



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TS648 VE 2016 TÜRK ÇELİK YÖNETMELİĞİNE GÖRE
ÇELİK YAPILARIN HESAP VE TASARIM ESASLARININ İRDELENMESİ

ASİYE KARAYER

Temmuz 2020

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

TS648 VE 2016 TÜRK ÇELİK YÖNETMELİĞİNE GÖRE
ÇELİK YAPILARIN HESAP VE TASARIM ESASLARININ İRDELENMESİ

Asiye KARAYER

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

Temmuz 2020

Asiye KARAYER tarafından **Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN** danışmanlığında hazırlanan “**TS648 ve 2016 Türk Çelik Yönetmeliğine Göre Çelik Yapıların Hesap ve Tasarım Esaslarının İrdelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç. Dr. İbrahim Özgür DENEME, Aksaray Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../2020

Prof. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel 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.

Asiye KARAYER



ÖZET

TS648 VE 2016 TÜRK ÇELİK YÖNETMELİĞİNE GÖRE ÇELİK YAPILARIN HESAP VE TASARIM ESASLARININ İRDELENMESİ

KARAYER, Asiye

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

Temmuz 2020, 118 sayfa

Bu tez çalışmasında, Türkiye’de çelik yapıların tasarımına ilişkin Çelik Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları (TS648) Standardı ile Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE) yönetmeliği ilkelerine göre çelik yapıların hesap ve tasarım esasları irdelenmiştir. Çalışmada tek katlı basit hangar yapı ile dört katlı düşey çerçeve sistemden oluşan iki yapı örneği, TS648 Standardı ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) ilkeleri dikkate alınarak SAP2000 programında modellenerek statik analizleri ve boyutlandırılmaları yapılmıştır. Aynı yapı örnekleri, DBYBHY hususları sabit tutularak ÇYTHYE’ye göre analiz edilmiş ve boyutlandırılmıştır. Kullanılan kesitler sabit tutularak TS648 ve ÇYTHYE’ye göre kat ağırlıkları, periyot değerleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemesi, ikinci mertebe etkileri, A1 burulma düzensizliği, B2 yumuşak kat düzensizliği ve kapasite oranları karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı yapı modellerinin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ve ÇYTHYE’ye göre analizi ve boyutlandırılması yapılmıştır. Bu çalışmada çelik yapıların tasarımında ÇYTHYE ve TBDY’ye göre tasarımın TS648 ve DBYBHY’ye göre, daha hassas ve optimum çözüm olanağı sunduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: TBDY 2018, DBYBHY 2007, düzensizlik kontrolleri, ÇYTHYE

SUMMARY

EXAMINATION OF THE ACCOUNT AND DESIGN PRINCIPLES OF STEEL STRUCTURES ACCORDING TO TS648 AND 2016 TURKISH STEEL CODE

KARAYER, Asiye

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Professor Dr. Metin Hakan SEVERCAN

July 2020, 118 pages

In this thesis study, the principles of calculation and design of steel structures are examined according to the Standards of Calculation and Design of Steel Structures (TS648) and Principles Regarding the Design, Calculation and Construction of Steel Structures (ÇYTHYE). In the study, two examples of two structures consisting of a simple one-storey hangar structure and a four-storey vertical frame system were modeled separately in the SAP2000 program. The static analysis and dimensioning of the hangar building samples, which were modeled first, were taken into consideration by taking into consideration the principles of TS648 and the DBYBHY. The same examples were analyzed and designed according to ÇYTHYE, keeping the principles of DBYBHY constant. the sections used constant and according to TS648 and ÇYTHYE floor weights, period values, floor shear forces, relative floor displacement, second order effects, A1 torsional irregularity, B2 soft floor irregularity and capacity ratios were compared. Later, of the same building models analyzed and designed according to Turkey Eartquake Building Regultions (TBDY). In this study, it has been concluded that the design offers more precise and optimum solution compared to TS648 and DBYBHY in the design of steel structures compared to ÇYTHYE and TBDY.

Keywords: TBDY 2018, DBYBHY 2007, irregularity checks, ÇYTHYE

ÖN SÖZ

Bu çalışmada Türkiye’de çelik yapıların tasarımına ilişkin 1980 yılından 2016 yılına kadar geçerliliği kabul edilen Çelik Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları adı altında geçen TS648 Standardı ile 2016 yılından itibaren yürürlüğe konulan ve 15 Şubat 2018 tarihinde güncellenen Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE) yönetmeliği ilkelerinin çelik yapılar üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Çalışmada inşaat mühendislerinin sıkça kullandığı yapısal analiz programı olan SAP2000 programı kullanılarak hangar yapı modeli ve düşey çerçeve sistemleri modellenmiş ve DBYBHY ilkeleri dikkate alınarak TS648 ve ÇYTHYE’ye göre analizi ve boyutlandırılması yapılmıştır. Bu analiz sonucunda yapılara ait elde edilen kat ağırlıkları, periyot değerleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebe etkileri, A1 burulma düzensizliği, B2 yumuşak kat düzensizliği ve kesit kapasite oranları karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı yapı örneklerinin TBDY ilkeleri dikkate alınarak ÇYTHYE’ye göre analizi ve boyutlandırılması yapılmış ve yeni deprem yönetmeliğinin çelik yapılar üzerindeki etkisi ortaya konmuştur.

Hem lisans dönemimde hem de yüksek lisans dönemimde, hayatıma ve çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yol gösteren İnşaat Mühendisi Gökhan BAŞBUĞU’ya, İnşaat Mühendisi Hasan ÜÇE’ye, İnşaat Mühendisi Turgay Köse’ye ve İnşaat Yüksek Mühendisi Mahmoud HASSAN’a saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda destek ve önerilerini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cüneyt VATANSEVER’e, Sayın Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU’na ve Sayın Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR’e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme minnettarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
BÖLÜM I. GİRİŞ	1
1.1 Önceki Çalışmalar	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	5
BÖLÜM II. DEPREME DAYANIKLI ÇELİK YAPILARIN HESAP VE TASARIMI. 6	
2.1 Depreme Dayanıklı Çelik Yapıların TS 648'e Göre Hesap ve Tasarımı	6
2.1.1 Tasarım esasları	6
2.1.2 Yük kabülleri	6
2.1.2.1 Yükleme durumları	7
2.1.2.2 TS 648'e göre yük kombinasyonları	7
2.1.3 Malzeme özellikleri	8
2.1.4 Yapılar için sehim değerleri	8
2.1.5 Emniyet gerilmesi yöntemi	9
2.1.6 Tahkikler	9
2.1.7 Boyutlandırmaya esas olan enkesitler	10
2.1.7.1 Kayıplı kesitler	10
2.1.7.2 Deformasyon hesabında enkesitler	10
2.1.7.3 Faydalı enkesit alanı (F_n)	10
2.1.7.4 Delik büyüklükleri	11
2.1.7.5 Korniyerlerde (köşebentlerde) ve U profillerde faydalı genişlik	11
2.1.8 DBYBHY enkesit koşulları	11
2.1.9 Kesit dayanımları	12
2.1.9.1 Çekme durumu	12
2.1.9.2 Merkezi basınca çalışan çubuklar	13

2.1.9.3 Burkulma sayıları yöntemi ile basınç gerilmesi kontrolü	15
2.1.9.4 Narinlik etkisi dikkate alınarak burkulma gerilmesi kontrolü	16
2.1.9.5 Eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar	18
2.2 Depreme Dayanıklı Çelik Yapıların ÇYTHYE'ye Göre Hesap ve Tasarımı	21
2.2.1 ÇYTHYE'ye göre çelik yapıların hesap ve tasarım kuralları	21
2.2.1.1 Malzeme özellikleri	21
2.2.1.2 Yük kabülleri	23
2.2.1.3 Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım	23
2.2.1.4 Güvenlik katsayıları ile tasarım	24
2.2.2 Tasarım ilkeleri	24
2.2.2.1 Genel esaslar	25
2.2.2.2 Tasarım prensipleri	25
2.2.2.3 Sınır durumlar	25
2.2.2.4 Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT)	25
2.2.2.5 Güvenlik katsayıları ile tasarım (GKT)	26
2.2.2.6 Eksenel çekme kuvveti etkisi	26
2.2.2.6.1 Narinlik oranı sınırı	26
2.2.2.6.2 Kayıpsız ve net enkesit alanları	26
2.2.2.6.3 Etkin net enkesit alanı	26
2.2.2.6.4 Çekme kuvveti dayanımı	28
2.2.2.6.5 Akma sınır durumu	28
2.2.2.6.6 Kırılma sınır durumu	28
2.2.2.7 Eksenel basınç kuvveti etkisi	29
2.2.2.7.1 Narinlik oranı sınırı	29
2.2.2.7.2 Tasarım esasları	29
2.2.2.7.3 Karakteristik basınç kuvveti dayanımı	29
2.2.2.7.4 Eğilmeli burkulma sınır durumu	30
2.2.2.7.5 Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu ...	31
2.2.2.7.6 Narin enkesitli basınç elemanları	34
2.2.2.7.7 Narin enkesit parçalarında etkin alan	34
2.2.2.7.8 Boru enkesitli elemanlarda etkin alan	35
2.2.2.8 Genel esaslar ve yük kombinasyonları	35
2.2.2.9 Düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolleri	36
BÖLÜM III. UYGULAMA ÖRNEKLERİ	37

3.1 Uygulama I	37
3.1.1 Uygulama I'e ait özellikler	37
3.1.2 DBYBHY koşulları	42
3.1.2.1 Etkin yer ivme katsayısı	42
3.1.2.2 Bina önem katsayısı	42
3.1.2.3 Spektrum katsayısı	42
3.1.2.4 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı	43
3.1.3 TS648 ve DBYBHY'ye göre hesap ve tasarım	43
3.1.3.1 Kaplama yükü ağırlığı	43
3.1.3.2 Kar yükü hesabı	43
3.1.3.3 Rüzgâr yükü hesabı	43
3.1.3.4 Hareketli yük	44
3.1.3.5 Yapısal çelik malzeme sınıfı	44
3.1.3.6 Boyutlandırma kombinasyonları	44
3.1.3.7 Hesap adımları	45
3.1.3.8 Bina taşıyıcı sisteminin yapısal analizi	46
3.1.3.9 Göreli kat ötelemesi kontrolü	47
3.1.3.10 İkinci mertebe etkileri	47
3.1.3.11 Kesit kapasite oranları	48
3.1.4 ÇYTHYE ve DBYBHY'ye göre hesap ve tasarım	48
3.1.4.1 Yükleme ve kombinasyonlar	48
3.1.4.2 Kaplama yükü ağırlığı	49
3.1.4.3 Kar yükü hesabı	49
3.1.4.4 Rüzgâr yükü hesabı	49
3.1.4.5 Yükleme tipleri	52
3.1.4.6 Yük ve dayanım katsayılarına göre yükleme kombinasyonları	52
3.1.4.7 Güvenlik katsayılarına göre yükleme kombinasyonları	53
3.1.4.8 Bina taşıyıcı sisteminin hesap adımları	53
3.1.4.9 Etkin göreli kat ötelemesinin kontrolü	57
3.1.4.10 İkinci Mertebe Etkileri	58
3.1.4.11 Kesit kapasite oranları	58
3.1.5 ÇYTHYE ve TBDY'ye göre hesap ve tasarım	59
3.1.5.1 Bina kullanım sınıfı	59
3.1.5.2 Deprem tasarım sınıfı	59

3.1.5.3 Bina yükseklik sınıfı.....	61
3.1.5.4 Bina performans hedefi	61
3.1.5.5 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı.....	61
3.1.5.6 Yükleme ve kombinasyonlar.....	61
3.1.5.6.1 YDKT yöntemine göre düşey deprem etkisi	61
3.1.5.6.2 GKT yöntemine göre düşey deprem etkisi.....	63
3.1.5.7 Bina taşıyıcı sisteminin yapısal analizi	64
3.1.5.7.1 Etkin görel kat ötelemesinin kontrolü	64
3.1.5.7.2 İkinci merteye etkileri.....	65
3.1.5.7.3 Kesit kapasite oranları	65
3.2 Uygulama II	66
3.2.1 Uygulama II'ye ait özellikler.....	66
3.2.3 TS648 ve DBYBHY'ye göre hesap tasarım	70
3.2.3.1 Kaplama yükü ağırlığı.....	70
3.2.3.2 Kar yükü hesabı.....	70
3.2.3.3 Rüzgâr yükü hesabı	70
3.2.3.4 Boyutlandırma kombinasyonları	71
3.2.3.5 Hesap adımları.....	71
3.2.3.6 Bina taşıyıcı sisteminin yapısal analizi	71
3.2.3.6.1 Düzensizlik kontrolleri	71
3.2.3.6.2 Görel kat ötelemesi kontrolü	72
3.2.3.6.3 İkinci merteye etkileri.....	73
3.2.3.6.4 Kesit kapasite oranları	74
3.2.4 ÇYTHYE ve DBYBHY'ye göre hesap ve tasarım.....	74
3.2.4.1 Kaplama yükü ağırlığı.....	74
3.2.4.2 Kar yükü hesabı.....	74
3.2.4.3 Rüzgâr yükü hesabı	75
3.2.4.4 Yük kombinasyonları	76
3.2.4.5 Burulma ve yumuşak kat düzensizliği	76
3.2.4.6 Etkin görel kat ötelemesinin kontrolü	77
3.2.4.7 İkinci merteye etkileri	77
3.2.4.8 Kesit kapasite oranları	78
3.2.5 ÇYTHYE ve TBDY'ye göre hesap ve tasarım.....	79
3.2.5.1 Bina kullanım sınıfı	79

3.2.5.2 Deprem tasarım sınıfı	79
3.2.5.3 Bina yükseklik sınıfı.....	81
3.2.5.4 Bina performans hedefi	81
3.2.5.5 Yükleme ve kombinasyonlar.....	81
3.2.5.6 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı.....	81
3.2.5.7 Burulma ve yumuşak kat düzensizliği	81
3.2.5.8 Etkin görelî kat ötelemesinin kontrolü	82
3.2.5.9 İkinci mertebe etkileri	83
3.2.5.10 Kesit kapasite oranları	84
BÖLÜM IV. BULGU VE KARŞILAŞTIRMALAR	85
4.1 Hangar Yapı Modeline Ait Sonuçlar	85
4.1.1 Kat ağırlıklarının karşılaştırılması	85
4.1.2 Periyot değerlerinin karşılaştırılması.....	85
4.1.3 Kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	86
4.1.4 Görelî kat ötelemesinin karşılaştırılması	87
4.1.5 İkinci mertebe etkilerinin karşılaştırılması	88
4.1.6 Kapasite oranları.....	89
4.2 Çerçeve Sistem Modeline Ait Sonuçlar.....	99
4.2.1 Yapı ağırlıklarının karşılaştırılması	99
4.2.2 Periyot değerlerinin karşılaştırılması.....	99
4.2.3 Kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması	100
4.2.4 A1 burulma düzensizliği.....	101
4.2.5 B2 Yumuşak kat düzensizliği	102
4.2.6 Görelî kat ötelemesi değerleri.....	103
4.2.7 İkinci mertebe etkileri.....	105
4.2.8 Kapasite oranları.....	106
BÖLÜM V. SONUÇLAR.....	112
KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ	118

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Büyütme katsayıları	8
Çizelge 2.2. TS 648'e göre yapı çelikleri mekanik özellikleri	8
Çizelge 2.3. TS 648'e göre yapı çelikleri için emniyet gerilmeleri	9
Çizelge 2.4. Boyutlandırmaya esas olan en kesitler	10
Çizelge 2.5. Enkesit koşulları(DBYBHY 2007 Tablo 4.3)	12
Çizelge 2.6. St37 çeliği burkulma katsayısı (TS 648-1980 Çizelge 6)	17
Çizelge 2.7. St52 çeliği burkulma katsayısı (TS 648-1980 Çizelge 7)	18
Çizelge 2.8. Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerde karakteristik akma gerilmesi(F_y) ve çekme dayanımı(F_u) (ÇYTHYE 2018 Tablo2.1A) ...	21
Çizelge 2.9. Yapısal kutu ve boru profillerde karakteristik akma gerilmesi(F_y) ve çekme dayanımı(F_u) (ÇYTHYE 2018 Tablo 2.1B)	22
Çizelge 2.10. Narin enkesit parçalarında C_1 ve C_2 katsayıları	35
Çizelge 3.1. Görelî kat ötelemesi	47
Çizelge 3.2. Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	48
Çizelge 3.3. İkinci mertebe etkileri	48
Çizelge 3.4. TS648 kesit kapasite oranları	48
Çizelge 3.5. Görelî kat ötelemesi	57
Çizelge 3.6. Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	58
Çizelge 3.7. İkinci mertebe etkileri	58
Çizelge 3.8. YDKT kesit kapasite oranları	58
Çizelge 3.9. GKT kesit kapasite oranları	59
Çizelge 3.10. Görelî kat ötelemesi	65
Çizelge 3.11. İkinci mertebe etkileri	65
Çizelge 3.12. YDKT kesit kapasite oranları	66
Çizelge 3.13. GKT kesit kapasite oranları	66
Çizelge 3.14. $\mp X$ yönü için burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri	72
Çizelge 3.15. $\mp Y$ yönü burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri	72
Çizelge 3.16. $\mp X$ yönü görelî kat ötelemesi	72
Çizelge 3.17. $\mp Y$ yönü görelî kat ötelemesi	72

