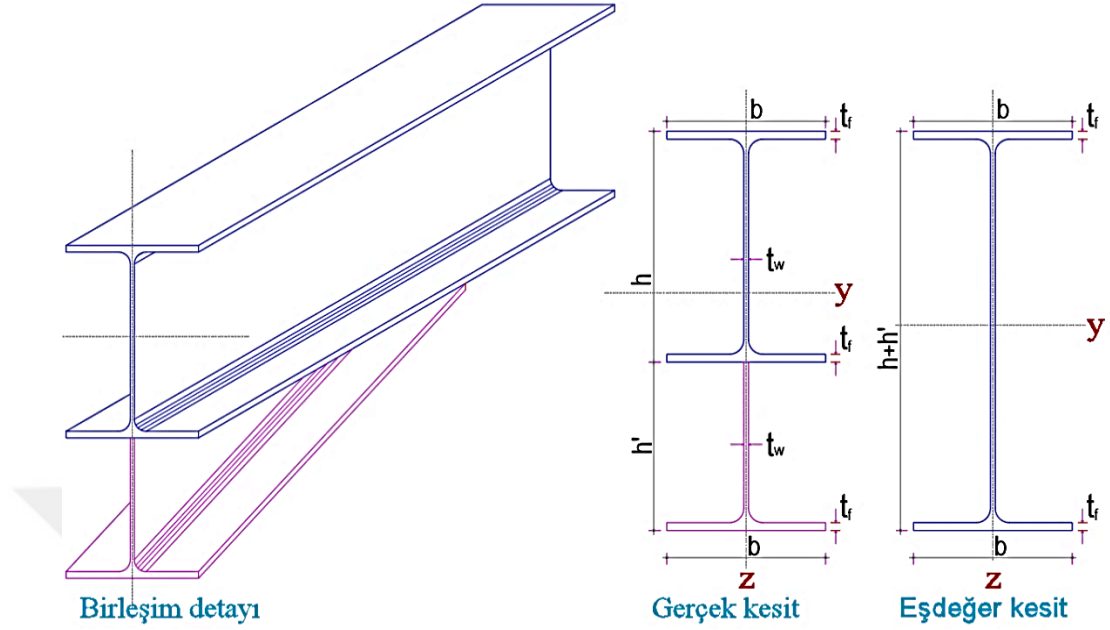
Birleşim bölgesinin geometrisinden, Çizelge 5.3'te gösterildiği gibi 1'den 5'e kadar olan kesitlerin her biri için aşağıdaki özellikler elde edilebilir.

Çizelge 5.13 Kolon – kiriş birleşimindeki kesit özellikleri

Kesit No	Kesme Derinliği (mm)	Toplam Derinlik (mm)	Brüt alan, A (mm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>min</sub> (cm <sup>3</sup> )	N <sub>Ed</sub> (kN)	V <sub>Ed</sub> (kN)	M <sub>Ed</sub> (kNm)
1	0	450	9880	33740	1500	-46,358	-61,734	<b>-101,24</b>
2	200	524	10199	47084	1810	-46,673	-63,229	<b>-113,57</b>
3	400	576	10688	56530	2039	-46,987	-64,627	<b>-126,63</b>
4	600	629	11186	69270	2282	-47,301	-66,221	<b>-139,68</b>
5	800	682	11684	83581	2532	-47,615	-67,716	<b>-152,74</b>

Kesit özellikleri bölümün eksenine normal olarak hesaplanmıştır. Basitlik için, yukarıdaki kesit özellikleri, 9,4mm'lik sabit bir ağ kalınlığı varsayarak ve orta flanşı ihmal ederek hesaplanmıştır.

Asıl ve eşdeğer kesitleri, 5 numaralı kesit için aşağıdaki şekilde gösterilmiştir:



Şekil 5. 38 Kolon – kiriş birleşim bölgesi kesit detayı

Kesit 5 için sütun yüzünde  $N_{Ed}$  ve  $M_{Ed}$  değerleri alınarak gerekli kontroller yapıldı.

#### *Birleşim Bölgesi Kesit Kontrolü*

Eğilme momenti ve aksenal basınç kuvveti etkileşimi, TÇY 2018§11.1.1 'deki düzlem içi stabilite kaybını esas alan sınır durum 5 nolu kesit için Denk.(5.83) ile doğrulanmıştır.

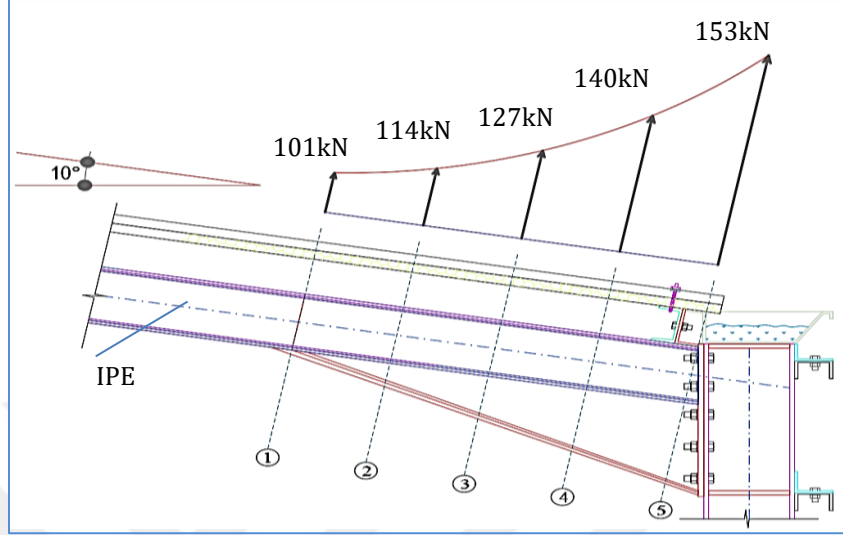
$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_d} \cong \frac{47,615\text{kN}}{2471,17\text{kN}} \cong 0,019 < 0,2 \text{ için;}$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \cong \frac{47,615\text{kN}}{2 \times 2471,17\text{kN}} + \frac{152,74\text{kNm}}{535,52\text{kNm}} \cong 0,295 \leq 1,0 \quad (5.83)$$