Çizelge 3.18. $\mp X$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	73
Çizelge 3.19. $\mp X$ yönü ikinci mertebe etikleri	73
Çizelge 3.20. $\mp Y$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	73
Çizelge 3.21. $\mp Y$ yönü ikinci mertebe etikleri	73
Çizelge 3.22. TS648'e göre kesit kapasite oranları	74
Çizelge 3.23. $\mp X$ yönü i"çin burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri	77
Çizelge 3.24. $\mp Y$ yönü burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri	77
Çizelge 3.25. $\mp X$ yönü görelî kat ötelemesi	77
Çizelge 3.26. $\mp Y$ yönü görelî kat ötelemesi	77
Çizelge 3.27. $\mp X$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	78
Çizelge 3.28. $\mp X$ yönü ikinci mertebe etkileri kontrolü	78
Çizelge 3.29. $\mp Y$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	78
Çizelge 3.30. $\mp Y$ yönü ikinci mertebe etkileri	78
Çizelge 3.31. GKT yöntemi için kapasite oranları	79
Çizelge 3.32. YDKT yöntemi için kapasite oranları	79
Çizelge 3.33. $\mp X$ yönü için burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri	82
Çizelge 3.34. $\mp Y$ yönü burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri	82
Çizelge 3.35. $\mp X$ yönü görelî kat ötelemesi	82
Çizelge 3.36. $\mp X$ yönü görelî kat ötelemesi kontrolü	82
Çizelge 3.37. $\mp Y$ yönü görelî kat ötelemesi	83
Çizelge 3.38. $\mp Y$ yönü görelî kat ötelemesi kontrolü	83
Çizelge 3.39. $\mp X$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	83
Çizelge 3.40. $\mp X$ yönü ikinci mertebe etkileri	83
Çizelge 3.41. $\mp Y$ yönü Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi	84
Çizelge 3.42. $\mp Y$ yönü ikinci mertebe etkileri	84
Çizelge 3.43. GKT kapasite oranları	84
Çizelge 3.44. YDKT kapasite oranları	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Basınç çubuklarında önerilen burkulma boyları(TS 648 Çizelge 3)	13
Şekil 2.2. Yatay Ötelenmesi önlenmiş kolonlarda kolon burkulma boyu katsayısı monogramı(TS 648 Çizelge 4).....	15
Şekil 2.3. Yatay Ötelenmesi önlenmemiş kolonlarda kolon burkulma boyu katsayısı monogramı (devamı) (TS 648 Çizelge 4)	15
Şekil 2.4. M1/M2 oranı grafiği (TS648 1980 Şekil 10).....	20
Şekil 2.5. ψ değerleri (TS648-1980 Çizelge 10)	21
Şekil 2.6. Gerilme düzensizlikleri etki katsayısı (ÇYTHYE 2018 Tablo 7.1)	27
Şekil 2.7. Gerilme düzensizlikleri etki katsayısı(devamı) (ÇYTHYE 2018 Tablo 7.1). 28	
Şekil 3.1. Uygulama I üç boyutlu görünüş	38
Şekil 3.2. Çatı planı.....	39
Şekil 3.3 Asma kat çatı planı	39
Şekil 3.4. Sistem A-A kesiti.....	40
Şekil 3.5. Sistem B-B kesiti	40
Şekil 3.6. Sistem C-C kesiti (B-D-F Aksı)	40
Şekil 3.7. Sistem D-D kesiti (C ve E Aksı)	41
Şekil 3.8. Sistem E-E kesiti(G Aksı)	41
Şekil 3.9. Sistem F-F kesiti (1 ve 7 Aksı).....	41
Şekil 3.10. Sistem G-G kesiti(2-3-4-5-6 Aksı)	42
Şekil 3.11. Yapıya etkitilen rüzgâr yükleri	44
Şekil 3.12. DBYBHY2007'ye göre yük tanımlaması.....	46
Şekil 3.13. DBYHY 2007'ye göre kütle tanımlaması	46
Şekil 3.14. TS 648'e göre analizde kullanılan parametreler	47
Şekil 3.15. Kar yükü hesap değerleri	49
Şekil 3.16. $\theta = 0^\circ$ için çatıya etkitilecek rüzgâr yükleri	50
Şekil 3.17. $\theta = 0^\circ$ için cepheye etkitilecek rüzgâr yükleri	50
Şekil 3.18. $\theta = 90^\circ$ için çatıya etkitilecek rüzgâr yükleri	51
Şekil 3.19. $\theta = 90^\circ$ için cepheye etkitilecek rüzgâr yükleri.....	51
Şekil 3.20. Yapıya ait yükleme tipleri	54

Şekil 3.21. GKT yöntemi P-delta etkileri	54
Şekil 3.22. YDKT yöntemi P-delta etkileri	55
Şekil 3.23. Yapı kütle tanımlaması	55
Şekil 3.24. YDKT Yöntemi için dizayn ayarları	56
Şekil 3.25. GKT yöntemi için dizayn ayarları	57
Şekil 3.26. Yatay elastik tasarım spektrumu parametreleri	60
Şekil 3.27. Model II'ye ait üç boyutlu görünüş	67
Şekil 3.28. Model II'ye ait plan görünüşü	68
Şekil 3.29. A-B-E-F aksı sistem kesiti.....	68
Şekil 3.30. C ve D aksı sistem kesiti.....	69
Şekil 3.31. 1-2-3-4-5-6-7-8 aksı sistem kesiti.....	69
Şekil 3.32. Yapıya etkitilen cephe rüzgâr yükleri.....	71
Şekil 3.33. Kar Yüğü hesap değeri	75
Şekil 3.34. $\theta=0^\circ$ için cephe rüzgâr yükleri	75
Şekil 3.35. $\theta=0^\circ$ için çatı rüzgâr yükleri	75
Şekil 3.36. $\theta=90^\circ$ için cephe rüzgâr yükleri	76
Şekil 3.37. $\theta=90^\circ$ için çatı rüzgâr yükleri.....	76
Şekil 3.38. Yatay elastik tasarım spektrumu parametreleri	80
Şekil 4.1. Hangar yapı modeline ait periyot değeri	85
Şekil 4.2. Hangar yapı modeline ait periyot değeri	86
Şekil 4.3. Hangar yapı modeline ait kat kesme kuvveti.....	87
Şekil 4.4. Hangar yapı modeline ait görelî kat ötelemesi değeri.....	88
Şekil 4.5. Hangar yapı modeline ait ikinci mertbe değeri	89
Şekil 4.6. 1 ve 7 aksı kolon kapasite oranı(HEA360).....	89
Şekil 4.7. Aşık kapasite oranı(UPN140).....	90
Şekil 4.8. 2-3-4-5 ve 6 aksı kolon kapasite oranı(IPE330).....	91
Şekil 4.9. Çatı çaprazı kapasite oranı(RHS100*5)	92
Şekil 4.10. Üst başlık kapasite oranı(2L80*8/10).....	93
Şekil 4.11. Cephe çaprazı kapasite oranı(RHS100*5).....	94
Şekil 4.12. Asma kat kolon kapasite oranı(RHS100*8)	94
Şekil 4.13. Asma kat kiriş kapasite oranı(IPE200).....	95
Şekil 4.14. Asma kat aşık kapasite oranı(RHS100/150*4).....	96
Şekil 4.15. Alt başlık kapasite oranı(2L80*8/10)	97
Şekil 4.16. Dikme ve diyagonal kapasite oranı(2L50*5/10)	98

Şekil 4.17. Lento kapasite oranı (RHS100*5)	99
Şekil 4.18. Çerçeve sistem modeline ait kat ağırlıkları	99
Şekil 4.19. Çerçeve sistem modeline ait periyot değerleri	100
Şekil 4.20. Çerçeve sistem modeline ait kat kesme kuvvetleri.....	101
Şekil 4.21. Çerçeve sistem modeline ait $\mp X$ yönü için A1 burulma düzensizliği	102
Şekil 4.22. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü için A1 burulma düzensizliği	102
Şekil 4.23. Çerçeve sistem modeline ait $\mp X$ yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği..	103
Şekil 4.24. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği..	103
Şekil 4.25. Çerçeve sistem modeline ait $X\mp$ yönü görel kat ötelemesi	104
Şekil 4.26. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü görel kat ötelemesi	104
Şekil 4.27. Çerçeve sistem modeline ait $\mp X$ yönü ikinci mertebe etkileri.....	105
Şekil 4.28. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü ikinci mertebe etkileri.....	106
Şekil 4.29. Ana giriş kapasite oranı (IPE330)	107
Şekil 4.30. Tali giriş I kapasite oranı (IPN260).....	108
Şekil 4.31. Tali giriş II kapasite oranı (IPE240).....	109
Şekil 4.32. Çapraz kapasite oranı (CHS139*8)	110
Şekil 4.33. Kolon kapasite oranı (HEA240).....	111

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
A_e	Etkin alan
A_g	Kayıpsız enkesit alanı
A_n	Net enkesit alanı
BKS	Bina kullanım sınıfı
BYS	Bina yükseklik sınıfı
c_1, c_2	Etkin genişlik hata düzeltme katsayısı
C_h	İkinci mertebe hesabında kullanılan ampirik katsayı
C_m	Eksenel basınç ve eğilmenin etkidiği sistemlerde, kolonun şeklini gözönüne alan bir katsayı
C_w	Çarpılma sabiti
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
D	Boru enkesitinin dış çapı
DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
DGT	Dayanıma göre tasarım
DTS	Deprem tasarım sınıfı
e	Dolu kesitin tarafsız ekseninin başlık kenarına mesafesi
e	Çok parçalı çubuklarda münferit çubukların eksenleri arasındaki uzaklık
E	Çeliğin elastisite modülü
E1Y	Esas ve ilave yüklerin toplamı
EI	Esas yüklerin toplamı
F	Enkesit alanı
F_1	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_{cr}	Kritik burkulma gerilmesi
F_e	Elastik burkulma gerilmesi
F_{ex}	Kuvvetli asal eksen etrafında eğilmeli burkulmada elastik burkulma gerilmesi

F_{ey}	Zayıf asal eksen etrafında eğilmeli burkulmada elastik burkulma gerilmesi
F_{ez}	Burulmalı burkulmada elastik burkulma gerilmesi
F_n	Faydalı enkesit alanı
F_s	Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_u	Yapısal çelik karakteristik çekme dayanımı
F_y	Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
g	Perçin veya civata delikleri arasında tatbik edilen kuvvete dik doğrultudaki mesafe
G	Çeliğin kayma modülü
G	Çerçevelerdeki kolonların burkulma boyu hesabında kullanılan bir katsayı
G	Sabit yük
G	Yapısal çelik kayma modülü
H	Eğilme sabiti
I	Bina önem katsayısı
I_c	göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kolonların atalet momenti
I_g	göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin boyu
I_g	göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kirişlerin atalet momenti
I_x, I_y	Asal eksenlere göre atalet momenti
i	Atalet yarıçapı
$\bar{I}_x, \bar{I}_y$	Asal eksenler «x» ve «y» ye göre atalet yarı çapı
J	Burkulma sabiti
K	Burkulma boyu katsayısı
k	Burkulma boyunu belirleyen bir katsayı
KH	Kontrollü hasar performans düzeyi
L	Eleman boyu
L	Eleman boyu
L_c	Eleman burkulma boyu

L_{cx}	x-ekseni etrafında burkulma durumunda burkulma boyu($=K_x L_x$).
L_{cy}	y-ekseni etrafında burkulma durumunda burkulma boyu($=K_y L_y$)
L_{cz}	z-ekseni (boyuna eksen) etrafında burkulma durumunda burkulma boyu($=K_z L_z$)
n	Çok parçalı çubuklarda bağlantıların çubuğu böldüğü parçaların sayısı
n	Emniyet katsayısı
n	Hareketli yük katılım katsayısı
P_n	Karakteristik eksenel kuvvet dayanımı
Q	Hareketli yük etkisi
Q	Keside gelen kesme kuvveti
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
R_a	GKT yük bileşimlerinden elde edilen gerekli dayanım
R_n	Karakteristik dayanım
R_u	YDKT yük bileşimleri altında hesaplanan gerekli dayanım
S	Kar yükü etkisi
S	Çubukta meydana gelen en büyük basınç kuvveti
S	Kirişin basınç başlığında dönmeye ve yanal deplasmana karşı mesnetleri arasındaki mesafe
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi [g]
S_c	göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların boyu
S_{D1}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_k	Çubuğun burkulma boyu
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T	Doğal titreşim periyodu [s]
t	Yapıyı meydana getiren çelik parçaların kalınlığı

T_n	Karakteristik burulma dayanımı
U	Gerilme düzensizliği etki katsayısı
W_n	Enkesit dayanım momenti
$(\Delta_i^{(x)})_{\max}$	Binanın i'nci katındaki maksimum azaltılmış görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i^{(x)})_{\text{ort}}$	Binanın i'nci katındaki ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
δ_0	eğilme yükünden meydana gelecek en büyük deplasman
$\theta_{II,i}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda her bir i'nci kat için tanımlanan ikinci mertebe gösterge değeri
$\theta_{II,\max}^{(X)}$	(X) deprem doğrultusunda tanımlanan maksimum ikinci mertebe gösterge değeri
Δ_F	Kesit zayıflama alanı
Δ_S	Çekme çubuklarında net genişlik hesabında ilave edilecek genişlik
x_0, y_0	Kayma merkezinin ağırlık merkezine göre koordinatları
α_t	Isı genleşme katsayısı
η_{bi}	i'nci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısı
η_{ki}	i'nci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısı
λ	Görelî kat ötelemelerinin sınırlandırılmasında kullanılan ampirik katsayısı
λ	Narinlik modülü
λ	Yerel burkulma narinlik değeri
λ_f	Enkesitin başlık parçası narinliği
σ_a	Malzemenin akma sınırı
σ_{bem}	Yalnız basınç kuvveti etkisi altında müsaade edilecek basınç gerilmesi
σ_{bem}	Yalnız basınç kuvveti etkisi altında müsaade edilecek basınç gerilmesi
$\sigma_{\text{çem}}$	Çekme emniyet gerilesi
σ_d	Çelik dayanım gerilmesi
σ_d	Çekme dayanım gerilmesi
σ_{eb}	Yalnız basınç kuvveti altında hesaplanan gerilme

τ	Hesaplanan kayma gerilmesi
τ_{em}	Kayma emniyet gerilmesi
ν	Poisson oranı
ϕ_c	Basınç kuvveti etkisi için dayanım katsayısı
ϕ_t	Çekme kuvveti etkisi için dayanım katsayısı
Ω	Güvenlik katsayısı
ω	Basınç emniyet gerilmesinin hesabında kullanılan çubuğun narinliği ile bağlantılı burkulma katsayısı
Ω_0	Büyütme Katsayısı
Ω_c	Basınç kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı
Ω_t	Çekme kuvveti etkisi için güvenlik katsayısı

Kısaltmalar

Açıklama

ANSI-AISC	Specification for Structural Steel Buildings
ASD	Allowable Strength Design
ÇYTHYE	Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik
DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
GKT	Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
LRFD	Load and Resistance Factor Design
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS EN 1991 – 1 – 1 – 3	Yapılar Üzerinde Etkiler – Bölüm 1 – 3 : Genel Etkiler, kar yükleri
TS EN 1991 – 1 – 1 – 4	Yapılar Üzerinde Etkiler – Bölüm 1 – 4 : Genel Etkiler, rüzgâr etkileri
TS498	Yapı elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS648	Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
YDKT	Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

BÖLÜM I

GİRİŞ

Ülkemizde, gelişen teknolojiyle birlikte çelik yapıların kullanım oranı hızla artmaktadır. Çelik yapılardaki bu artış, üretim ve uygulama standartlarına bağlı olarak ilerlemektedir. Üretimi yapılacak çelik yapıların güvenilir taşıyıcılığının ilgili standart ve yönetmelikler ile birlikte sağlandığının gösterilmesi inşaat mühendisleri tarafından arzu edilen bir konudur.

Ülkemizde çelik yapıların tasarımı ve boyutlandırılması, 1980 yılından itibaren kullanılan ve emniyet gerilmeleri yöntemini esas alan Çelik Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları (TS648) Standardına göre çelik malzemesinin plastik şekil değiştirme durumunun da göz önünde bulundurulduğu ve tasarımcı mühendisin gerekli görmesi halinde başvurduğu TS 4561 (1985-Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları) standardına göre taşıma gücü yöntemi kullanılarak yapılmaktaydı. Ancak 2016 yılında, 04.02.2016 tarih ve 29614 sayılı Resmî Gazete’de ülkemizde çelik yapılar için hazırlanan ilk yönetmelik olma özelliğini taşıyan “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik” yayınlanmış ve bu tarihten sonra projelendirilecek çelik yapılarda bu yönetmelik esaslarına uyulması zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca yönetmelik 15.02.2018 tarihinde 30333 sayılı resmî gazetede güncellenmiş ve “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYE)” olarak değiştirilmiştir. Genel kapsamı itibarıyla Amerikan şartnamesi AISC 360-10 içeriğini barındırmaktadır. AISC360-10 yönetmeliğinde iki farklı tasarım yöntemi olan ASD(Allowable Strength Design) ÇYTHYE’de Güvenlik Katsayıları Yöntemi (GKT) ve LRFD(Load and Resistance Factor Design) Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemi(YDKT) olarak adlandırılmıştır (Aydın ve Günaydın, 2017).

TS648’e ve ÇYTHYE’ye göre tasarım yapılırken dikkate alınan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY), 2018 yılında yerini Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)’ne bırakmıştır. DBYBHY’ye göre çelik yapıların tasarımı yapılırken yükleme kombinasyonlarına ve hesap içeriklerine dair detaylı bilgi verilmezken TBDY’de bu konuya açıklık getirilmiştir. Bu çalışmada TBDY’ye göre yapılan hesaplarda yapılara etkiyen deprem kuvveti değerlerinin DBYBHY’den daha

yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. TBDY’ye göre tasarım kombinasyonların da yapıya düşey deprem etkisi de eklenmiştir. Ayrıca TBDY’ye göre deprem bölgesi seçiminde bölgesel noktaya göre yapılan tespitle deprem bölgesi daha hassas bir şekilde seçilmektedir.

1.1 Önceki Çalışmalar

Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımı için her ülkede farklı standart ve yönetmelikler kullanılmaktadır. Bu standart ve yönetmeliklerin doğru ve güvenilir sonuçlar vermesi inşaat mühendisleri tarafından tartışma konusu olmaktadır. Bu konu ile ilgili hem ülkemizde hem de diğer ülkelerde paket programlar kullanılarak araştırmalar yapılmaktadır. Tez çalışmasına benzer nitelikte depreme dayanıklı çelik yapı hesap ve tasarım ilkeleri doğrultusunda yapılan bazı çalışmalara bu bölümde değinilmiştir.

Güçlü (2003), “Çok Katlı Bir Çelik Toplu Konut Binasının Karşılaştırmalı Tasarımı” adlı tez çalışmasında çok katlı çelik yapının TS648 ve Eurocode 3’e göre karşılaştırmalı tasarımı üzerinde durmuştur. Yaptığı bu çalışma neticesinde Eurocode yönetmeliklerinin daha hassas ve daha gerçekçi bir analiz yaklaşımında bulunduğunu ve TS648’e oranla daha ekonomik dizayn imkânı sağladığını belirtmiştir.

Balkan (2007) yaptığı “Türk, Amerikan ve Avrupa Çelik Şartnamelerinin İncelenmesi ve Kıyaslanması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında, TS 648, AISC–LRFD ve Eurocode 3 çelik standart ve şartnamelerini karşılaştırmıştır. Ülkeler arası tasarım farklarını inceleyerek ekonomi yönünden TS648’in daha elverişsiz olduğunu ortaya koymuştur.

Ar (2009) ise, “Çelik Yapıların Tasarım Metodları ve Bunların Karşılaştırılması” adlı yüksek lisans tezinde, çok katlı bir yapıyı Eurocode 3 ve TS-648’e boyutlandırmıştır. Bu çalışması neticesinde Eurocode 3’ün çelik yapıların tasarımında alternatifli çözüm olanağı sağladığını belirtmiştir. Aynı zamanda yaptığı bu çalışmada kesit gereksinimlerini karşılaştırarak Eurocode 3’ün ekonomi yönünden daha elverişli olduğunu tespit etmiştir.

Bingöl (2014) “Ağır Sanayi Yapısının AISC 360-10 ve TS-648 Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırmalı Boyutlandırılması” adlı yüksek lisans tez çalışmasında süneklik düzeyi

normal merkezi çelik çaprazlı perdelerden oluşan ağır sanayii yapısının AISC 360-10 (LRFD), AISC 360-10 (ASD) ve TS-498 yönetmeliklerine göre karşılaştırmalı boyutlandırılması üzerine çalışmıştır. Tasarımında yapıya gelen yüklemeleri sabit tutarak, farklı yönetmeliklerin yük kombinasyonları gereksinimlerine göre hesapları tekrar ederek üç farklı yönetmeliğe göre boyutlandırma yapmıştır. Yaptığı bu çalışma neticesinde LRFD ve ASD yöntemine göre elde edilen kesit kapasite oranlarının birbirine oldukça yakın olduğunu belirtmiştir. TS648'e göre elde edilen kapasite oranlarının ise LRFD ve ASD'ye göre daha yüksek olduğunu ve yapı maliyetini artırdığını öne sürmüştür.

Durmaz (2015) “Çelik Yapıların Stabilize Analizi Yaklaşımlarının Değerlendirilmesi” adlı yüksek lisans çalışmasında ikinci mertebe etkilerini ve stabilize analizinin AISC standartlarına ve EC3 standardına nasıl dahil edildiği üzerinde durmuştur. Çalışma sonucunda yapı üzerinde karmaşık etkiye sahip olan ikinci mertebe etkilerine yani P-delta etkilerine dikkat çekmiştir. Ayrıca beş katlı çelik bir binanın AISC 360-10 Standardı ve TS648(AISC-ASD89)'e göre analiz ve boyutlandırmasını yaparak karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda TS648'e göre elde edilen kapasite oranlarının daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Ünal (2015), “Çelik Yapıların Farklı Standartlara Göre Karşılaştırmalı Tasarımı” adlı tez çalışmasında Eurocode, LRFD ve TS648 yönetmelik ve standartlarını kullanarak iki farklı tipteki çelik yapının kesitlerini ve kapasitelerini karşılaştırarak ekonomi yönünden irdelemiştir. LRFD ve Eurocode göre elde edilen kesit kapasite oranları birbirine yakın çıkarken TS648'e göre elde edilen kapasite oranının daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Bu durumda TS648'in yapı maliyetini artırdığı sonucuna varmıştır.

Ülker ve Savaş (2018), yaptıkları çalışmada, Amerikan AISC (American Institute of Steel Construction) 360-10 ve Türk Deprem yönetmeliği DBYBHY-2007'ye göre çelik yapıların tasarım kurallarını irdelemiştir. Çelik yapıların analiz ve tasarımında AISC 360-10 şartnamesine dayanarak yürürlüğe giren ÇYTHYE'nin TS648'e göre daha uygun sonuçlar verdiği ve daha güvenli tarafta kaldığına değinmiştir.

Ertaş (2018) “Taşıyıcı Sistemi Süneklik Düzeyi Yüksek Kompozit Kolonlu Moment Aktaran Çelik Çerçevelerden Oluşan Binalar İçin Tasarım Esaslarının Değerlendirilmesi”

adlı yüksek lisans çalışmasında AISC 360-10'a göre genel analiz yöntemi esaslarına değinmiştir. Yaptığı bu çalışma neticesinde genel analiz yönteminin gereği olan rijitlik azaltmalarının yapılması ve modal analizin rijitliği azaltılmış sistemde ikinci mertebe teorisine göre yapılması durumunda yapı rijitliğinin ciddi miktarda azaldığı ve bu durumun modal deprem yüklerinde düşüşe sebep olduğunu belirtmiştir.

Öz (2018) “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Kuralları Doğrultusunda Çelik Yapıların Tasarımı” adlı tez çalışmasında ÇYTHYE 2016'nın hesap ve tasarım ilkelerinden bahsederek GKT ve YDKT yöntemlerinin yakın sonuçlar verdiğini açıklamıştır.

Irgaç (2019), “Çok Katlı Çelik Çerçeve Türü Bir Taşıyıcı Sisteminde Eski ve Güncel Yönetmelik Uygulamalarının Karşılaştırılması” adlı tez çalışmasında DBYBHY ve TBDY'yi kullanarak yeni yönetmeliklerin çelik çerçeve sistem üzerinde etkilerine değinmiştir. Yaptığı bu çalışmada TS EN-1991-1-4'e göre hesaplanan rüzgâr yükü değerinin TS498'e göre daha yüksek değerler verirken, kar yükü hesap değerinin daha düşük değerler verdiğini belirtmiştir. Ayrıca eski ve güncel deprem yönetmeliklerine göre yapılan hesapta kesit kapasite oranlarında ciddi bir fark olmadığı sonucuna varmıştır.

Aktaş (2019), “Çelik Yapılarda “Yük ve Dayanım Katsayıları İle Tasarım (YDKT)” ve “Güvenlik Katsayıları İle Tasarım (GKT)” Yaklaşımlarının Değerlendirilip Karşılaştırılması” adlı yüksek lisans tezi çalışmasında ÇYTHYE esaslarına göre YDKT ve GKT yöntemleri için hareketli yük/ölü yük oranını değiştirerek optimum çözüm opsiyonunu irdelemiştir. Hangar tipi yapı analizlerinde, hareketli yükün ölü yüke oranı normal düzeyde olduğunda ve azaltıldığında YDKT yaklaşımının avantaj sağladığını, hareketli yükün ölü yüke oranı aşırı şekilde arttığında ise GKT yaklaşımının YDKT yaklaşımına göre az da olsa avantaj sağladığını belirtmiştir. Ancak farklı yapı tiplerinde hareketli yük oranına bağlı olarak farklı yaklaşımların avantajlı olabileceği sonuca varmıştır.

Pınarbaşı ve Nasrat (2020), “I-enkesitli Çelik Hadde Eğilme Elemanları İçin Eski ve Yeni Türk Tasarım Dokümanlarındaki Esasların Karşılaştırılması” adlı çalışmasında farklı profil boyları ve malzeme sınıfları için I enkesitli hadde profiller kullanarak TS648 ve yeni çelik yönetmeliğine göre, kuvvetli/zayıf ekseninde eğilme ve gövdeye/başlıklara

paralel düzlemde kesme etkisindeki dayanımlarını karşılaştırmıştır. Çalışmasında TS648'in, zayıf ekseninde eğilme ile gövdeye/başlıklara paralel düzlemde kesme etkisindeki elemanların tasarımında, incelenen bütün enkesit ve çelik kalitelerinde, ÇYTHYE'ye göre daha güvenli sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Güçlü ekseninde eğilme etkisindeki elemanlarda ise, TS648'e göre yapılan hesapta bazı elemanların güvensiz tarafta kalabildiğini belirtmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, yapılan diğer çalışmalar dikkate alınarak, üç açıklık ve altı aralıktan oluşan çelik hangar yapı örneği ile dört katlı düşey çerçeve yapı örneği üç boyutlu olarak SAP2000 programında modellenmiştir. Modellemesi yapılan bu örneklerin ilk olarak DBYBHY ilkeleri esas alınarak TS 648 ve ÇYTHYE ilkeleri doğrultusunda hesap ve tasarımı yapılmıştır. TS 648'e göre tasarımı yapılırken kar ve rüzgâr yükleri hesabı için TS498 maddeleri esas alınmıştır. Yapıya ait deprem, kar ve rüzgâr yükleri etkitildikten sonra gerekli kombinasyonlar oluşturularak SAP2000 programında TS 648'e yakın olarak kabul edilen AISC-ASD89'e göre dizaynı yapılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. Modellemesi yapılan hangar yapı örneğinin ikinci olarak da ÇYTHYE ilkeleri doğrultusunda hesap ve tasarımı yapılmıştır. ÇYTHYE'ye göre tasarımı yapılırken kar yükü hesabı için TS-EN 1991-1-3, rüzgâr yükü hesabı için ise TS-EN 1991-1-4 ilkeleri dikkate alınmıştır. Yapıya ait deprem, kar ve rüzgâr yükleri etkitildikten sonra gerekli kombinasyonlar oluşturularak SAP2000 programında ÇYTHYE'ye göre tasarım için AISC360/16 seçilmiştir. ÇYTHYE güvenlik katsayıları yöntemi (GKT) için Allowable Strength Design (ASD), yük ve dayanım katsayıları yöntemi (YDKT) için ise Load and Resistance Factor Design (LRFD) seçilmiştir. Analiz yöntemi olarak ise ÇYTHYE Bölüm 6'ya göre genel analiz yöntemi seçilmiş ve SAP2000 programında direct analysis kısmı aktifleştirilmiştir. Daha sonra aynı yapı modelleri TBDY ilkelerine uygun olarak yeniden tasarlanmış ve TBDY'nin çelik yapılar üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Tasarımı yapılan hangar yapı modeli ve düşey çerçeve sistem modeli için yapıya ait kesitler sabit tutularak kat ağırlıkları, periyot değerleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemesi, ikinci mertebe etkileri, A1 burulma düzensizliği, B2 yumuşak kat düzensizliği ve kapasite oranları karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM II

DEPREME DAYANIKLI ÇELİK YAPILARIN HESAP VE TASARIMI

Bu bölümde ülkemizde depreme dayanıklı çelik yapıların tasarım ve hesap esasları için TS648 ile ÇYTHYE'nin içerik ve uygulama adımlarına atıf yapılmıştır (TS648, 1980; ÇYTHYE, 2016).

2.1 Depreme Dayanıklı Çelik Yapıların TS 648'e Göre Hesap ve Tasarımı

TS 648, 1980 yılından 2016 yılına kadar kullanılan ve elastik tasarımı esas alan bir standarttır. Bu tasarım güvenlik katsayıları metodunu esas alarak tasarım yapmayı öngörür. Bu standarda göre izin verilen dayanımlar, 1.67 ve 2.5 arasındaki güvenlik faktörlerine bölünerek hesaplanır. TS 648'e göre depreme dayanıklı çelik yapı modeli yapılırken DBYBHY hususları dikkate alınmıştır. Aynı zamanda rüzgâr ve kar yükleri hesabı içinde TS 498 standardındaki ilgili maddeler dikkate alınmıştır. Bu bölümde adım adım TS 648'e göre çelik yapıların tasarımına yer verilmiştir.

2.1.1 Tasarım esasları

TS 648'e göre tasarım yapılırken emniyet gerilmeleri yöntemi esas alınmaktadır. TS 648'in emniyet gerilmelerine göre hesap yöntemi, Eurocode 3(EC3)'ün limit durumlarına göre tasarım yönteminin olasılık teorisine bağlı kalmadan, mühendislik deneyimlerine dayandırılan yöntemdir.

Tasarlanacak yapıya etkiyen dış yük, güvenlik katsayıları ile artırılmadan, malzemenin dayanımındaki dış yük artışı ve malzemenin dayanımındaki düşüşün ortak etkisi oranında azaltılmaktadır. Yapıya etkitilen yükler herhangi bir katsayıyla artırılmamaktadır.

2.1.2 Yük kabülleri

TS 648, yapıya etkiyen yükleri esas ve ilave yükler olmak üzere iki grupta toplamaktadır. Esas yükler; munzam ve hareketli yükleri, öz yükleri, kar (rüzgârsız olarak) yükü ve

makinelerin kütle kuvvetlerini kapsamaktadır. İlave yükler; deprem etkisini, rüzgâr etkisini, krenlerde fren kuvvetini ve yanal çarpma kuvvetini kapsamaktadır.

2.1.2.1 Yükleme durumları

TS 648 dayanım tahkikleri ve hesaplar için Esas Yükleme (EI) ile Esas ve İlave yükleme (EIY) durumlarının dikkate alınmasını önermektedir. Burada EI; esas yüklerin toplamını, EIY ise esas ve ilave yüklerin toplamını ifade etmektedir.

2.1.2.2 TS 648'e göre yük kombinasyonları

TS 648'e göre emniyet gerilmesi yöntemi esası için yapılan EY ve EIY yükleme durumları için tahkikler yapılırken yükleri herhangi bir katsayı ile artırma yöntemine gidilmeden, yalnızca hareketli yüklerde titreşim etkisini göz önünde bulundurmak için, yükler ile titreşim katsayısı artırılmaktadır.

- Düşey Yük Kombinasyonu; $1.0G+1.0Q$
- Rüzgâr Yüğü Kombinasyonu; $1.0G+1.0W+1.0Q$
- Rüzgâr Yüğü Kombinasyonu; $0.9G+1.0W$
- Deprem Yüğü Kombinasyonu; $1.0G+1.0Q+1.0E$
- Deprem Yüğü Kombinasyonu; $0.9G+1.0E$

DBYBHY ile birlikte ise çelik yapı tasarımında elemanlarının ve birleşim detaylarının tasarımı yapılırken deprem yükleri Çizelge 2.1'deki Ω_0 büyütme katsayıları ile artırılmaktadır. Ω_0 büyütme katsayıları taşıyıcı sistem türüne bağılı olarak DBYBHY'ye göre Çizelge 2.1'de verilmiştir.

- Deprem Yüğü Kombinasyonu $1.0G+1.0Q \pm \Omega_0 E$

Ya da daha elverişsiz sonuç vermesi durumunda;

- Deprem Yüğü Kombinasyonu $0.9G \pm \Omega_0 E$

Çizelge 2.1. Büyütme katsayıları

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

2.1.3 Malzeme özellikleri

TS 648'e göre malzeme sınıfları için uygulamada dikkate alınacak sınır değerleri Çizelge 2.2'de verilmiştir. Çizelge 2.2' ye göre uygulamada kullanılacak yapı çeliği nominal sınır değerleri başlık ve gövde kalınlıkları için farklılık göstermektedir.

Çizelge 2.2. TS 648'e göre yapı çelikleri mekanik özellikleri

Çelik Sınıfı	Kalınlık (t) mm					
	$t \leq 16$		$16 \leq t \leq 40$ mm		$40 \leq t \leq 100$ mm	
	σ_a N/mm ²	σ_d N/mm ²	σ_a N/mm ²	σ_d N/mm ²	σ_a N/mm ²	σ_d N/mm ²
Fe37	370	235	360	225	350	215
Fe42	412	255	402	245	392	235
Fe52	510	353	500	343	490	333

Çizelge 2.2 de σ_a yapı çeliğinin akma dayanımını, σ_d ise yapı çeliğinin kopma dayanımını temsil etmektedir. Yapı çeliğinin mekanik özelliklerinden elastisite modülü değeri $E=210.000$ N/mm², kayma modülü değeri $G=E/2(1+\nu)$, sıcaklık katsayısı $\alpha_t=12 \cdot 10^{-6}$ 1/C°, poisson oranı $\nu=0.3$, birim ağırlık ise $\rho=7850$ kg/m³'tür.

2.1.4 Yapılar için sehim değerleri

TS 648'e göre tasarımda yapılması gerekli tahkiklerden biri de yapıdaki deformasyonun tahkikidir. TS 648'e göre tasarımda Madde 2.4.2.4'e göre açıkça kullanım amacı ve konstrüktif bakımdan gereken durumlarda deformasyonların tahkik edilmesini gerektiğini belirterek sınırlandırmıştır. Öz yüklerden ortaya çıkan deformasyonların ters sehim uygulanarak giderilebileceğini önermektedir. Bunula birlikte açıklığı 5.0 m'yi geçen kiriş aşıklarının sehim değerleri açıklığın 1/300'ünden, döşeme kirişlerindeki sehim değerleri 1/500'den, konsol kirişlerdeki sehim değeri uzunluğu konsol kirişin

1/250'yi aşmamalıdır. Mesnetlerde ve temelde, ızgara dağıtma kirişlerin sehim değeri konsol uzunluğunun en fazla 1/1000'i kadar olabilir.