Kolon – kiriş birleşimdeki kesitlerin kesit dayanımının uygulanan kuvvetlerden daha büyük olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla, birleşim bölgesi için teşkil edilen kesitin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

## Kesit Dayanımı

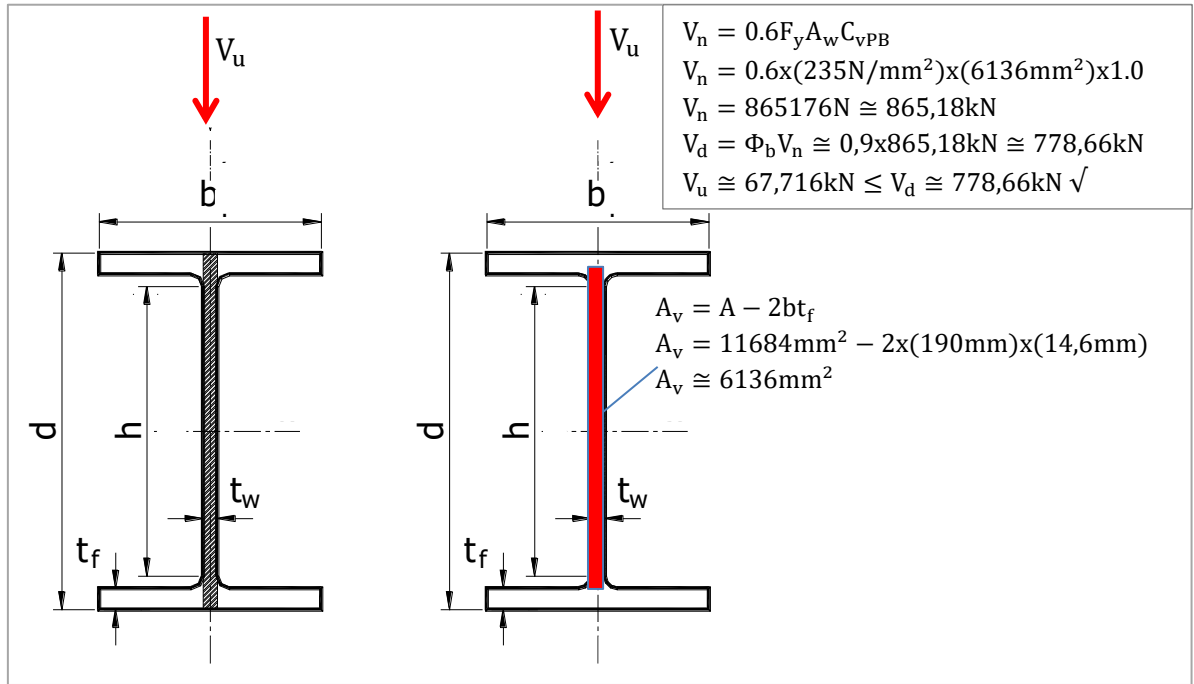
Kolon – kiriş birleşimi Şekil 5.39'daki moment diyagramı esas alınarak tasarlanmıştır.



Şekil 5. 39 Birleşim bölgesi moment diyagramı

## Kesme Kuvveti Etkisi

Kesit No.5 kesilme alanı yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Kesit No.5 için Şekil 5.40'da verilmiştir. Diğer kesitler için Çizelge 5.14'te verilmektedir.



Şekil 5. 40 Gövde enkesitin taşıma gücü



Kesme kuvveti ve eğilme momenti bir kesit üzerinde aynı anda etki ettiğinde, kesme kuvveti, plastik makaslama direncinin %50'sinden azsa, ihmal edilebilir.

$$V_u \cong 67,716\text{kN} \leq 0,5 * V_d \cong 0,5 \times 778,66\text{kN} \cong 389,33 \sqrt$$

Bu nedenle kesme kuvvetinin moment direnci üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir. Diğer kesitler için; Çizelge 5.14'te kesilme direnci doğrulamasını özetlemektedir :

Çizelge 5. 14 Kesitlerin 1 ile 5 arası kesilme kontrolü

Kesit No	Gövde alanı, A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	V <sub>p</sub> (kN)	V <sub>d</sub> (kN)	V <sub>Ed</sub> (kNm)	V <sub>Ed</sub> ≤ V <sub>d</sub>	0.5xV <sub>d</sub> (kN)	Eğilme ve Kesme Etkileşimi
1	4332,0	235	610,81	549,73	-61,734	<b>Evet</b>	<b>274,87</b>	ihmal
2	4651,0	235	655,79	590,21	-63,229	<b>Evet</b>	<b>295,11</b>	ihmal
3	5140,0	235	724,74	652,27	-64,627	<b>Evet</b>	<b>326,14</b>	ihmal
4	5638,0	235	794,96	715,46	-66,221	<b>Evet</b>	<b>357,73</b>	ihmal
5	6136,0	235	865,18	778,66	-67,716	<b>Evet</b>	<b>389,33</b>	ihmal

Böylece; birleşiminde teşkil edilen kesitlerin kesme kuvveti tasarım değeri karşılamaktadır.