2.1.5 Emniyet gerilmesi yöntemi

TS 648 emniyet gerilmesine göre hesap yapılırken herhangi bir kısmi katsayı kullanılarak dış yükler artırılmamaktadır. Yükleme durumları için kullanılacak emniyet gerilmeleri ise EI, ve EIY için farklı katsayı değerleri ile belirlenmektedir. Sık kullanılan iki yapısal çelik sınıfına ait emniyet gerilmeleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. TS 648'e göre yapı çelikleri için emniyet gerilmeleri

Yapı Çeliği	Çekme Emniyet Gerilmesi σ_{cem} (N/mm ²)		Kayma Emniyet Gerilmesi τ_{em} (N/mm ²)	
	EY	EIY	EY	EIY
Fe37	141	164	82	105
Fe52	212	240	122	155

2.1.6 Tahkikler

Genel olarak mesnet reaksiyonları ve gerilmeler, herbir yükleme durumu için ayrı ayrı belirlenmelidir. Böylece elde edilen değerlerin mümkün olabilen en elverişsiz birleşik etkili enkesitlerde gerilmelerin maksimum değerleri hesaplanır ve emniyet gerilmesiyle kıyaslandırılır. Bu tahkikler EIY ve EY yükleme durumları için ayrı ayrı uygulanmalıdır. TS 648'e göre yapılması gerekli görülen tahkikler aşağıdaki şekildedir;

- Gerilme tahkikleri: Gerilme tahkiki EY ve EIY yükleme durumları için ayrı ayrı hesaplanır. Hareketli yüklerde ise titreşim katsayıları da göz önünde tutulmalıdır.
- Stabilitate tahkikleri: Stabilitate tahkiki buruşma, burkulma ve yanal burkulma tahkiklerini içermektedir.
- Devrilme tahkikleri: Devrilme tahkiki, her bir yapı kısmına ait devrilme emniyet katsayısı minimum 2 olmalıdır. Bazı istisnai durumlarda bu katsayı 1.5 olabilir. Mesnet bölgelerinde kalkmaya karşı emniyet katsayısı değeri sürekli kirişlerde minimum 1.3 yapının tümünde ise minimum 1.5 olmalıdır.

- Deformasyon Tahkikleri: Kullanış amacı ve konstrüktif bakımından gereken hallerde kontrol edilmesi gereken tahkiktir. Öz yüklerden meydana gelecek deformasyonlar ters sehim verilerek giderilebilir.

2.1.7 Boyutlandırmaya esas olan enkesitler

Gerilme tahkikleri için gözönünde bulundurulması gereken enkesit değerleri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4. Boyutlandırmaya esas olan enkesitler

Zorlama Çeşidi	Gerilme	Enkesit Dğerleri
Normal Kuvvet	Basınç	F
	Çekme	$F_n = F - \Delta F$
Kesme Kuvveti	Kayma ¹	$F_{gövde}$
Eğilme Momenti	Çekme ve Basınç	$W_n = \frac{I_n}{e} = \frac{I - \Delta I}{e}$
¹ Gövdede ortalama kayma gerilmesi $\tau = \frac{Q}{F_{gövde}}$		

2.1.7.1 Kayıplı kesitler

Enkesitlerinde bulon veya perçin delikleri veya kesim kayıplarının söz konusu olduğu çubuklarda daima kayıpsız (net) en kesitin ağırlık eksenini göz önüne alınmalıdır.

2.1.7.2 Deformasyon hesabında enkesitler

Deformasyon hesabında enkesit değerleri, delik veya kesim kaybı gözönünde tutulmaksızın hesaba alınmalıdır.

2.1.7.3 Faydalı enkesit alanı (F_n)

Faydalı (net, kayıplı) en kesit alanı F_n , dolu (brüt, kayıpsız) enkesit alanından en elverişsiz “faydalı genişlik (yırılma çizgisi)” üzerinde yer alan delik alanlarının veya kesim nedeniyle oluşan kayıp alanlarının çıkarılmasıyla elde edilir.

Eğer bulon veya perçin delikleri bir diyagonal üzerinde veya şaşırtmalı olarak yerleştirilmişlerse bu durumda faydalı genişlik, toplam genişlikten öngörülen yırtılma çizgisi üzerinde yer alan bütün delik çaplarının toplamı çıkarılmak veya bunun yanı sıra her diyagonal aralık için Denklem 2.1’den elde edilen miktar eklenerek saptanır.

$$\Delta s = \frac{s^2}{4g} \quad (2.1)$$

F_n değeri, elde edilen “faydalı genişlik (yırtılma çizgisi)” ile ortalama et kalınlığının çarpımına eşittir. Perçin ve bulon delikleri göz önünde bulundurularak hesaplanan faydalı genişlik değeri, toplam genişliğin %85’ini aşamaz.

2.1.7.4 Delik büyüklükleri

Faydalı alan ve genişlik hesaplarında perçin veya cıvata delikleri çapları, deliklerin anma çapları 1 mm artırılarak bulunmalıdır.

2.1.7.5 Korniyerlerde (köşebentlerde) ve U profillerde faydalı genişlik

Köşebentlerde (korniyerlerde) brüt genişlik, kol uzunluklarının toplamından korniyerlerde et kalınlığı, U profillerde ise, başlık et kalınlıkları çıkarılarak elde edilir. Korniyerlerin karşılıklı kollarındaki delikler arasında korniyerin iç yüzeylerinden ölçülen enlemesine mesafe, dış yüzeyden ölçülen aynı mesafeden korniyer et kalınlığı çıkarılarak hesaplanır.

2.1.8 DBYBHY enkesit koşulları

DBYBHY’ye göre deprem bölgelerinde yapılacak yapılar için, süneklik düzeyi normal ve süneklik düzeyi yüksek çerçeveler için başlık genişliği/kalınlığı ile gövde yüksekliği/kalınlığı oranlarına ait koşullar Çizelge 2.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Enkesit koşulları(DBYBHY 2007 Tablo 4.3)

Eleman Tanımı	Narinlik Oranı	Sınır Değerler	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I Kesitlerinde U Kesitlerinde	$b/2t$ b/t	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme Etkisindeki I Kesitler U Kesitler	h/t_w	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$5.0\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Basınç Etkisindeki T Kesitler L Kesitler	h/t_w	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki I Kesitleri U Kesitler	h/t_w	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$	$ N_d/\sigma_a A \leq 0.10$ için $5\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$
		$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $1.33\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$	$ N_d/\sigma_a A > 0.10$ için $2.08\sqrt{E_s/\sigma_a} \left(2.1 - \left \frac{N_d}{\sigma_a A}\right \right)$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler(borular)	D/t	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_a}$	$0.08 \frac{E_s}{\sigma_a}$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	b/t veya h/t_w	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_a}$	$1.2\sqrt{E_s/\sigma_a}$
Tanımlar b : I, U kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık genişliği h : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği L kesitlerinde büyük kenar uzunluğu D : dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap t : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı halka kesitlerde (borularda) kalınlık t_w : I, U, T, L kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı			

2.1.9 Kesit dayanımları

TS 648'e göre kesit dayanımlarına ilişkin (basınç durumu, çekme durumu, eğilme durumu vb.) durumu farklı bölümler halinde verilmiştir.

2.1.9.1 Çekme durumu

Çekme emniyet gerilmesi ($\sigma_{\text{çem}}$) faydalı kesitte Denklem 2.2 ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu değer çekme dayanımının yarısını aşmamalıdır. Çekme emniyet gerilmesi ile çekme dayanım gerilmesi arasındaki oran Denklem 2.3'ü sağlamalıdır.

$$\sigma_{\text{çem}} \leq 0.6\sigma_a \quad (2.2)$$

$$\sigma_{\text{çem}} \leq 0.6\sigma_d \quad (2.3)$$

Yük durumuna göre bazen çekmeye ve bazen basınca çalışan çubukları, basınca göre de boyutlandırmak gerekir. Bu gibi çubuklarda narinlik Denklem 2.4'te verilen eşitliği sağlamalıdır.

$$\lambda \leq 250 \quad (2.4)$$

2.1.9.2 Merkezi basınca çalışan çubuklar

Burada merkezi basınca çalışan iki ucu mafsallı düz çubukların burkulmalarına ait hesap esasları verilmiştir. Burada incelenen hallerin dışında kalan basınca maruz çubuklar, o halin gerektirdiği kurallara göre boyutlandırılır. Basınca çalışan çubukların narinliği Denklem 2.4'te verilen sınır değeri aşmamalıdır;

Kesikli çizgilerle basınç çubuğunun burkulma şekli gösterilmiştir.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Teorik burkulma boyu	0,5 s	0,7 s	1,0 s	1,0 s	2,0 s	2,0 s
Tavsiye edilen burkulma boyu S_k	0,65 s	0,8 s	1,2 s	1,0 s	2,10 s	2,0 s
Bilgi	   	Dönme ve öteleme önlenmiş Dönme serbest, öteleme önlenmiş Dönme önlenmiş, öteleme serbest Dönme ve öteleme serbest				

Şekil 2.1. Basınç çubuklarında önerilen burkulma boyları(TS 648 Çizelge 3)

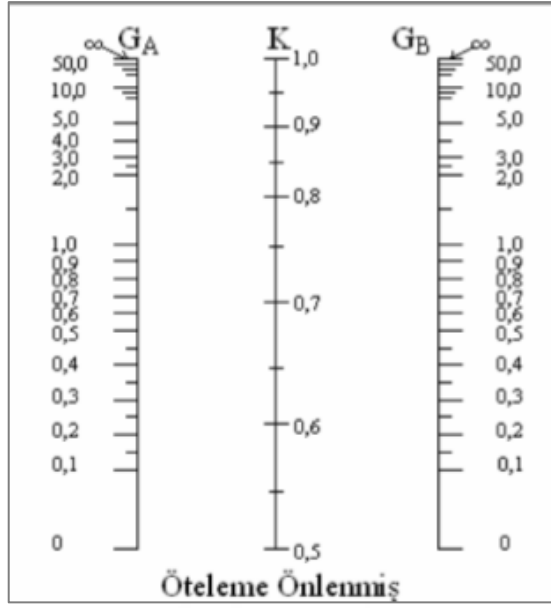
Basınca çalışan çubukların kafes kiriş düzlemi içindeki burkulma boyları S_k , çubukların (s) sistem uzunluğuna eşit alınır. Kafes kiriş düzlemi dışındaki burkulma boyununda çubuk uzunluğuna eşit olabilmesi için, basınç başlığı düğüm noktalarının kiriş düzleminden dışarı doğru hareketleri önlenmiş olmalıdır.

Basınca çalışan çubukların mesnet şartlarına göre değişen burkulma boyları Şekil 2.1’de verilmiştir. Bu şekile göre mesnetlerde istenilen durumu tam olarak gerçekleştiremeyeceği için, tavsiye edilen değer eşdeğer teorik değerden fazla tutulmuştur.

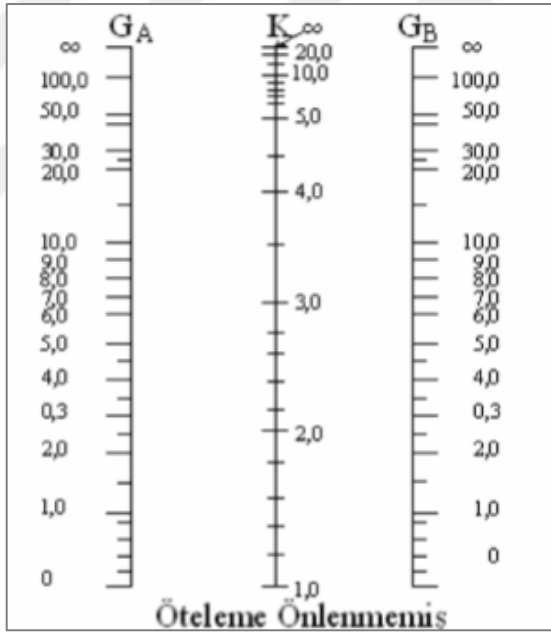
Çerçeve sistemlerde basınç çubukları için burkulma boyu katsayısı K, çerçeve sistemin yanal hareketinin önlenip önlenmemesine bağlı olarak Şekil 2.2 veya Şekil 2.3’ten elde edilmektedir. Çerçeve basınç çubuğunun A ve B uçlarında ayrı ayrı hesaplanan G katsayısı Denklem 2.5 ile elde edilmektedir. Burada G; burkulma boyu hesabında kullanılan katsayıyı, I_c ; göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kolonların atalet momentini, I_g ; göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış ve burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki kirişlerin atalet momenti, S_c ; göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların boyunu, S_g ise göz önüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin boyunu temsil etmektedir.

$$G = \frac{\sum \frac{I_c}{S_c}}{\sum \frac{I_g}{S_g}} \quad (2.5)$$

Kolon elemanları temel sistemine rijit olarak bağlı ise o noktada hesap yapılmada $G=1.0$ alınmalıdır. Kolon elemanları temel sistemine sürtünmesiz, tamamıyla dönebilir bir mafsalla bağlıysa, $G=10.0$ alınmalıdır. Kolon elemanlarının iki ucundaki G_A ve G_B değerleri belirlendikten sonra, yatay ötelenme koşuluna bağlı olarak burkulma boyu katsayısı (k) bulunur. Böylece burkulma boyu $s_k=k, s$ olarak bulunur.



Şekil 2.2. Yatay Ötelenmesi önlenmiş kolonlarda kolon burkulma boyu katsayısı monogramı(TS 648 Çizelge 4)



Şekil 2.3. Yatay Ötelenmesi önlenmemiş kolonlarda kolon burkulma boyu katsayısı monogramı (devamı) (TS 648 Çizelge 4)

2.1.9.3 Burkulma sayıları yöntemi ile basınç gerilmesi kontrolü

Burkulma boyu katsayısı ile yöntem ile sabit tek parçadan oluşan basınç çubuklarının gerilme tahkikinde Denklem 2.6 ile verilen eşitliğin sağlanması gerekir. Burada ω ; çubuğun narinliğini, S ; çubuğa etkiyen en büyük basınç kuvvetini, σ_{cem} ; incelenen

yüklemeye ve malzemeye göre çekme emniyet gerilmesini, F ; çubuk kesit alanını, σ_{bem} ; incelenen yüklemeye ve malzemeye göre basınç emniyet gerilmesini ifade etmektedir.

$$\sigma_{bem} = \omega \frac{S}{F} \leq \sigma_{cem} \quad (2.6)$$

$$\omega = \frac{\sigma_{cem}}{\sigma_{bem}} \quad (2.7)$$

2.1.9.4 Narinlik etkisi dikkate alınarak burkulma gerilmesi kontrolü

Eksenel basınca çalışan çubuk için narinlik değeri λ_p 'den küçükse ($\lambda \leq \lambda_p$) basınç emniyet gerilmesi Denklem 2.8 kullanılarak elde edilir. Burada λ , Denklem 2.9 ile hesaplanan λ_x ve λ_y narinlik değerlerinden büyük olanı, S ise Denklem 2.10 ile hesaplanan S_{kx} , S_{ky} yani çubuğun y-y ve x-x asal eksenlerine dik düzlemlerdeki burkulma boylarını, i_x , i_y ise çubuğun sırasıyla x-x ve y-y eksenlerine ait atalet yarıçaplarını ifade etmektedir. $\lambda < 20$ olan çubuklar için burkulma hesabı yapılmaz.

$$\sigma_{bem} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) \right] \sigma_a}{n} \quad (2.8)$$

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} \quad (2.9)$$

$$\lambda = \frac{S}{i} \quad (2.10)$$

Eksenel basınca çalışan çubuk için narinlik değeri λ_p 'den büyükse ($\lambda \geq \lambda_p$) bu durumda basınç emniyet gerilmesi değeri; t/cm^2 cinsinden Denklem 2.11, kN/cm^2 cinsinden ise Denklem 2.12 kullanılarak elde edilir.

$$\sigma_{bem} = \frac{1}{n} \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{1}{2.5} \frac{\pi 22.1 \times 10^6}{\lambda^2} = \frac{8290}{\lambda^2} \quad (2.11)$$

$$\sigma_{bem} = \frac{1}{n} \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{1}{2.5} \frac{\pi^2 22.1 \times 10^6}{\lambda^2} \cong \frac{81302}{\lambda^2} \quad (2.12)$$

Denklem 2.11, 2.12 ve 2.13'te $\lambda < 20$ ise $n=1.67$ alınır. $20 < \lambda < \lambda_p$ ise n Denklem 2.13 ile hesaplanır. $\lambda \geq \lambda_p$ ise $n=2.5$ alınır. Burada λ_p ; plastik kritik narinlik sınırı olarak Denklem 2.14 ile hesaplanır. Denklem 2.14'te verilen E ; elastisite modülünü, σ_a ; çeliğin akma sınırını ifade etmektedir. Çelik burkulma katsayısı (λ) değerleri Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7'de verilmiştir.

$$n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3 \quad (2.13)$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} \quad (2.14)$$

Çizelge 2.6. St37 çeliği burkulma katsayısı (TS 648-1980 Çizelge 6)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	1.02	1.03	1.03	1.04	1.05	1.06	1.06	1.07	1.08	1.08
30	1.09	1.10	1.11	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.16
40	1.17	1.18	1.19	1.20	1.20	1.21	1.22	1.23	1.24	1.25
50	1.26	1.24	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.33	1.34	1.35
60	1.36	1.37	1.38	1.39	1.40	1.41	1.43	1.44	1.45	1.46
70	1.47	1.49	1.50	1.51	1.53	1.54	1.55	1.57	1.58	1.59
80	1.67	1.62	1.64	1.65	1.67	1.69	1.70	1.72	1.74	1.75
90	1.77	1.79	1.81	1.82	1.84	1.86	1.88	1.90	1.92	1.94
100	1.96	1.99	2.01	2.03	2.05	2.08	2.10	2.13	2.15	2.18
110	2.20	2.23	2.26	2.29	2.32	2.35	2.38	2.41	2.45	2.48
120	2.51	2.55	2.59	2.63	2.66	2.71	2.75	2.79	2.84	2.88
130	2.93	2.98	3.03	3.07	3.12	3.17	3.21	3.26	3.31	3.36
140	3.91	3.45	3.50	3.55	3.60	3.65	3.70	3.75	3.80	3.86
150	3.40	3.96	4.01	4.07	4.12	4.17	4.23	4.28	4.34	4.39
160	4.45	4.50	4.56	4.61	4.67	4.73	4.79	4.84	4.90	4.96
170	5.02	5.08	5.14	5.20	5.26	5.32	5.38	5.44	5.50	5.57
180	5.63	5.69	5.75	5.82	5.88	5.94	6.01	6.07	6.14	6.20
190	6.27	6.34	6.40	6.47	6.54	6.60	6.67	6.74	6.81	6.88
200	6.95	7.02	7.09	7.16	7.23	7.30	7.37	7.44	7.51	7.59
210	7.66	7.73	7.81	7.88	7.95	8.03	8.18	8.25	8.25	8.33
220	8.41	8.48	8.56	8.64	8.72	8.79	8.95	8.95	9.03	9.11
230	9.19	9.27	9.35	9.43	9.51	9.67	9.76	9.76	8.94	9.92
240	10.00	10.09	10.17	10.26	10.34	10.51	10.00	10.00	10.68	10.77
250	10.86									

Çizelge 2.7. St52 çeliği burkulma katsayısı (TS 648-1980 Çizelge 7)

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.03	1.04
20	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10	1.11	1.11	1.12	1.13
30	1.14	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.22	1.22	1.23	1.24
40	1.25	1.26	1.27	1.28	1.30	1.31	1.33	1.33	1.35	1.36
50	1.37	1.39	1.40	1.41	1.43	1.44	1.47	1.47	1.49	1.50
60	1.52	1.54	1.55	1.57	1.59	1.60	1.62	1.64	1.66	1.68
70	1.70	1.72	1.74	1.76	1.78	1.80	1.83	1.85	1.87	1.90
80	1.92	1.95	1.97	2.00	2.03	2.06	2.08	2.11	2.15	2.18
90	2.21	2.24	2.28	2.32	2.35	2.39	2.43	2.47	2.52	2.56
100	2.61	2.65	2.70	2.75	2.81	2.86	2.92	2.98	3.04	3.10
110	3.15	3.21	3.27	3.33	3.39	3.45	3.51	3.57	3.63	3.69
120	3.75	3.81	3.88	3.94	4.01	4.07	4.14	4.20	4.27	4.34
130	4.40	4.47	4.54	4.61	4.68	4.75	4.82	4.89	4.96	5.03
140	5.11	5.18	5.285	5.33	5.40	5.48	5.55	5.63	5.71	5.78
150	5.86	5.94	6.02	6.10	6.18	6.26	6.34	6.42	6.50	6.59
160	6.67	6.75	6.84	6.92	7.01	7.09	7.18	7.27	7.35	7.44
170	7.53	6.72	7.71	7.80	7.89	7.98	8.07	8.16	8.25	8.35
180	8.44	8.54	8.63	8.73	8.82	8.92	9.01	9.11	9.21	9.31
190	9.41	9.50	9.60	9.70	9.81	9.91	10.01	10.11	10.21	10.32
200	10.42	10.53	10.63	10.74	10.84	10.95	11.06	11.16	11.27	11.38
210	11.49	11.60	11.71	11.82	11.93	12.04	12.16	12.27	12.38	12.50
220	12.61	12.73	12.84	12.96	13.07	13.19	13.31	13.43	13.54	13.66
230	13.78	13.90	14.05	14.14	14.27	14.39	14.51	14.63	14.76	14.88
240	15.01	15.13	15.26	15.38	15.51	15.64	15.77	15.90	16.02	16.15
250	16.28									

2.1.9.5 Eksenel basınç ve eğilmeye çalışan çubuklar

Eksantirik bir basınç kuvveti veya merkezi basınç kuvveti ile beraber M_x ve/veya M_y eğilme momentleri etkileyen çubuklarda öncelikle burkulma göz önünde tutulmadan basınç ve eğilmeye karşı tahkik yapılır. Daha sonra burkulma tahkiki yapılır. Çubuklarda burkulma tahkiki ve burkulmasız gerilme tahkiki Denklem 2.15 ve 2.16'daki gibidir.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex'}}\right)\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}\sigma_{by}}{\left(1.0 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey'}}\right)\sigma_{By}} \leq 1.0 \quad (2.15)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{BX}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{BY}} \leq 1.0 \quad (2.16)$$

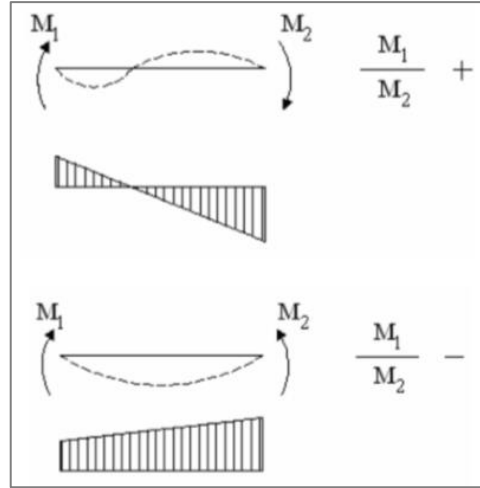
Eğer $\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0.15$ ise Denklem 2.15 ve Denklem 2.16 formülleri yerine Denklem 2.17 kullanılabilir. Denklem 2.15, 2.16 ve 2.17’de x ve y eksenleri etrafında eğilmenin meydana geldiği asal eksenleri için, σ_{bem} ; sadece basınç kuvveti etkimesi durumunda burkulma emniyet gerilmesini, σ_B ; yalnız eğilme momenti etkimesi durumunda burkulma emniyet gerilmesini ifade etmektedir.

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ba}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{BX}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{BY}} \leq 1.0 \quad (2.17)$$

Denklem 2.15’de kullanılacak olan σ'_e Denklem 2.18’de verilmiştir. Burada, S_b ; elemanın eğilme düzleminde bulunan serbest boyunu, i_b ; eğilmenin meydana geldiği düzleme dik eksen için atalet momentini, K ; eğilme düzlemi için etkin burulma katsayısını, σ_{eb} ; sadece eksenel basınç kuvvetine göre hesaplanan basınç gerilmesini ifade etmektedir. C_m katsayısı ise uç momentlerini, y açıklık momentlerini ve yanal desteklemeyi göz önünde bulunduran bir katsayıdır, yanal deplasman mümkün olduğu çerçeveler için $C_m=0.85$, yanal harekete karşı tutulmuş çerçevelerde uçların bağlı olduğu ve eğilme düzleminde yanal yükü olmayan kolonla için ise Denklem 2.19 kullanılır. Burada $\frac{M_1}{M_2}$ göz önünde tutulan eğilme düzleminde bulunan elemanlar için eğilme momentlerinden küçüğünün büyüğüne oranıdır ve iki yönlü eğilme durumu için negatif alınmaktadır.

$$\sigma'_e = \frac{1}{2.5} \frac{\pi^2 E}{(KS_b/i_b)^2} \quad (2.18)$$

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad (2.19)$$

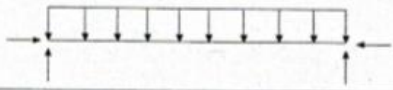
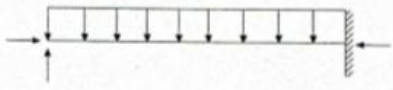
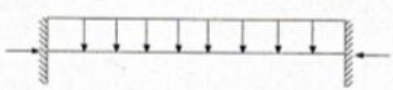
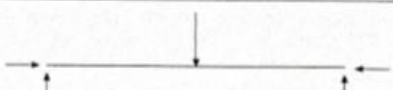
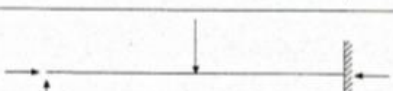


Şekil 2.4. M_1/M_2 oranı grafiği (TS648-1980 Şekil 10)

Yanal hareketlere karşı tutturulmuş çerçeveler için, üzerinde yanal yük bulunduran basınç çubukları için Şekil 2.4'te verilen durumlarda Denklem 2.20 ve Denklem 2.21 kullanılabilir. Burada δ_0 ; eğilme yükünden dolayı oluşacak en büyük deplasmanı, M_0 ; enine yükten oluşacak en büyük açıklık momentini, S; Eleman boyunu ifade etmektedir.

$$C_m = 1 + \psi \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_e} \quad (2.20)$$

$$\psi = \frac{\pi^2 \delta_0 EI}{M_0 S^2} \quad (2.21)$$

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

Şekil 2.5. ψ değerleri (TS648-1980 Çizelge 10)

2.2 Depreme Dayanıklı Çelik Yapıların ÇYTHYE'ye Göre Hesap ve Tasarımı

Bu kısımda 2016 yılından itibaren kullanılmaya başlanılan ve 2018 yılında güncellenen ÇYTHYE yönetmeliğine göre çelik yapıların hesap ve tasarımı anlatılmıştır (ÇYTHYE, 2018).

2.2.1 ÇYTHYE'ye göre çelik yapıların hesap ve tasarım kuralları

Bu bölümde çelik yapıların hesap ve tasarımına ilişkin 2016 yılından itibaren geçerliliği kabul edilen ÇYTHYE'nin tasarım, hesap ve yöntemlerine değinilmiştir.

2.2.1.1 Malzeme özellikleri

Bu standart, TS EN 10025'e uygun şekilde sıcak haddelenerek üretilmiş çelik profiller ve levhalar ile EN 10210 ve EN 10219'a uygun olarak üretilen yapısal boru ve kutu enkesitli elemanların oluşturduğu çelik ve kompozit yapıların tasarım esaslarını içermektedir. Bu standarttaki kurallar Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9'da verilen çelik sınıfları için geçerlidir. Bu değerler, tasarım hesaplarında kullanılacak karakteristik değerlerdir.

Çizelge 2.8. Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerde karakteristik akma gerilmesi(F_y) ve çekme dayanımı(F_u) (ÇYTHYE 2018 Tablo 2.1A)

Standart ve Çelik Sınıfları	Karakteristik Kalınlık, t(mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q-QL/QL1	460	570	440	550

Çizelge 2.9. Yapısal kutu ve boru profillerde karakteristik akma gerilmesi(F_y) ve çekme dayanımı(F_u) (ÇYTHYE 2018 Tablo 2.1B)

Standart ve Çelik Sınıfları	Karakteristik Kalınlık, t(mm)			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10210-1				
S235 H	235	360	215	340
S275 H	275	430	255	410
S355 H	355	510	335	490
S275 NH/NLH	275	390	255	370
S355 NH/NLH	355	490	335	470
S420 NH/NLH	420	540	390	520
S460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S235 H	235	360		
S275 H	275	430		
S355 H	355	510		
S275 NH/NLH	275	370		
S355 NH/NLH	355	470		
S460 NH/NLH	460	550		
S275 MH/MLH	275	360		
S355 MH/MLH	355	470		
S420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		

2.2.1.2 Yük kabülleri

Tasarımı yapılacak yapılarda esas alınan karakteristik yük değerleri, kar, rüzgâr ve deprem etkileri dışındakiler için, TS 498'e uyulacaktır. Kar yükü için TS EN 1991-1-3 ve rüzgâr yükü için TS EN 1991-1-4 ilkelerine uyulacaktır. Deprem etkileri için yürürlükteki Türk Deprem Yönetmeliği ilkeleri dikkate alınacaktır. Rüzgâr yükü hesabında, rüzgâr hızına ait temel değer, $V_{b,o} = 28 \text{ m/sn}$ (100 km/sa)'den ve binanın ana taşıyıcı sistemine, dış cephe kaplamalarına ve rzgra maruz yapısal ve yapısal olmayan elemanlarına etkileyen karakteristik rüzgâr yükleri 0.5 kN/m^2 'den az olmayacaktır. Gerekli dayanımı belirlemek için karakteristik yüklere uygulanacak yük kombinasyonları, seçilen tasarım yöntemine bağlı olarak Bölüm 2.2.1.3 ve Bölüm 2.2.1.4'te verilmiştir.

G : sabit yük

Q : hareketli yük

Q_r : atı hareketli yükü

S : kar yükü

R : yağmur yükü

W : rüzgâr yükü

E : deprem etkisi

F : akışkan madde basınç yükü

T : sıcaklık değişmesi, mesnet çökmesi etkileri

H : yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı veya yığılı madde basıncı

2.2.1.3 Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım

Bu tasarımda R_a gerekli dayanımı, aşağıdaki yük kombinasyonları ile hesaplanacaktır.

(1) $1.4G$

(2) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$

(3) $0.9G + 1.6W + 0.9G + 1.0E$

(4) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

(5) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$

(6) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$

2.2.1.4 Güvenlik katsayıları ile tasarım

Bu tasarımda R_a gerekli dayanımı, , aşağıdaki yük kombinasyonları ile hesaplanacaktır.

- (1) G
- (2) $G + Q$
- (3) $0.6G + W$
- (4) $G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (5) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (6) $G + 1.0W$ (5b) $G + 0.7E$
- (7a) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(W)$
- (7b) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(0.7E)$

F akışkan madde basınç yükünün bulunması durumunda, (1) – (6) sayılı kombinasyonlarda bu yük G yükünün katsayısıyla kombinasyona dahil edilecektir. H yatay kuvvetinin bulunması durumunda, bu kuvvet gerekli R_a dayanımını artırıcı yönde etki yapıyorsa 1.0 katsayısı ile bütün kombinasyonlara dahil edilecektir. Bu kuvvetin gerekli dayanımı azaltacak yönde etkimesi ve, yükün sürekli olması durumunda 0.6 katsayısı ile kombinasyona girecek, yükün sürekli olmaması halinde kombinasyona dahil edilmeyecektir. Mesnet çökmesi ve/veya T sıcaklık değişmesi etkilerinin bulunması durumunda, bu etkiler gerekli R_a dayanımını artırıcı yöndeysse 0.75 katsayısı ile bütün kombinasyonlara dahil edilecektir. E deprem etkisinin detaylı tanımı için ise ilgili Türk Deprem Yönetmeliği dikkate alınacaktır.

2.2.2 Tasarım ilkeleri

Bu bölümde çelik yapıların analizinde ve boyutlandırılmasında uygulanan ve yönetmeliğin bölümlerinde bahsedilen ilkelere yer verilmiştir. Bunlar;

- Genel esaslar
- Tasarım prensipleri
- Yükler ve yük kombinasyonları
- Eleman enkesit özellikleridir.

2.2.2.1 Genel esaslar

Yapı sistemini oluşturan elemanların ve birleşimlerin tasarımı, yapısal analizin temel varsayımları ve yapı sisteminin öngörülen kullanım ve davranış özellikleri ile uyumlu olmalıdır.

2.2.2.2 Tasarım prensipleri

Çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerin tasarımı sırasıyla Bölüm 2.2.2.4 ve Bölüm 2.2.2.5'te esasları verilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ya da Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yöntemlerinden biri seçilerek hesaplanabilir. Elemanların ve birleşimlerin gerekli dayanımı, uygulanan tasarım yöntemi için öngörülen ve detayları ÇYTHYE Bölüm 5.3'te verilen yük kombinasyonları altında hesaplanarak sistem analizleri için doğrusal-elastik teori kullanılabilir.

2.2.2.3 Sınır durumlar

Yapıların tasarımı, öngörülen yük kombinasyonları altında ve yapının ömrü boyunca, kullanılabilirlik ve dayanım sınır durumları geçilmeyecek şekilde hesaplanabilir. Yapının kullanım ömrü boyunca, stabilite veya dayanım yetersizliği nedeniyle bölgesel ya da tamamen göçme oluşumu dayanım sınır durumu olarak tanımlanmaktadır. Kullanılabilirlik sınır durumu ise yapıdan olası fonksiyonları engelleyen aşırı yerdeğiştirmeler ve buna benzer özellikler cinsinden tanımlanmaktadır.

2.2.2.4 Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT)

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT), bütün yapısal tasarım elemanları için, tasarım dayanımı, ϕR_n 'nin bu tasarım yönteminde öngörülen ve ÇYTHYE Bölüm 5.3.1'de yer alan YDKT yük kombinasyonları içerisinde hesaplanan gerekli dayanım, R_u , değerine eşit ya da daha büyük olmasına dayanmaktadır. Buna göre, tasarım Denklem 2.22'de verilen koşula uyularak gerçekleştirilecektir. Burada, R_u ; YDKT yük kombinasyonu ile belirlenen gerekli dayanımı, R_n ; karakteristik dayanımı, ϕ ; dayanım katsayısını, ϕR_n ise tasarım dayanımını ifade etmektedir.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.22)$$

2.2.2.5 Güvenlik katsayıları ile tasarım (GKT)

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT), tüm yapısal elemanlar için, güvenli dayanım, R_n/Ω 'nın bu tasarım yöntemi için öngörülen ve GKT yük kombinasyonları altında hesaplanan gerekli dayanım, R_a , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır. Buna göre, tasarım Denklem 2.23'te verilen koşula uygun olarak gerçekleştirilecektir. Burada, R_a ; GKT yük kombinasyonu ile belirlenen gerekli dayanımı, R_n ; karakteristik dayanımı, Ω ; güvenlik katsayısını, R_n/Ω ise güvenli dayanımı ifade etmektedir.

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (2.23)$$

2.2.2.6 Eksenel çekme kuvveti etkisi

Bu bölümde eksenel (enkesit ağırlık merkezine uygulanan) çekme kuvveti etkisi altındaki elemanların tasarımına yer verilmiştir.

2.2.2.6.1 Narinlik oranı sınırı

Çekme kuvveti etkisine maruz kalan elemanlarda stabilite bir tasarım kriteri olmamasına rağmen, bu tür elemanlar için narinlik oranı, $L/i \leq 300$ koşulunu sağlamalıdır. Bu durum miller ve çelik kablolar için geçerli değildir.

2.2.2.6.2 Kayıpsız ve net enkesit alanları

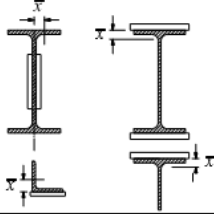
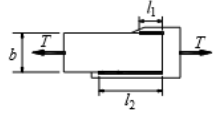
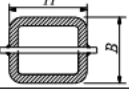
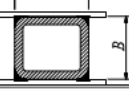
Çekme etkisine maruz kalan elemanların bu bölümde tanımlanacak olası göçme sınır durumlarında, kayıpsız enkesit alanı, A_g , ve net (kayıplı) enkesit alanı, A_n , Bölüm 2.2.2.7.3'de verilen ilgili kurallara göre belirlenecektir.