#### Eksenel Basınç Kuvveti Etkisi

Kesit No.5 eksenel basınç kuvveti etkisi :

$$P_n = F_y A_g \cong (235\text{N/mm}^2) \times (11684\text{mm}^2) \times 10^{-3} \cong 2745,74\text{kN}$$

$$P_u \cong -47,615\text{kN} \leq P_d = \Phi_b P_n \cong 0,9 \times 2745,74\text{kN} \cong 2471,17\text{kN} \sqrt$$

Diğer kesitlerde de benzer bir hesaplama yapıldı. Aşağıdaki Çizelge 5.15'te tüm kesitlerin eksenel kuvvet etkisi doğrulamasını özetlemektedir :

Çizelge 5. 15 Kesitlerin 1 ile 5 arası basınç etkisi kontrolü

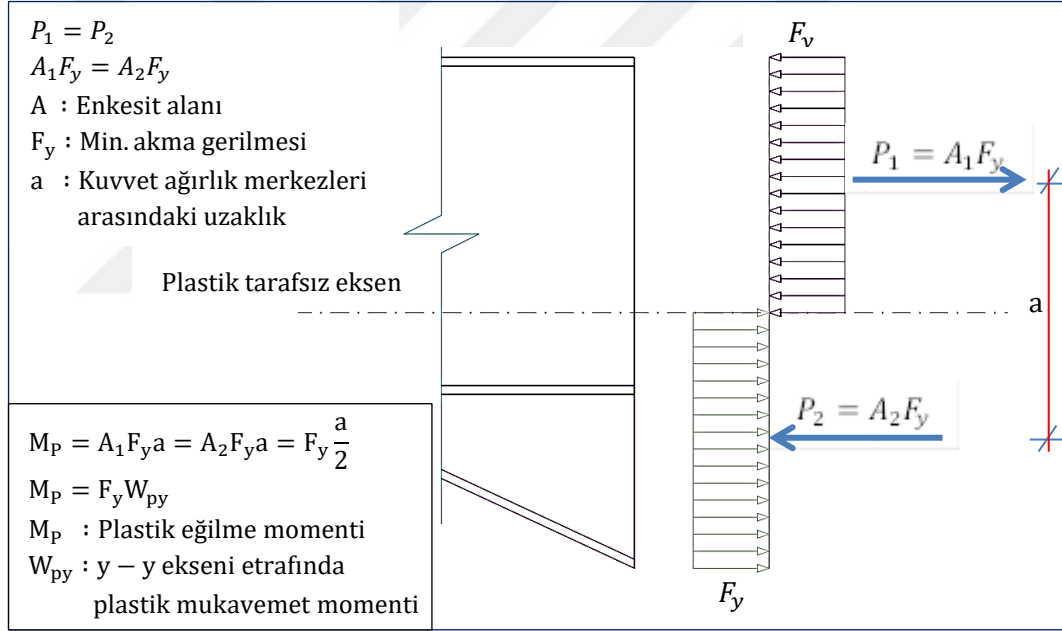
Kesit No	Kesme Derinliği (mm)	Toplam Derinlik (mm)	Brüt alan, A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	P <sub>p</sub> (kN)	P <sub>d</sub> (kN)	N <sub>Ed</sub> (kNm)	Kesit Kontrolü
1	0	450	9880	235	2321,8	2089,62	-46,358	√
2	200	524	10199	235	2396,77	2157,10	-46,673	√
3	400	576	10688	235	2511,68	2260,51	-46,987	√
4	600	629	11186	235	2628,71	2365,84	-47,301	√
5	800	682	11684	235	2745,74	2471,17	-47,615	√

### Eğilme Momenti Etkisi

Gözönüne alınan enkesitte uygulanan eğilme momenti için alt lifler basınç etkisinde iken, üst lifler çekme etkisindedir.

Kolon – kiriş birleşim enkesiti tam olarak plastikleşene kadar stabil kalacak şekilde (yerel ve yanal burkulma sınır durumuna ulaşılmadan) boyutlandırılırsa, enkesit plastik moment dayanımına ulaşabilir. Bu durumda, kesitin karakteristik moment dayanımı plastik moment dayanımına ulaşır.

Şekil 5.41’de kesitin akma sınır durumu için gerilme etkisi gösterilmektedir. Buna göre, Çizelge 5.16’da eğilme momenti dayanımına göre kesit kontrolü yapılmıştır.



Şekil 5. 41 Kolon – kiriş birleşim bölgesi akma sınır durumu

Çizelge 5. 16 Eğilme momenti dayanımına göre kesit kontrolü

Kesit No	Kesme Derinliği (mm)	Toplam Derinlik (mm)	Brüt alan, A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	W <sub>min</sub> (cm <sup>3</sup> )	M <sub>p</sub> (kNm)	M <sub>d</sub> (kN)	M <sub>Ed</sub> (kNm)	Kesit Kontrolü
1	0	450	9880	235	1500	352,50	317,25	<b>-101,24</b>	√
2	200	524	10199	235	1810	425,35	382,81	<b>-113,57</b>	√
3	400	576	10688	235	2039	479,17	431,25	<b>-126,63</b>	√
4	600	629	11186	235	2282	536,27	482,64	<b>-139,68</b>	√
5	800	682	11684	235	2532	595,02	535,52	<b>-152,74</b>	√

### Bileşik Etkiler Etkisi

Bileşik etkiler etkileşimi, 5 nolu kesit için Denk.(5.84) ile doğrulanmıştır.