2.2.2.6.3 Etkin net enkesit alanı

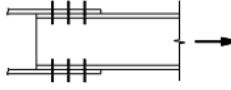
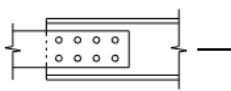
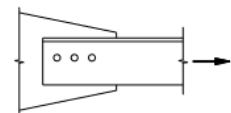
Çekme elemanlarının birleşim bölgesine bütün enkesit parçalarıyla kaynaklı yada bulonlu olarak bağlanmadığı durumlarda, gerilme yayılımındaki düzensizliğin hesaba dahil edildiği etkin net enkesit alanı, A_e , Denklem 2.24 ile hesaplanacaktır.

$$A_e = UA_n \quad (2.24)$$

Denklem 2.24'te verilen U , gerilme düzensizliği etki katsayısı, çekme elemanları için tipik bulonlu ve kaynaklı birleşimleri için, Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de verilmektedir.

Durum	Çekme Elemanı Tanımı	Gerilme Düzensizliği Etki Katsayısı, U	Örnek
1	Çekme elemanlarının birleşim bölgesine tüm enkesit parçalarıyla bağlanması durumu	$U=1.0$	-
2	I, U ve T- enkesitli çekme elemanlarının tüm enkesit parçalarıyla bağlanmaması durumu	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l}$	
3	Kuvvetin çekme doğrultusuna dik kaynaklarla aktarıldığı birleşim	$U=1.0$ A_n : doğrudan birleşen enkesit parçasının alanı	
4 ^[a]	Çekme kuvvetinin sadece boyuna doğrultudaki kaynaklarla aktarıldığı levhalar, korniyerler, U-profiller, T-enkesitli elemanlar ve birleşim elemanları ile bağlanan I-profillerin birleşimi ($\bar{x}$ nin tanımı için Durum 2 ye bakınız).	$U = \frac{3l^2}{(3l^2 + b^2)} \left(1 - \frac{\bar{x}}{l} \right)$	
5	Bir birleşim levhasına bağlanan boru enkesitli profiller ^[b]	$l \geq 1.3D \rightarrow U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \rightarrow U = 1 - \bar{x} / l$ $\bar{x} = D / \pi$	
6	Birleşim levhasına bağlanan kutu enkesitli profiller ^[b]	$l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x} / l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$	
	Yan kenarlarda iki adet birleşim levhası kullanılması durumu	$l \geq H \rightarrow U = 1 - \bar{x} / l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	

Şekil 2.6. Gerilme düzensizlikleri etki katsayısı (ÇYTHYE 2016 Tablo 7.1)

7	I ve ½ I enkesitli profiller ^[c]	Başlıkların kuvvet doğrultusunda bir sırada 3 veya daha fazla bulonla bağlandığı birleşim	$b_f / d \geq 2/3 \rightarrow U = 0.90$ $b_f / d < 2/3 \rightarrow U = 0.85$	
		Gövdenin kuvvet doğrultusunda bir sırada 4 veya daha fazla bulonla bağlandığı birleşim	$U = 0.70$	
8	Tek ve çift korniyer ^[c]	Kuvvet doğrultusunda bir sırada 4 veya daha fazla bulon bulunan birleşim	$U = 0.80$	
		Kuvvet doğrultusunda bir sırada 2 veya 3 bulon bulunan birleşim	$U = 0.60$	

$\bar{X}$: Birleşim etki alanı ağırlık merkezinin birleşim düzlemine dik uzaklığı (dışmerkezlik etkisi)
 l : Yük doğrultusundaki etkin birleşim uzunluğu (bulonlu birleşimlerde en uzun bulon sırasındaki en dış bulon merkezleri arasındaki uzunluk)
 b_f : Başlık genişliği.
 d : Enkesit yüksekliği.

[a] : $l = \frac{l_1 + l_2}{2}$

[b] : Kaynak uzunluğu, l , kutu profilin genişliği, H veya boru profilin çapı, D den küçük olamaz.

[c] : Bulonlu çekme elemanlarının ön boyutlandırılması aşamasında, gerilme düzensizliği etki katsayısı için **Tablo 7.1** de verilen ortalama değerler kullanılabilir. Birleşimin tasarımından sonra, **Tablo 7.1** de verilen ifadeler ile hesaplanan daha büyük U değerlerinin kullanılmasına izin verilmektedir.

Şekil 2.7. Gerilme düzensizlikleri etki katsayısı(devamı) (ÇYTHYE 2016 Tablo 7.1)

2.2.2.6.4 Çekme kuvveti dayanımı

Tasarım çekme kuvveti dayanımı, $\phi_t T_n$, (YDKT) ya da güvenli çekme kuvveti dayanımı, T_n/Ω_t , (GKT), eksenel çekme kuvvetine maruz kalan eleman için, kırılma sınır durumu akma sınır durumu ve blok kırılma sınır durumlarına göre hesaplanacak dayanımların en küçüğü olarak alınacaktır.

2.2.2.6.5 Akma sınır durumu

Çekme elemanlarında akma sınır durumu için karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n , kayıpsız enkesit alanı kullanılarak Denklem 2.25 ile hesaplanacaktır.

$$T_n = F_y A_g \quad (2.25)$$

Tasarım çekme kuvveti dayanımı, $\phi_t T_n$, (YDKT) veya güvenli çekme kuvveti dayanımı, T_n/Ω_t , (GKT) $\phi_t=0.90$ (YDKT) veya $\Omega_t=1.67$ (GKT) olarak belirlenecektir.

2.2.2.6.6 Kırılma sınır durumu

Çekme elemanlarında kırılma sınır durumu için, karakteristik çekme kuvveti dayanımı, T_n , etkin net enkesit alanı kullanılarak Denklem 2.26 ile hesaplanacaktır.

$$T_n = F_u A_e \quad (2.26)$$

Tasarım çekme kuvveti dayanımı $\phi_t T_n$, için $\phi_t = 0.75$, güvenli çekme kuvveti dayanımı, T_n / Ω_t , (GKT) için $\Omega_t = 2.00$ olarak alınacaktır. Burada A_e ; etkin net enkesit alanını, A_g ; kayıpsız enkesit alanını, F_y ; karakteristik akma gerilmesini F_u ise karakteristik çekme dayanımını ifade etmektedir.

2.2.2.7 Eksenel basınç kuvveti etkisi

Bu bölümde eksenel (enkesit ağırlık merkezine uygulanan) basınç kuvvetine maruz kalan elemanların tasarımına yer verilmiştir.

2.2.2.7.1 Narinlik oranı sınırı

Basınç elemanları için, ÇYTHYE Bölüm 6 ya da Bölüm 16'ya göre tespit edilen burkulma boyu ($L_c = K \cdot L$) kullanılarak hesabı yapılan narinlik oranı, $L_c / i = 200$ koşulunu sağlayacaktır. Buradaki terimlerden, L_c ; burkulma boyunu, i ; atalet yarıçapını, K ; burkulma boyu katsayısını, L ; desteklenen noktalar arasındaki eleman uzunluğunu ifade etmektedir.

2.2.2.7.2 Tasarım esasları

Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_n , eksenel basınca maruz kalan elemanın enkesit asal eksenlerinin herhangi biri etrafında burulmalı burkulma, eğilmeli burkulma, ve/veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumları için hesaplanacak ve dayanımların en küçüğü dikkate alınacaktır. Tasarım basınç kuvveti dayanımı, $\phi_c P_n$, (YDKT) ya da güvenli basınç kuvveti dayanımı, P_n / Ω_c , (GKT) bütün basınç elemanlarında, $\phi_c = 0.90$ (YDKT) ya da $\Omega_c = 1.67$ (GKT) olmak üzere, Bölüm 2.2.2.8'de tanımlanan kurallara uygun olarak hesaplanacaktır.

2.2.2.7.3 Karakteristik basınç kuvveti dayanımı

Narin olmayan enkesitli elemanların eksenel basınç kuvveti altındaki karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı, P_n , Denklem 2.27 ile hesaplanacaktır.

$$P_n = F_{cr} * A_g \quad (2.27)$$

Burada, kritik burkulma gerilmesi, F_{cr} , Denklem 2.28b veya Denklem 2.28d ile elde edilecektir. Burada A_g ; kayıpsız enkesit alanını, F_e ; elastik burkulma gerilmesini, F_y ; karakteristik akma gerilmesini, F_{cr} ise kritik burkulma gerilmesini ifade etmektedir.

$$\frac{L_c}{i} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (veya } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25) \text{ için} \quad (2.28a)$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y \quad (2.28b)$$

$$\frac{L_c}{i} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \text{ (veya } \frac{F_y}{F_e} > 2.25) \text{ için} \quad (2.28c)$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (2.28d)$$

Elastik burkulma gerilmesi, F_e , eksenel basınç kuvveti etkisine maruz kalan elemanın enkesit asal eksenlerinden herhangi biri etrafında burulmalı burkulma, eğilmeli burkulma, ve/veya eğilmeli burulmalı burkulma sınır durumları 2.2.2.7.4, 2.2.2.7.5'te verilen esaslara göre hesaplanacaktır.

2.2.2.7.4 Eğilmeli burkulma sınır durumu

Eğilmeli burkulma sınır durumu, enkesit özelliklerinden bağımsız olarak, bütün basınç elemanlarında gözönünde bulundurulacaktır. Eğilmeli burkulma sınır durumu için karakteristik basınç dayanımı, Denklem 2.27 ile hesaplanacaktır.

Buna göre, Denklem 2.28b veya Denklem 2.28d'deki elastik burkulma gerilmesi, F_e , Denklem (2.29) ile hesaplanacaktır.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} \quad (2.29)$$

2.2.2.7.5 Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu

Bu bölüm, enkesiti tek simetri eksenli basınç etkisine maruz kalan elemanları (sırt sırta yerleştirilmiş çift korniyer, T enkesitler, vb.), enkesiti çift simetri eksenine sahip bazı yapma basınç etkisine maruz kalan elemanları (+ şekilli yapma enkesitler) ve simetri eksenini bulunmayan basınç etkisine maruz kalan elemanları kapsamaktadır. Aynı zamanda, burulmaya karşı desteklenmeyen uzunluk değerinin, yanal ötelenmeye karşı desteklenmeyen uzunluk değerini aşan enkesiti çift simetri eksenli tüm basınç elemanlarının tasarımında ve kol uzunluğunun kalınlığına oranı, $b/t > 0.71 \sqrt{E/F_y}$ olan tek korniyerden oluşan basınç elemanlarının tasarımı için, bu bölümde verilen ilkeler dikkate alınacaktır.

Burulmalı ve eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumlarında karakteristik basınç dayanımı, Denklem 2.27 ile hesaplanacaktır.

Buna göre, Denklem 2.28b veya Denklem 2.28d’teki elastik burkulma gerilmesi, F_e , ilgili kesitler için sırasıyla Denklem 2.30, Denklem 2.31 ve Denklem 2.32 kullanılarak hesaplanacaktır.

(a) Burkulmanın, elemanın boyuna eksenini etrafında dönmesi sonucu olduğu burulmalı burkulma sınır durumu için (+ şekilli yapma enkesitli yada sırt sırta yerleştirilerek oluşturulmuş 4 korniyerden meydana gelen açık enkesitli basınç elemanları) elastik burkulma gerilmesi, F_e , Denklem 2.29 ile hesaplanacaktır.

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad (2.30)$$

(b) Simetri eksenini y-ekseni olmak üzere, y-ekseni etrafında burkulmanın, elemanın eğilmesi ve boyuna eksenini etrafında dönmesiyle olduğu eğilmeli-burulmalı burkulma

sınır durumunda (çift korniyerler, T enkesitler, U profiller ve eşit kollu tek korniyer gibi tek simetri eksenine sahip enkesitlerden oluşan basınç elemanlarının simetri eksenleri etrafında burkulması) elastik burkulma gerilmesi, F_e , Denklem 2.31 ile hesaplanacaktır.

$$F_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2} \right] \quad (2.31)$$

Tek simetri ekseni bulunduran enkesitlerde simetri eksenine dik olan x ekseni etrafında burkulma hesabı için, karakteristik basınç kuvveti dayanımı eğilmeli burkulma sınır durumu dikkate alınarak ÇYTHYE Bölüm 8.2.1'e göre hesaplanacaktır.

Simetri ekseni x ekseni olduğu durumlarda (U profiller), Denklem 2.31 de F_{ey} terimi yerine F_{ex} kullanılacaktır.

(c) Simetri eksenine sahip olmayan enkesitlerde (farklı kollu tek korniyer enkesitli basınç elemanları) eğilmeli-burulmalı burkulma sınır durumu için Denklem 2.32'nin çözümünden elde edilecek minimum F_e değeri, elastik burkulma gerilmesi olarak dikkate alınacaktır.

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2 (F_e - F_{ey}) \left(\frac{x_0}{i_0} \right)^2 - F_e^2 (F_e - F_{ex}) \left(\frac{y_0}{i_0} \right)^2 = 0 \quad (2.32)$$

Denklem 2.32'de geçen F_e ; elastik burkulma gerilmesini, F_{ex} ; x ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesini ifade etmektedir ve Denklem 2.33 ile hesaplanmaktadır. F_{ey} ; y ekseni etrafında eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesini ifade etmektedir ve Denklem 2.34 ile hesaplanmaktadır. F_{ez} ; Burulmalı burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesini ifade etmektedir ve Denklem 2.35 ile hesaplanmaktadır. Denklem 2.33, Denklem 2.34, Denklem 2.35 ve Denklem 2.36'da geçen A_g ; kayıpsız enkesit alanını, E ; çelik elastisite modülünü, G ; çelik kayma modülünü, H ; eğilme sabitini, K_x ; x ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısını, K_y ; y ekseni etrafında eğilmeli burkulma durumunda burkulma boyu katsayısını, K_z ; burulmalı burkulma durumunda burkulma boyu katsayısını ifade etmektedir. Güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla, $K_z = 1.0$ olarak alınabilir. L_{cx} ; x ekseni etrafında burkulma durumunda burkulma boyunu, L_{cy} ; y ekseni etrafında burkulma durumunda burkulma boyunu, L_{cz} ; z ekseni (boyuna eksen) etrafında

burkulma durumunda burkulma boyunu, K ; burkulma katsayısını i ; atalet yarıçapını, I_x ve I_y ; ilgili asal eksen etrafındaki atalet momentini x_0 , y_0 ; kayma merkezinin ağırlık merkezine göre koordinatlarını, J ; burulma sabitini, I_0 ; kayma merkezine göre hesaplanan polar atalet yarıçapını i_x ; x eksenine göre atalet yarıçapını, i_y ; y eksenine göre atalet yarıçapını, C_w : çarpılma sabitini ifade etmektedir.

$$F_{ex} \leq \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{i_x} \right)^2} \quad (2.33)$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{i_y} \right)^2} \quad (2.34)$$

$$F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{(L_{cz})^2} + GJ \right) \frac{1}{A_g i_0^2} \quad (2.35)$$

$$H = 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{i_0^2} \quad (2.36)$$

$$i_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad (2.37)$$

Çarpılma sabiti, C_w , çift simetri eksenli I enkesitlerde, h_0 başlıkların ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık olmak üzere, Denklem 2.38 ile hesaplanabilir.

$$C_w = \frac{I_y h_0^2}{4} \quad (2.38)$$

T enkesitler ve çift korniyerlerde, Denklem 2.35'te yer alan çarpılma sabiti, C_w , terkedilerek, F_{ez} , Denklem 2.39 ile hesaplanabilir.

$$F_{ez} = \frac{GJ}{A_g i_0^2} \quad (2.39)$$

2.2.2.7.6 Narin enkesitli basınç elemanları

Eksenel basınç kuvveti altında, ÇYTHYE Tablo 5.1A'ya göre narin enkesit parçalarına sahip basınç elemanlarında karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n , Denklem 2.40 ile belirlenecektir. Burada A_e ; etkin alanı, F_{cr} ; kritik burkulma gerilmesini ifade etmektedir.

$$P_n = F_{cr} \cdot A_e \quad (2.40)$$

2.2.2.7.7 Narin enkesit parçalarında etkin alan

Etkin alan, A_e , her bir narin enkesit parçası için $(b-b_e)t$ alınarak, kayıpsız alanda yapılan azaltma ile belirlenecektir. Narin enkesit parçalarında etkin genişlik, b_e , (T enkesitler için de gövde elemanları için b_e) aşağıda tanımlanmaktadır.

$$\lambda \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \quad \text{için } b_e = b \quad (2.41)$$

$$\lambda > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \quad \text{için} \quad b_e = \left(1 - c_1 \sqrt{\frac{F_{e1}}{F_{cr}}} \right) \sqrt{\frac{F_{e1}}{F_{cr}}} \quad (2.42)$$

Denklem 2.41 ve Denklem 2.42'de tanımlanan b ; Enkesit parçasının genişliğini (T enkesitlerde d , gövde elemanlarında h), C_1 ve C_2 ; Çizelge 2.10'da verilen etkin genişlik hata düzeltme katsayısını, λ ; enkesit parçası genişlik / kalınlık oranını, λ_r ; enkesit parçası genişlik / kalınlık oranı sınır değerini, F_y ; Karakteristik akma gerilmesini, F_{e1} ; Denklem 2.43 ile hesaplanan yerel elastik burkulma gerilmesini ifade etmektedir.

$$F_{e1} = \left(c_2 \frac{\lambda_r}{\lambda} \right) F_y \quad (2.43)$$

Çizelge 2.10. Narin enkesit parçalarında C_1 ve C_2 katsayıları

Narin enkesit parçası	C_1	C_2
Rijitleştirilmiş enkesit parçaları (Kutu enkesitlerin cidarları hariç)	0.18	1.31
Kutu enkesitlerin cidarları	0.20	1.38
Diğer tüm elemanlar	0.22	1.49

2.2.2.7.8 Boru enkesitli elemanlarda etkin alan

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki narin enkesitli boru enkesitlerde, etkin alan, A_e , Denklem 2.44 ile hesaplanmaktadır. Burada, D ; boru enkesitin dış çapını, t ; boru enkesitin et (cidar) kalınlığını, A_g ; kayıpsız alanı ifade etmektedir.

$$\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y} \text{ için } A_e = A_g \quad (2.44a)$$

$$0.11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y} \text{ için } A_e = \left(\frac{0.038E}{F_y (D/t)} + \frac{2}{3} \right) A_g \quad (2.44b)$$

2.2.2.8 Genel esaslar ve yük kombinasyonları

Kullanılabilirlik, öngörülen standart kullanım koşulları ve yükleri altında, yapının kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirmesi, yapısal olmayan elemanların olumsuz etkilenmemesi, dış görünümünün ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığının korunması, kullanıcıların konforunun sağlanması gibi durumların tümü olarak tanımlanmaktadır. Yapı sisteminin dış etkiler altında yeterli bir dayanım, rijitlik ve stabiliteye sahip olacak şekilde tasarlanmasının yanında, kullanılabilirlik sınır durumları için de kontrol edilmesi gerekmektedir.