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_d} \cong \frac{47,615\text{kN}}{2471,17\text{kN}} \cong 0,019 < 0,2 \text{ için;}$$

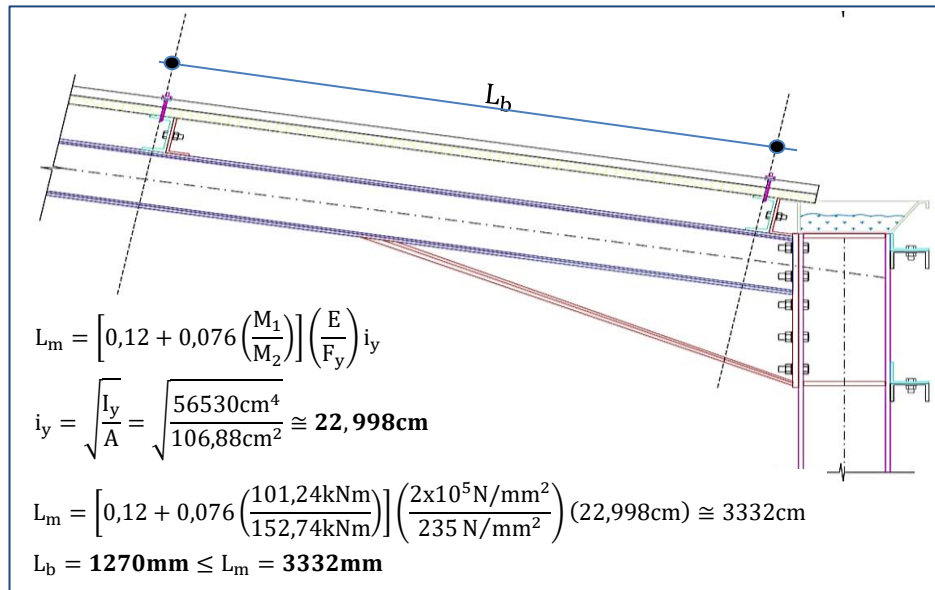
$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \cong \frac{47,615\text{kN}}{2 \times 2471,17\text{kN}} + \frac{152,74\text{kNm}}{535,52\text{kNm}} \cong 0,295 \leq 1,0 \quad (5.84)$$

Diğer kesitlerin eğilme momenti direnci doğrulamasını Çizelge 5.17’de özetlemektedir.

Çizelge 5. 17 Kesitlerin 1'den 5'e kadar olan kesitlerin doğrulanması

Kesit No	Brüt alan, A (mm <sup>2</sup> )	P <sub>d</sub> (kN)	N <sub>Ed</sub> (kNm)	$\frac{P_u}{P_d}$	M <sub>d</sub> (kN)	M <sub>Ed</sub> (kNm)	$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}}$	Kesit Kontrolü
1	9880	2089,62	-46,358	0,0222	317,25	<b>-101,24</b>	<b>0,330</b>	√
2	10199	2157,10	-46,673	0,0216	382,81	<b>-113,57</b>	<b>0,308</b>	√
3	10688	2260,51	-46,987	0,0208	431,25	<b>-126,63</b>	<b>0,304</b>	√
4	11186	2365,84	-47,301	0,0199	482,64	<b>-139,68</b>	<b>0,299</b>	√
5	11684	2471,17	-47,615	0,0193	535,52	<b>-152,74</b>	<b>0,295</b>	√

TÇY 2018§5.2.7 ye göre, kirişlerde yeniden dağılım prensibinin uygulanabilmesi için, yeniden dağılımın uygulanacağı mesnete komşu kiriş açıklığında basınç başlığının yanıl olarak desteklenmeyen uzunluğu, L<sub>b</sub> , TÇY 2018§5.13.5’e göre L<sub>m</sub> değerini aşmamalıdır.



Şekil 5. 42 Tipik birleşim detayı

### 5.6.5. Tip 3 Portal Çerçeve Yapısının Maliyeti

Tip 3 portal çerçeve yapısının maliyeti, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yöntemleri için Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5. 18 Tip 3 yapısının tasarım türleri için maliyeti

Tasarım Türü	Kullanım Alanı	Eleman	Miktar	Birim Fiyat (TL)	Genel Maliyet (TL)
YDKT	Çatı Kaplaması	Poliüretan Sandviç Panel	548,40m <sup>2</sup>	75,45	41 376,78
	Çatı Aşığı	UPN 100	5 088,00kg	2 670,00	13 584,96
	Çerçeve Kirişleri	IPE 450	8 511,17kg	2 670,00	22 724,82
	Çerçeve Kolonları	HEA 260	4 910,40kg	2 670,00	13 110,77
	Çelik Kontriksüyon İşçiliği		18 509,57kg	2 840,00	52 567,18
	Çatı Kaplaması İşçiliği		548,40m <sup>2</sup>	5,50	3 016,20
	<b>Toplam Maliyet</b>				
GKT	Çatı Kaplaması	Poliüretan Sandviç Panel	548,40m <sup>2</sup>	75,45	41 376,78
	Çatı Aşığı	UPN 100	5 088,00kg	2 670,00	13 584,96
	Çerçeve Kirişleri	IPE 550	11 626,08kg	2 670,00	31 041,63
	Çerçeve Kolonları	HEA 280	5 500,80kg	2 670,00	14 687,14
	Çelik Kontriksüyon İşçiliği		22 214,88kg	2 840,00	63 090,26
	Çatı Kaplaması İşçiliği		548,40m <sup>2</sup>	5,50	3 016,20
	<b>Toplam Maliyet</b>				

Çizelge 5.18'de tasarım türleri için verilen maliyetlerde; kaynak hesabı ve temel ankrajı, çelik konstrüksiyon işçiliğinin içine dahil edilmiştir.

## 6. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ

Önceki bölümde ayrıntılı olarak ele alınan çelik portal çerçeve yapıların tasarım türleri için analiz ve tasarımını irdeledik. Bu bölümde ise, tüm bu nicel araştırmaların sonucunu nitel olarak değerlendirecek, özellikle yönetmeliklerin geliştirilmesi ve en uygun tasarım yöntemleri nasıl olabilir sorusunun cevabını arayacağız.

### 6.1. Veri Toplama

Bu çalışma kapsamında amacımız çelik sanayi yapılarını TÇY 2018 yönetmelik esasları bakımında ve bunun yalın üretim tekniğine uygunluğunu irdelemek olduğu için farklı tip yapılar için analiz ve tasarım çalışmaları yapıldı.

Veri toplamaya ilk olarak yabancı ülkelerin yönetmeliklerini irdemeyle başladık. Sonraki aşamada, ülkemizde kullanılan TÇY 2018 ve TBDY 2018 yönetmelikleri irdelendi ve diğer yönetmeliklerle olan ilişkilerini araştırdık.

Veriler toplandıktan sonra, farklı tip portal çerçeve çelik yapılar için analiz ve tasarım çalışmaları yapıldı. Tasarım türlerinin avantaj ve dezavantajları irdelendi.

Tasarım türlerini yapı tasarımında ekonomik ve kullanılabilir açıdan inceledik. Bu irdemeleri yaparken çeşitli tasarım parametreleri dikkate alınmıştır. YDKT için en ekonomik yapılar elde edilirken, GKT için yapı daha güvenli tarafta kalmaktadır.

Ülkemizde 2018 yılı itibari ile yürürlüğe giren, TÇY 2018 ve TBDY 2018'in anlaşılabilirliği ve yorumlanabilirliği için genel hesap esaslarını ve kurallarının bu çalışmaya paralel irdelenmesi fayda sağlayacaktır. Çünkü yönetmeliğin sağlıklı bir şekilde uygulamaya konulması zaman alacaktır. Bu nedenle, yapılacak akademik çalışmalar yönetmeliğin uygulanmasında rehberlik teşkil edecektir.

### 6.2. Yazılı Programın Geliştirilmesi

Bu çalışma kapsamında, iki boyutlu yazılım programı yazılmıştır. C++ yazılım programı kullanılarak iki boyutlu analiz yapabilen yazılmıştır. Bu program, matris deplasman yöntemi baz alınarak yazılmıştır.

C++ yazılım programı ile geliştirilen program, SAP 2000 v19.2.1 programı ile karşılaştırılmıştır. Farklı tip yapılar ele alınarak analiz sonuçları irdelenmiştir. Analizlerin karşılaştırılmasında aynı sonuçlar elde edilmiştir.

İki boyutlu analiz yapabilen bu program, üç boyutlu analiz için geliştirilebilir ve tasarım için kullanılabilir.



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bahse konu olan Tip 1, Tip 2 ve Tip 3 yapıları için; Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yöntemleri ile analiz ve tasarımı yapılmıştır. Bu portal çerçeveli çelik yapılar için; çeşitli parametreler karşılaştırılmışlardır.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular ışığında portal çerçeve taşıyıcı sistemlere ait karşılaştırmalı maliyet analizi yapılarak sonuçlar Çizelge 7.1 ve Çizelge 7.2’de özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 7. 1 Yapı maliyetleri ve çelik konstrüksiyon ağırlıklarının karşılaştırılması

Yapı Tipi	Tasarım Türü	Yapı Maliyeti (TL)	Yapı Maliyeti Fiyat Farkı (TL)	Yapı Maliyeti Fiyat Farkı (%)	Yapı Çelik Konstrüksiyon Ağırlığı (kg)	Yapı Çelik Konstrüksiyon Ağırlığı Farkı (kg)	Yapı Çelik Konstrüksiyon Ağırlığı Farkı (%)
Tip 1	YDKT	102 979,28	8 408,26	8,17	13 837,30	1 526,00	11,03
	GKT	111 387,54			15 363,30		
Tip 2	YDKT	123 944,91	9 629,25	7,77	15 777,60	1 747,40	11,08
	GKT	133 574,16			17 525,00		
Tip 3	YDKT	146 380,71	20 416,26	13,95	18 509,57	3 705,31	20,00
	GKT	166 796,97			22 214,88		

Çizelge 7.1’e göre; Tasarım yöntemleri açısından yapı maliyeti kıyaslandığında; Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yönteminde daha ekonomik olmaktadır. Yapı maliyeti; Tip 1 için %8,17, Tip 2 için %7,77, Tip 3 için %13,95 seviyesinde bir fark oluşmaktadır. Buda yapı maliyet açısından önem arz etmektedir.

Çizelge 7.1’e göre; çelik konstrüksiyün açısından kıyaslama yapıldığında; Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemi, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yönteminde daha ekonomik olmaktadır. Çelik konstrüksiyün ağırlığı; Tip 1 için %11,03, Tip 2 için %11,08, Tip 3 için %20,00 seviyesinde bir fark oluşmaktadır. Bu verilere göre; portal çerçeve açıklığı artıkça tasarım yöntemleri için yapı ağırlıkları arasındaki fark artmaktadır.