Kullanılabilirlik sınır durumları, öngörülen belirli yük kombinasyonları altında, yapı sisteminin yerdeğiştirme ve ivme gibi davranış büyüklüklerine ait sınırlar olarak ifade edilir. Kullanılabilirlik sınır durumlarının kontrol edildiği yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir. Verilen yük kombinasyonlarında, G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, S kar yüklerini ve W rüzgâr yüklerini ifade etmektedir.

- (1) $G + Q$
- (2) $G + 0.5 S$
- (3) $G + 0.5 Q$
- (4) $G + 0.5 Q + W$

Not: a.Sabit yükler ve kısa süreli hareketli yükler veya kar yükleri altındaki düşey yerdeğiştirme kontrollerinde (1) ve (2)'de verilen yük kombinasyonları dikkate alınacaktır.

b. Sabit yükler ve uzun süreli hareketli yükler altında, çelik-betonarme kompozit elemanlarda rötre ve sünme etkilerini de kapsayan düşey yerdeğiştirme kontrollerinde (3)'de verilen yük kombinasyonu kullanılacaktır.

c.Yapısal olmayan elemanları etkileyen düşey yerdeğiştirme kontrollerinde, G sabit yüklerinin söz konusu yapısal elemanın inşasından sonra etkiyen bölümü dikkate alınacaktır.

2.2.2.9 Düşey yerdeğiştirme (sehim) kontrolleri

Yapısal olmayan elemanların hasar görmemesi, ikinci mertebe etkilerinin aşırı değerler almaması ve fonksiyonlarının olumsuz etkilenmemesi için düşey yer değiştirmelere bir sınırlandırma getirilmesi gerekmektedir.

Hareketli yüklerden oluşan düşey yerdeğiştirmelerin (sehimlerin) açıklığa oranı, kat döşemelerinde 1/360, çatı döşemelerinde 1/240 sınırını aşmaması gerekmektedir.

Sabit yükler ve hareketli yükler (kar yükleri) altında, ÇYTHYE Bölüm 15.1'de verilen ilgili yük kombinasyonları ve notlar dikkate alınarak hesaplanan toplam düşey yerdeğiştirmelerin açıklığa oranı 1/300 sınırını aşmamalıdır. Konsol elemanlarda düşey yerdeğiştirmenin konsol boyuna oranı 1/150 sınırını aşmaması istenmektedir.

BÖLÜM III

UYGULAMA ÖRNEKLERİ

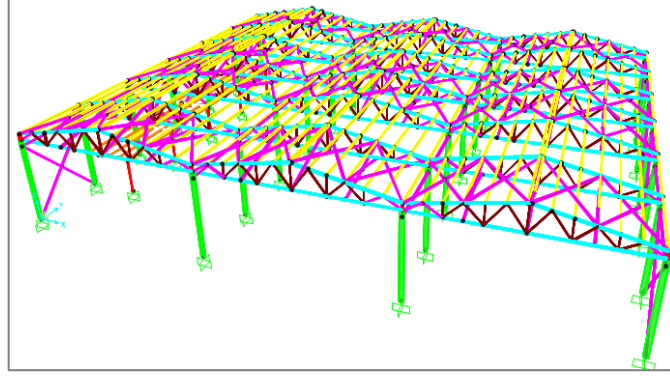
Bu kısımda çalışma kapsamında kullanılan hangar yapı modeli ile çerçeve sistem modeline ait hesap ve tasarım ilkelerine yer verilmiştir. İlk örnek üç açıklık ve altı aralıktan oluşan hangar yapı modeli, ikinci örnek ise dört katlı düşey çerçeve sistemden oluşmaktadır. Her iki yapı modelinde de piyasada tercih edilen makas ve çapraz çerçeve sistemi ile profil çeşitleri kullanılmıştır. Modellerde TS648 ve ÇYTHYE ilkeleriyle birlikte DBYBHY ilkeleri dikkate alınarak kesit kapasitelerinin birlikte sağlandığı profiller sabit tutularak kat ağırlıkları, periyot değerleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemeleri, ikinci mertebe etkileri, A1 burulma düzensizliği, B2 yumuşak kat düzensizliği ve kapasite oranları karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı işlemler TBDY ve ÇYTHYE kullanılarak tekrarlanmış ve TBDY'nin çelik yapılar üzerinde etkileri değerlendirilmiştir.

3.1 Uygulama I

İlk uygulama örneği, hangar yapı modelidir ve modele ait özellikler 3.1.1'de, modelin TS648'e göre tasarımı 3.1.2'de, ÇYTHYE'ye göre tasarımı ise 3.1.3'te verilmiştir.

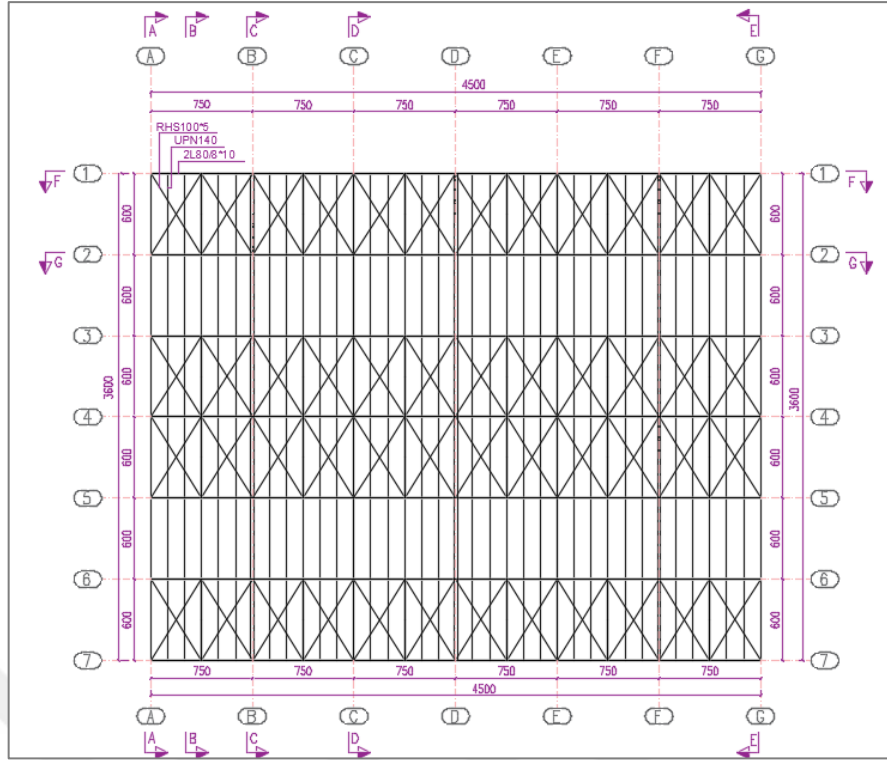
3.1.1 Uygulama I'e ait özellikler

Hangar yapı modeli X yönünde herbiri 15 m uzunluğunda üç açıklıktan ve Y yönünde herbiri 6 m uzunluğunda altı açıklıktan oluşmaktadır. SAP2000 programında modellenen yapıya ait üç boyutlu görünüş Şekil 3.1'de verilmiştir.

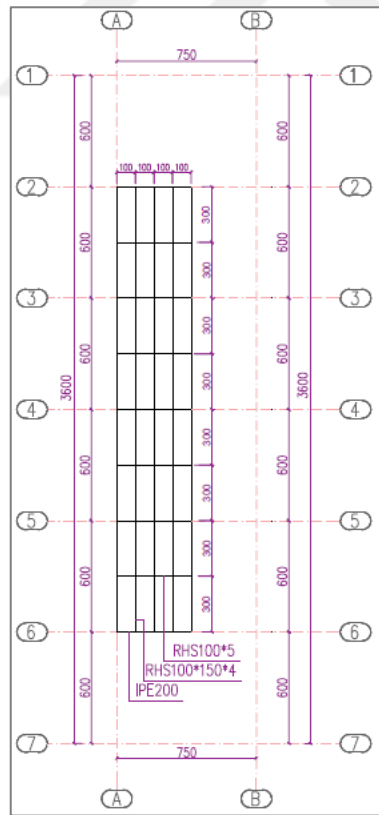


Şekil 3.1. Uygulama I üç boyutlu görünüş

Yapı kolon yüksekliği 7 m, makas yüksekliği ise 2 m'dir. Dış aks kolonlar için HEA360, iç aks kolonları için IPE330, çatı aşıkları için UPN140, çatı çaprazları için ise RHS100*5 çelik profil çeşitleri kullanılmıştır. Ayrıca SAP2000 programında gergi çubuklarının kullanıldığı varsayılarak yapı modeli tanımlanmıştır. Yapıya ait çatı planı görünüşüne Şekil 3.2'de yer verilmiştir. Ayrıca uygulamalarda sıkça kullanılan asma kat AB aksı arasına eklenmiştir. Asma kat kolonları 3 m yüksekliğinde RHS100*8 kutu profilden oluşmaktadır. Asma kat kolonlarını sistem ana kolonlarına bağlamak amacıyla IPE200 kiriş elemanları kullanılmıştır. Asma kat tali kiriş elemanlarında ise Şekil 3.3'te verildiği gibi RHS100*150*4 kutu profiller kullanılmıştır.

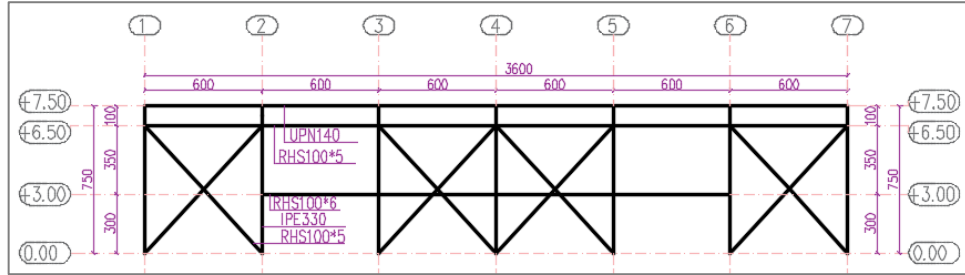


Şekil 3.2. Çatı planı

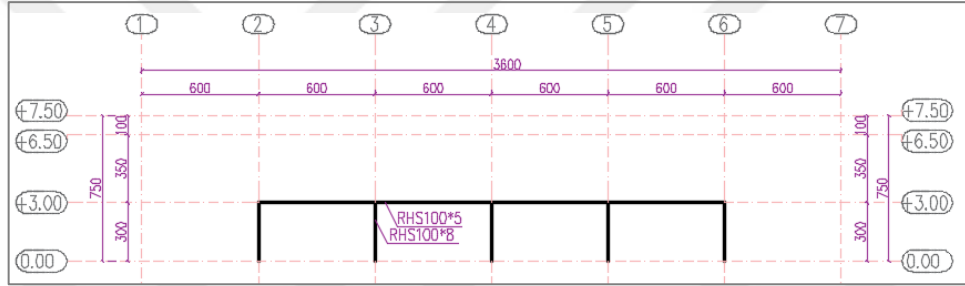


Şekil 3.3 Asma kat çatı planı

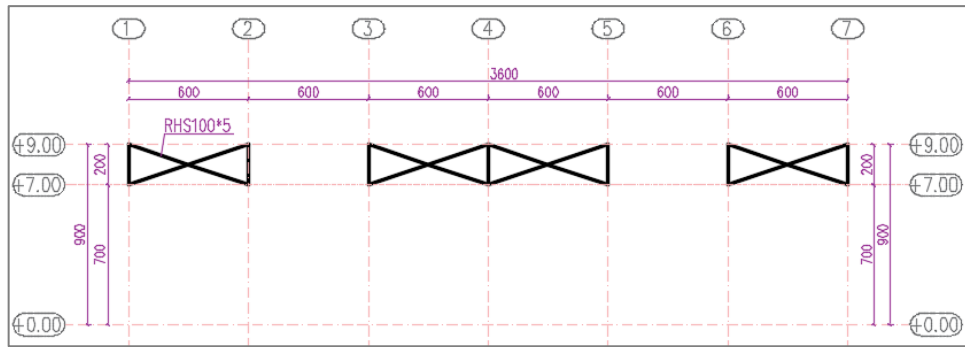
Sistem stabilitesini sağlamak amacıyla RHS100*5 profillerinden oluşan lentolar ile kolonlar Şekil 3.4 ve Şekil 3.7 de görüldüğü gibi birbirine bağlanmıştır. Ayrıca çatı mahya orta kısımlarında RHS100*5'ten oluşan kutu profiller ile makasların stabilitesi Şekil 3.6'da verildiği gibi sağlanmaktadır.



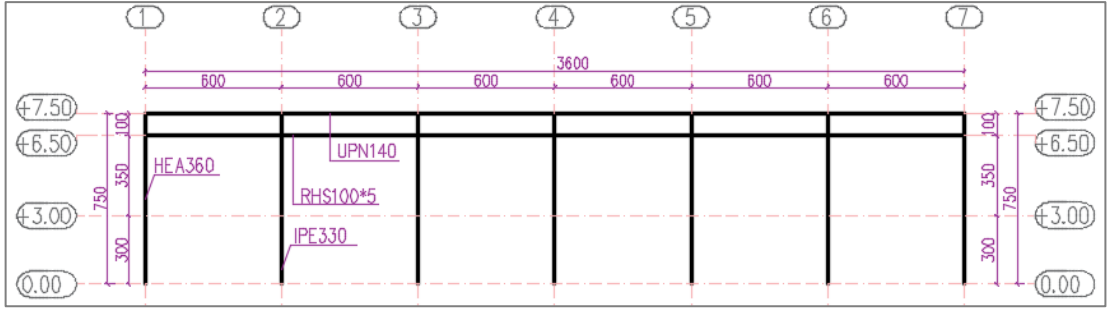
Şekil 3.4. Sistem A-A kesiti



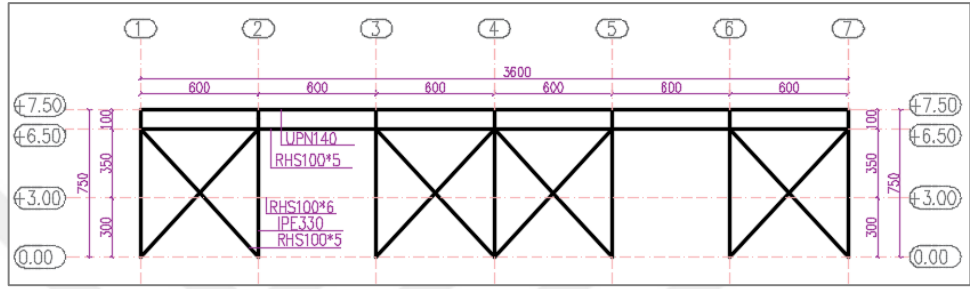
Şekil 3.5. Sistem B-B kesiti



Şekil 3.6. Sistem C-C kesiti (B-D-F Aksı)

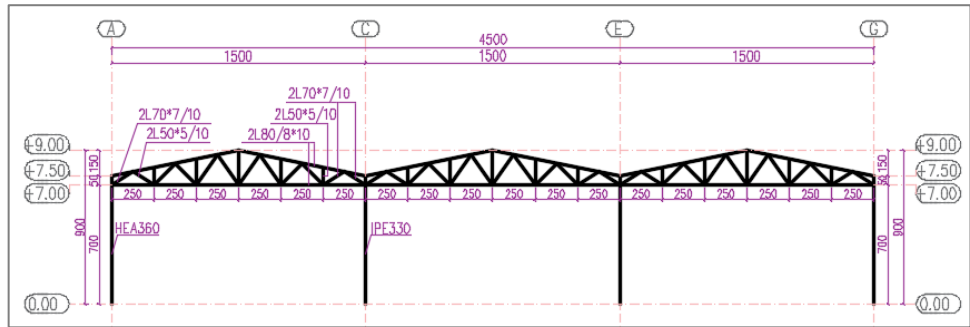


Şekil 3.7. Sistem D-D kesiti (C ve E Aksı)

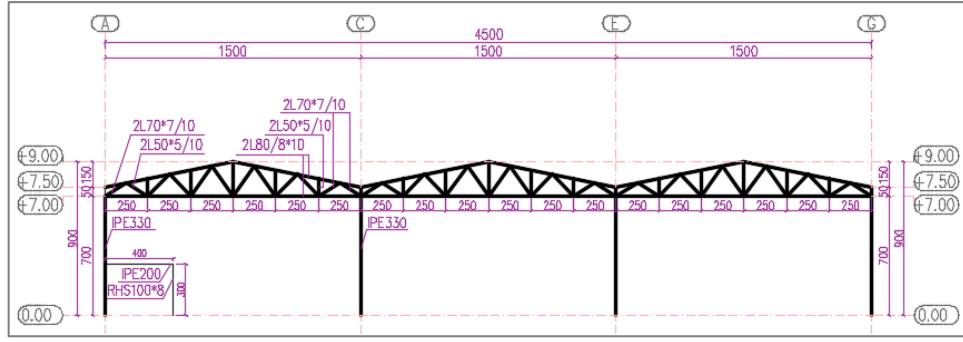


Şekil 3.8. Sistem E-E kesiti(G Aksı)

Çatı makası mahya yüksekliği 2 m olup alt ve üst başlıklar için 2L80/8*10, dikme ve diyagonaller için ise mesnete yakın bölgelerde 2L70*7/10 diğer bölgelerde ise 2L50*5/10 profil tipleri kullanılmıştır. Makas sistemine ait detaylar Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir. Çatı eğimi $\alpha = 11^\circ$ dir.