Çizelge 7. 2 yapı birim maliyetleri

Yapı Tipi	Tasarım Türü	Yapı Maliyeti Birim Fiyatı (TL/m <sup>2</sup> )	Yapı Maliyeti Birim Fiyat Farkı (TL/m <sup>2</sup> )	Yapı Maliyeti Birim Fiyat Farkı (%)
Tip 1	YDKT	286,05	23,36	8,17
	GKT	309,41		
Tip 2	YDKT	275,43	21,40	7,77
	GKT	296,83		
Tip 3	YDKT	271,08	36,97	13,63
	GKT	308,05		

Hangi tasarım yöntemi kullanılırsa kullanılsın; portal çerçeve açıklığı artıca ekonomiklik açısından uygun olmaktadır. Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yönteminde daha ekonomik sonuçlar elde edilmektedir.

Taşıyıcı sistemde kullanılabilirlik sınır durumu açısından karşılaştırıldığında, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yöntemi, Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yönteminde daha güvenli tarafta kalmaktadır.

Taşıyıcı sistemde kullanılabilirlik sınır durumu açısından Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemleri düşey yerdeğiştirme (sehim) limitleri karşılaştırıldığında, Tip 1 yapısı için, %45,24, Tip 2 yapısı için, %35,11 ve Tip 3 yapısı için, %55,23 oranında bir fark oluşmaktadır.

Taşıyıcı sistemde kullanılabilirlik sınır durumu açısından Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yöntemleri yatay yerdeğiştirme (sehim) limitleri karşılaştırıldığında, Tip 1 yapısı için, %45,24, Tip 2 yapısı için, %34,53 ve Tip 3 yapısı için, %37,86 oranında bir fark oluşmaktadır.

Taşıyıcı sistem eleman bazında karşılaştırıldığında Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yönteminde daha büyük ebatlı kesitler kullanılmaktadır.

Birleşim elemanları açısından ele alındığında, Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yöntemde elemanlar daha büyük kesit tesirlerine maruz kaldıklarından fazla sayıda birleşim elemanı çıkması da doğal karşılanmalıdır.



Çelik malzeme ile inşa edilmesi planlanan bir yapı iki ayrı hesap yöntemiyle boyutlandırılabilir. Ama mühendisin üç temel amacı olan ekonomiklik, güven ve estetiğe en yakın yöntem plastik hesap yöntemidir.

Ülkemizde boyutlandırmada Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) hesaptan ziyade Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) hesap yöntemi kullanılmaktadır. Oysa YDKT hesap GKT hesaba göre çözümü , özellikle kirişlerde çok daha ince kesitlere götüren bir hesap yöntemidir.

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yönteminin daha da geliştirilmesiyle çelik maliyetinin aşağı çekilmesi sonucu çelik kullanımı artacaktır. Çelik kullanımının artması sonucu şu an çelik üretim ve montaj fabrikaları ve vasıflı işçi artacaktır. Fabrikaların artması sonucu nakliye bedelleri; vasıflı işçi artması sonucu işçilik bedelleri daha da azalacaktır.

Araştırmada elde edilen bulguların, çelik sanayi yapıların daha ekonomik biçimde inşa edilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, TÇY 2018 ve TBDY 2018'in farklı taşıyıcı yapılar içinde irdelenmesi gerekmektedir. Bu bölümde elde edilen verilerin yönetmeliklerin sağlıklı bir şekilde uygulaması ve konunun hassasiyetini vurgulamak için önemli bir çalışma olduğuna inanıyorum.

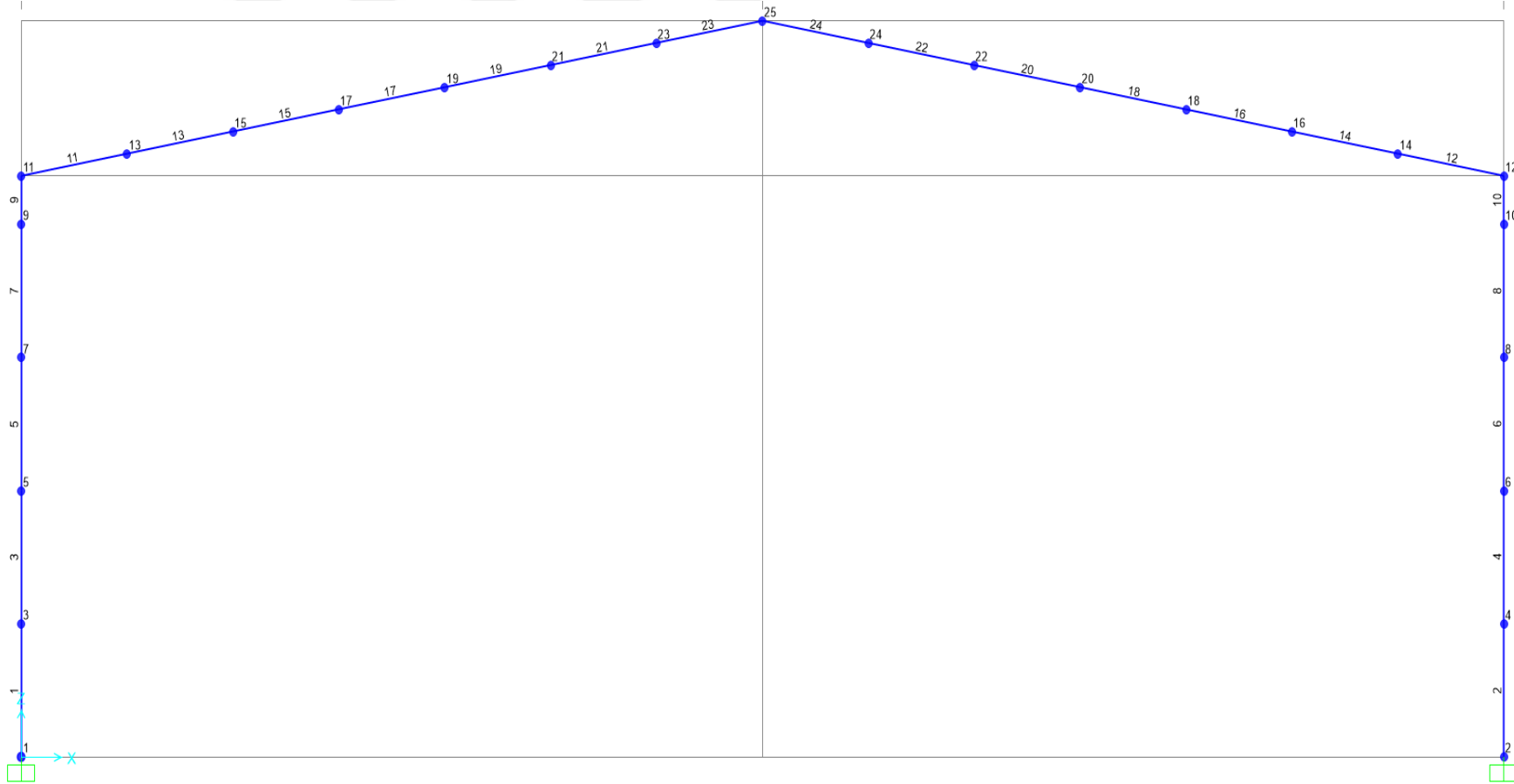
## 8. KAYNAKLAR

- [1] AY, Z., ÇELİK, İ. D. ve KIMLLI, N. A., 2008, “Çaprazlı çelik çerçevelerin sismik performansı üzerine bazı değerlendirmeler”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24 (1-2): 216 - 226.
- [2] TS EN 1991-1-4, 2007. “Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4 : Genel Etkiler - Rüzgar Etkileri (EUROCODE 1)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [3] ALTAY, G. ve GÜNEYİSİ, E. M., 2003, “Türkiye’de Yapısal Çelik Sektörü ve Yeni Gelişimler”, *Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Dergisi*, 171-203.
- [4] EN 1993-1-1, 2005. “Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings”, *European Standard*, Brussels.
- [5] ZORLU, M. ve YORGUN, C., 2007, “Çelik Yapılarda Moment Çerçevelerinin Süneklik Düzeyini Belirleyen Tasarım Kuralları’nın Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-308.
- [6] ŞENGEL, S. ve KIRAÇ, N.; 2003, “Çelik Yapılarda Elastik ve Plastik Yöntem Çözümleri ve Birleşimler”, *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi*, C.XVII, S.1: 30 - 42.
- [7] TANSEL, M. ve TEMEL, B., 2010, “Çok Katlı Çelik Yapıların 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Analiz Ve Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 10-155.
- [8] TURGUT, C. U. ve YORGUN, C., 2009, “Dış Merkez Çelik Çapraz Perdel, Bir Yapının DBYBHY 2007 Kurallarına Göre Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 27-103.
- [9] ŞİRİKÇİ, İ. ve KÖSE, M. M., 2006, “Çelik Bir Sistemin Elastik Ve Plastik Analiz Sonuçlarının Betonarme Sistemle Maliyet Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 39-41.

- [10] YAVUZ, B. ve OLGUN, M., 2008, “Hayvansal Üretim Yapılarında Kullanılan Taşıyıcı Sistemlerin Ekonomik Yönden Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-99.
- [11] TÇY 2018, 2016, “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [12] ATEŞ, Ş., AKKÖSE, M. ve ADANUR, S., 2013, “Matris Yöntemler”, Yapı Sistemlerinin Çözümünde Matris Yerdeğiştirme Yöntemi, C.VII, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Ana Bilim Dalı*, Trabzon, 1 - 27.
- [13] TS EN 1991-1-3, 2007, “Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3 : Genel Etkiler - Kar Etkileri (EUROCODE 1)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [14] TBDY 2018, 2018, “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [15] CİVELEK, O. ve PİROĞLU, F., 2010, “Süneklik Düzeyi Yüksek Çok Katlı Bir Çelik Yapının Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 23-131.
- [16] ÇAĞDAŞ, S., 2016, “UYGULAMALI SAP 2000: Yapı Sistemlerin Modellenmesi”, *İstanbul Gelişim Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 590.
- [17] AYDIN, R. ve GÜNAYDIN, A., 2017, “ÇELİK YAPILAR: Tasarım Kuralları ve Uygulama Örnekleri, Y. 0029”, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 479.
- [18] DEREN, H., UZGİDER, E., PİROĞLU, F. ve ÇAĞLAYAN, Ö., 2017, “ÇELİK YAPILAR: 2007 Deprem Yönetmeliğine Uyarlanmış Emniyet Gerilmesi Esasına Göre Hesap”, *Çağlayan Yayınevi*, İstanbul, 951.
- [19] KILIÇ URFALI, F. ve BİRGİN, C., 2012, “Güncel Çelik Yapı Sistemlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 157-173.

## EKLER

### EK 4A : Tip 3 Yapısının Eleman İç Kuvvetleri



Şekil EK 4A. 1 Portal çerçeve bilgileri

Çizelge EK 4A. 1 Elverişsiz yük birleşimleri etkisinde elemanlarda oluşan iç kuvvetler

Eleman	Düğüm	Değer	F1	F3	M2
1	1	Max	34,964	98,113	79,0717
1	3	Max	33,269	28,128	34,7312
1	1	Min	-39,308	-27,51	-84,6276
1	3	Min	-34,964	-97,084	-30,9962
2	2	Max	-14,982	98,113	-30,7587
2	4	Max	39,956	15,596	45,3976
2	2	Min	-39,956	-14,978	-100,3371
2	4	Min	9,644	-97,084	12,654
3	3	Max	34,964	95,004	30,9962
3	5	Max	27,23	29,994	19,8121
3	3	Min	-33,269	-29,376	-34,7312
3	5	Min	-34,964	-93,974	-6,8615
4	4	Max	-9,644	95,004	-12,654
4	6	Max	39,904	17,462	4,2368
4	4	Min	-39,904	-16,844	-45,3976
4	6	Min	2,599	-93,974	-17,0793
5	5	Max	34,964	91,894	6,8615
5	7	Max	21,191	31,86	65,1548
5	5	Min	-27,23	-31,242	-19,8121
5	7	Min	-34,964	-90,864	-40,1506
6	6	Max	-2,599	91,894	17,0793
6	8	Max	39,799	19,328	5,5072
6	6	Min	-39,799	-18,71	-4,2368
6	8	Min	-4,447	-90,864	-65,1548
7	7	Max	34,964	88,784	40,1506
7	9	Max	15,152	33,726	113,2304
7	7	Min	-21,191	-33,108	-65,1548
7	9	Min	-34,964	-87,754	-65,136
8	8	Max	4,447	88,784	65,1548
8	10	Max	39,641	21,193	16,4652
8	8	Min	-39,641	-20,576	-5,5072
8	10	Min	-11,492	-87,754	-118,7001
9	9	Max	34,964	85,674	65,136
9	11	Max	12,956	35,198	130,7124
9	9	Min	-15,152	-34,974	-113,2304
9	11	Min	-34,964	-85,3	-72,1629
10	10	Max	11,492	85,674	118,7001
10	12	Max	39,465	22,666	22,8517
10	10	Min	-39,465	-22,441	-16,4652

10	12	Min	-14,054	-85,3	-138,4325
11	11	Max	34,964	80,5	72,1629
11	13	Max	14,835	28,315	42,2455
11	11	Min	-12,956	-38,078	-130,7124
11	13	Min	-35,485	-69,64	-32,6573
12	12	Max	14,054	80,5	138,4325
12	14	Max	35,962	21,53	-4,1013
12	12	Min	-35,441	-25,546	-22,8517
12	14	Min	-14,912	-69,64	-59,1481
13	13	Max	35,485	69	32,6573
13	15	Max	15,933	23,331	-3,2109
13	13	Min	-14,835	-28,699	-42,2455
13	15	Min	-36,006	-58,14	-46,3209
14	14	Max	14,912	69	59,1481
14	16	Max	36,01	17,898	31,3166
14	14	Min	-35,489	-21,914	4,1013
14	16	Min	-15,769	-58,14	-26,1888
15	15	Max	36,006	57,5	46,3209
15	17	Max	16,875	19,223	20,6423
15	15	Min	-15,933	-23,715	3,2109
15	17	Min	-36,527	-46,64	-92,9536
16	16	Max	15,769	57,5	26,1888
16	18	Max	36,527	14,267	89,9739
16	16	Min	-36,006	-18,282	-31,3166
16	18	Min	-16,627	-46,64	-43,4108
17	17	Max	36,527	46	92,9536
17	19	Max	17,818	15,115	38,999
17	17	Min	-16,875	-19,607	-20,6423
17	19	Min	-37,049	-35,14	-133,7265
18	18	Max	16,627	46	43,4108
18	20	Max	37,049	10,635	133,7265
18	18	Min	-36,527	-14,651	-89,9739
18	20	Min	-17,485	-35,14	-55,7672
19	19	Max	37,049	34,5	133,7265
19	21	Max	18,76	11,008	51,8592
19	19	Min	-17,818	-15,499	-38,999
19	21	Min	-37,57	-23,64	-162,5742
20	20	Max	17,485	34,5	55,7672
20	22	Max	37,57	7,003	162,5742
20	20	Min	-37,049	-11,019	-133,7265
20	22	Min	-18,342	-23,987	-63,2581
21	21	Max	37,57	23	162,5742

21	23	Max	19,702	6,9	59,2228
21	21	Min	-18,76	-11,392	-51,8592
21	23	Min	-38,091	-12,14	-176,5172
22	22	Max	18,342	23,347	63,2581
22	24	Max	38,091	2,9	176,5172
22	22	Min	-37,57	-7,387	-162,5742
22	24	Min	-19,284	-14,132	-65,8313
23	23	Max	38,091	11,5	176,5172
23	25	Max	20,644	4,467	61,09
23	23	Min	-19,702	-7,284	-59,2228
23	25	Min	-38,612	-0,64	-175,5554
24	24	Max	19,284	13,492	65,8313
24	25	Max	38,612	-0,64	175,5554
24	24	Min	-38,091	-3,284	-176,5172
24	25	Min	-20,644	-5,491	-61,09

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YILDIZ, Ömer

Uyruğu : T.C.

Doğum tarihi ve yeri : 05.06.1987

Medeni hali : Bekar

Telefon : 0 (539) 241 84 84

e-mail : yildiz1768@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Uşak Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2018
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2010
Lise	Büyükçekmeçe Lisesi	2006

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-	Nizam İnşaat A.Ş. Uşak	İnşaat Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

–

### Hobiler

Kitap okuma, geziler, araştırma ve projeler