Şekil 3.9. Sistem F-F kesiti (1 ve 7 Aksı)



Şekil 3.10. Sistem G-G kesiti(2-3-4-5-6 Aksı)

Yapı ilk olarak TS648 Standardına ve ÇYTHYE'ye göre DBYBHY ilkeleri dikkate alınarak analiz edilmiştir. Daha sonra ÇYTHYE ile birlikte TBDY ilkelerine uygun olarak analiz edilmiş ve yeni deprem yönetmeliğinin çelik yapılar üzerine etkisi irdelenmiştir.

3.1.2 DBYBHY koşulları

Hangar yapı modelinde dikkate alınan DBYBHY ilkelerine bu bölümde yer verilmiştir.

3.1.2.1 Etkin yer ivme katsayısı

Hangar yapı modelinin Kayseri ili Organize Sanayi Bölgesinde yapılacağı kabul edildiği için 3. derece deprem bölgesinde yer alan Kayseri ili için etkin yer ivmesi katsayısı A_0 , DBYBHY Tablo 2.2'den 0.2 olarak alınmıştır.

3.1.2.2 Bina önem katsayısı

Depo olarak kullanılması amaçlanan hangar yapı modeli için Bina Önem Katsayısı, I , DBYBHY Tablo 2.3'ten 1 olarak alınmıştır.

3.1.2.3 Spektrum katsayısı

Bina doğal titreşim periyodu Z' 'yi belirlemek için kullanılan Spektrum karakteristik periyotları T_A ve T_B değerleri DBYBHY Tablo 2.4'ten Z3 zemin sınıfı için sırasıyla 0.15 ve 0.60 olarak alınmıştır.

3.1.2.4 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) DBYBHY Tablo 2.5'ten 4 olarak seçilmiştir.

3.1.3 TS648 ve DBYBHY'ye göre hesap ve tasarım

TS 648'e göre tasarımı yapılan hangar yapı modelinin hesap ve tasarım esaslarına bu bölümde yer verilmiştir.

3.1.3.1 Kaplama yükü ağırlığı

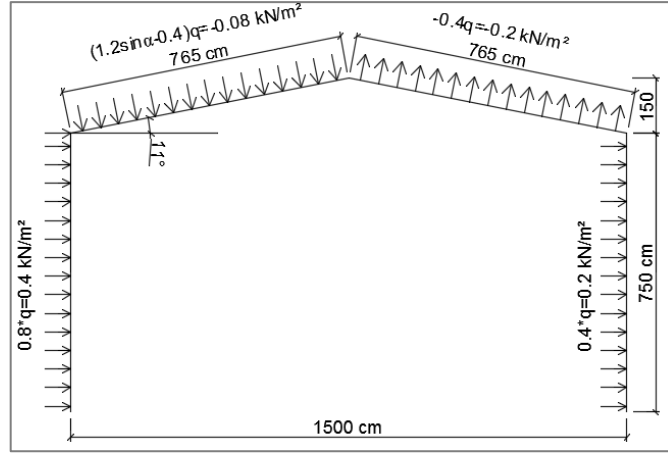
Çatı Kaplaması malzemesi için sandviç panel seçilmiş ve bu panelin ağırlığı 0.15 kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır.

3.1.3.2 Kar yükü hesabı

TS648'e göre kar yükü hesap değeri TS498 Madde 8'e göre 0.88 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır.

3.1.3.3 Rüzgâr yükü hesabı

Yapıya etkitilen rüzgâr yükü hesap değeri için TS498 Madde 9 dikkate alınmıştır. Buna göre hesaplanan rüzgâr yükü değerleri Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Yapıya etkitilen rüzgâr yükleri

3.1.3.4 Hareketli yük

Hareketli yük asma katta bulunan aşıklara 0.2 t/m olarak etkitilmiştir.

3.1.3.5 Yapısal çelik malzeme sınıfı

Çelik malzeme sınıfı olarak ST37 sınıfı malzeme kullanılmıştır.

3.1.3.6 Boyutlandırma kombinasyonları

TS648 için yapılan hesapta kullanılan yükleme tipi açıklamalarına ve kombinasyonlarına aşağıda yer verilmiştir.

G : Sabit Yükler

Q : Hareketli Yükler

EXP : +X yönü deprem yüklemesi

EXN : -X yönü deprem yüklemesi

EYP : +Y yönü deprem yüklemesi

EYN : -Y yönü deprem yüklemesi

WXP : + X Yönü Rüzgâr yüklemesi

WXN : - X Yönü Rüzgâr yüklemesi

WYP : + Y Yönü Rüzgâr yüklemesi

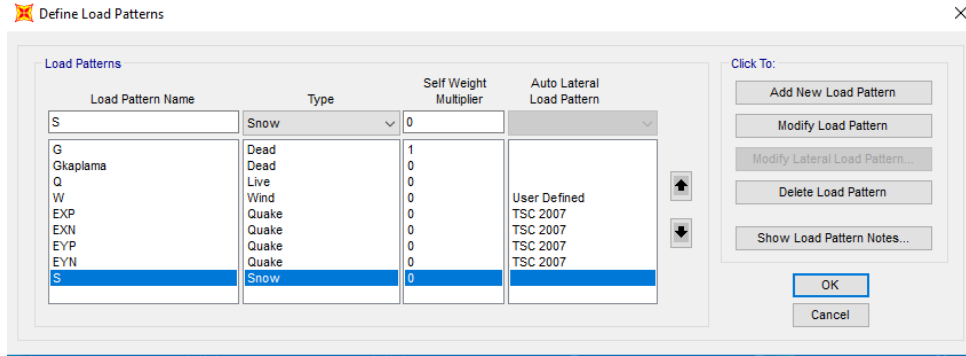
WYN : - Y Yönü Rüzgâr yüklemesi

1.0 G + 1.0 Q
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EXP ± 0.3 EYP
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EYP ± 0.3 EXP
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EXN ± 0.3 EYN
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EYN ± 0.3 EXN
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EXP ± 0.3 EYN
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EXN ± 0.3 EYP
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EYP ± 0.3 EXN
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 EYN ± 0.3 EXP
0.9 G ± 1.0 EXP ± 0.3 EYP
0.9 G ± 1.0 EYP ± 0.3 EXP
0.9 G ± 1.0 EXN ± 0.3 EYN
0.9 G ± 1.0 EYN ± 0.3 EXN
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 WXP
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 WXN
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 WYP
1.0 G + 1.0 Q ± 1.0 WYN
0.9 G + 1.0 WXP
0.9 G - 1.0 WXP
0.9 G + 1.0 WYP
0.9 G - 1.0 WYP
0.9 G + 1.0 WXN
0.9 G - 1.0 WXN
0.9 G + 1.0 WYN
0.9 G - 1.0 WYN

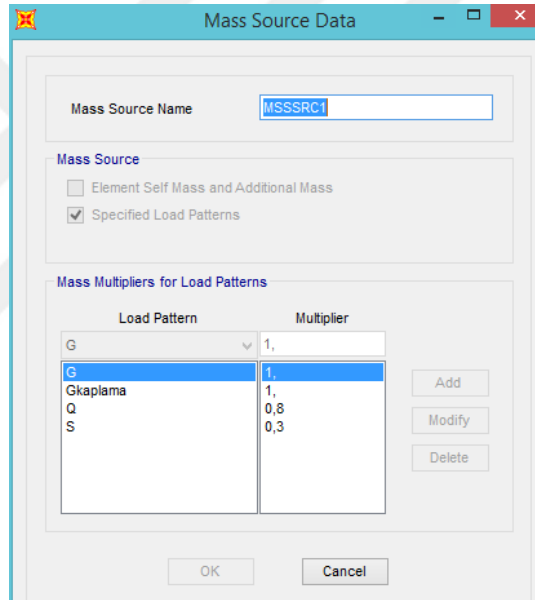
3.1.3.7 Hesap adımları

Hangar yapı modelinin TS648’ göre hesabının yapılması için ilk olarak yapı üç boyutlu olarak SAP2000 programında modellenmiştir. Yapıya ait sabit, hareketli, kar, rüzgâr ve deprem yüklemeleri ile bu yüklemelerden oluşan 3.1.3.6’da verilen kombinasyonlar programa tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra yapı kütle tanımı SAP2000 programında “mass source” kısmından girilmiştir. Kütle tanımı yapılırken DBYBHY

Denklem 2.6 dikkate alınmıştır. SAP2000 Programı için yapıya ait yük tanımları Şekil 3.12, kütle tanımı ise Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.12. DBYBHY'ye göre yük tanımlaması



Şekil 3.13. DBYBHY'ye göre kütle tanımlaması

3.1.3.8 Bina taşıyıcı sisteminin yapısal analizi

Hangar yapı modeline ait kesin boyutlandırma sonucunda enkesit profilleri belirlenen bina taşıyıcı sisteminin, hesaplanan düşey ve yatay yükler altında analizi yapılmış ve analiz sonuçlarına bu kısımda yer verilmiştir. Taşıyıcı sistem elemanlarının gerekli dayanımları, ayrıntıları TS648'e en yakın yönetmelik olan AISC-ASD89 yönetmeliği esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Item	Value
1 Design Code	AISC-ASD89
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	Moment Frame
4 Lateral Factor for Wind	1,15
5 Lateral Factor for Seismic	1,33
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	1,
14 Cm Calculation Option	Program Determined
15 Cm Calculation Tolerance	
16 Cb Calculation Option	Program Determined
17 Cb Calculation Tolerance	

Şekil 3.14. TS 648'e göre analizde kullanılan parametreler

3.1.3.9 Göreli kat ötelemesi kontrolü

Görelî kat ötelemesi kontrolü DBYBHY ilkelerince Denklem 3.1'e göre hesaplanarak Çizelge 3.1'de uygunluğu verilmiştir.

$$\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (3.1)$$

Çizelge 3.1. Göreli kat ötelemesi

Katlar			Görelî Kat Ötelemesi Hesabı					Kontrol
R	Kat	h _i (mm)	d _i (mm)	d _(i-1) (mm)	Δ _i =d _i -d _(i-1) (mm)	(δ _i) _{max} = R*Δ _i	(δ _i) _{max} /h	(δ _i) _{max} /h<=0.02
±X YÖNÜ								
4	1	7000	10.917	0.000	10.917	43.668	0.00624	Koşul Sağlandı.
±Y YÖNÜ								
4	1	7000	5.391	0.000	5.391	21.564	0.00308	Koşul Sağlandı.

3.1.3.10 İkinci mertebe etkileri

İkinci mertebe etkileri kontrolü DBYBHY ilkelerince Denklem 3.2'ye göre hesaplanmıştır. Çizelge 3.2'de ortalama azaltılmış göreli kat ötelemesi hesaplanarak ikinci mertebe etkileri kontrolü Çizelge 3.3'de verilmiştir.

$$\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N W_j}{V_i h_i} \leq 0.12 \quad (3.2)$$

Çizelge 3.2. Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Yön	Maksimum deplasman değerleri			Minumum deplasman değerleri			Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
	$d_i(\text{mm})$	$d_{(i-1)} (\text{mm})$	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)} (\text{mm})$	$d_i(\text{mm})$	$d_{(i-1)} (\text{mm})$	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)} (\text{mm})$	$\Delta_{i(ort)} (\text{mm})$
↔X	10.9170	0.0000	10.9170	5.9040	0.0000	5.9040	8.4105
↔Y	5.3910	0.0000	5.3910	1.6890	0.0000	1.6890	3.5400

Çizelge 3.3. İkinci mertebe etkileri

Yön	$h_i(\text{mm})$	$\Delta_{i(ort)} (\text{mm})$	$\sum W_j(\text{tf})$	$V_i(\text{tf})$	$V_i*H_i(\text{tf.mm})$	θ_i	Kontrol $\theta_i \leq 0.12$
↔X Yönü	7000	8.4105	158.67	19.84	138844.75	0.0096	Koşul Sağlandı.
↔Y Yönü	7000	3.5400	158.67	19.84	138844.75	0.0004	Koşul Sağlandı.

3.1.3.11 Kesit kapasite oranları

TS648'e en yakın yönetmelik olan AISC-ASD89 seçilerek analiz ve tasarımı yapılan hangar yapının kesitlerine ait kapasite oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. TS648 kesit kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
1 ve 7 Aksı Kolon(HEA360)	0.279	G+Q-EY-0.3EX
Çatı Aşığı (UPN140)	0.649	G+Q
2-3-4-5 ve 6 Aksı Kolon (IPE330)	0.537	G+Q-EY+0.3EX
Cephe Çaprazı (RHS100*5)	0.616	G+Q-EY-0.3EX
Çatı Çaprazı (RHS100*5)	0.747	G+Q
Üst başlık (2L80/8*10)	0.972	G+Q
Alt başlık (2L80/8*10)	0.518	G+Q
Dikme ve Diyagonal (2L50*5/10)	0.606	G+Q
Lento (RHS100*5)	0.208	G+Q-EY+0.3EX
Asma Kat Kolon (RHS100*8)	0.518	G+Q+EX-0.3EY
Asma Kat Kiriş (IPE200)	0.849	G+Q
Asma Kat Aşık (RHS100/150*4)	0.771	G+Q

3.1.4 ÇYTHYE ve DBYBHY'ye göre hesap ve tasarım

3.1.4.1 Yükleme ve kombinasyonlar

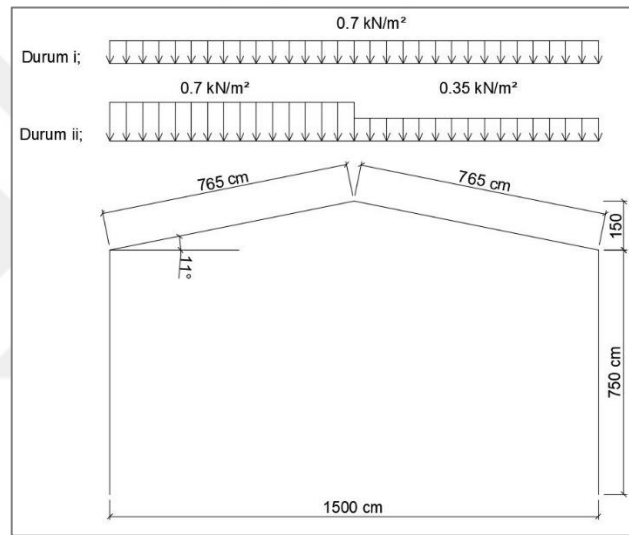
ÇYTHYE'ye göre gerekli yüklemeler Bölüm 3.1.4.2, Bölüm 3.1.4.3 ve Bölüm 3.1.4.4'te kombinasyonlar ise Bölüm 3.1.4.6'da verilmiştir.

3.1.4.2 Kaplama yükü ağırlığı

Çatı kaplaması malzemesi için sandviç panel seçilmiş ve bu panelin ağırlığı 0.15 kN/m^2 olarak dikkate alınmıştır.

3.1.4.3 Kar yükü hesabı

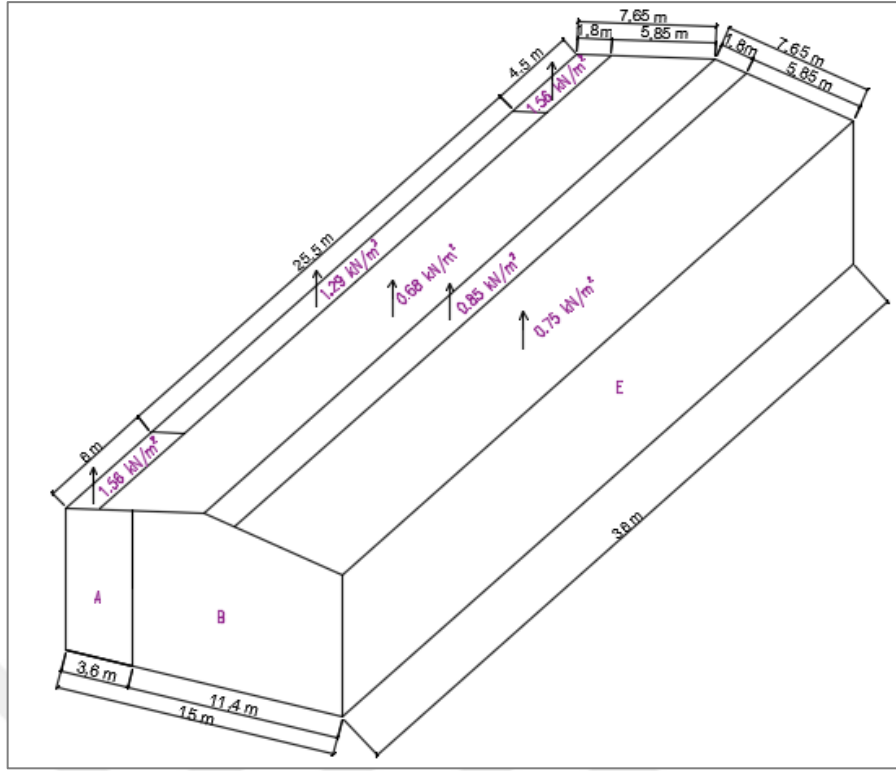
ÇYTHYE'ye göre yapıya ait kar yükü hesap değeri TS-EN 1991-1-3 standardı dikkate alınarak hesaplanmıştır. Buna göre hesaplanan kar yükü değerleri (durum i) ve (durum ii) için Şekil 3.15'te verilmiştir.



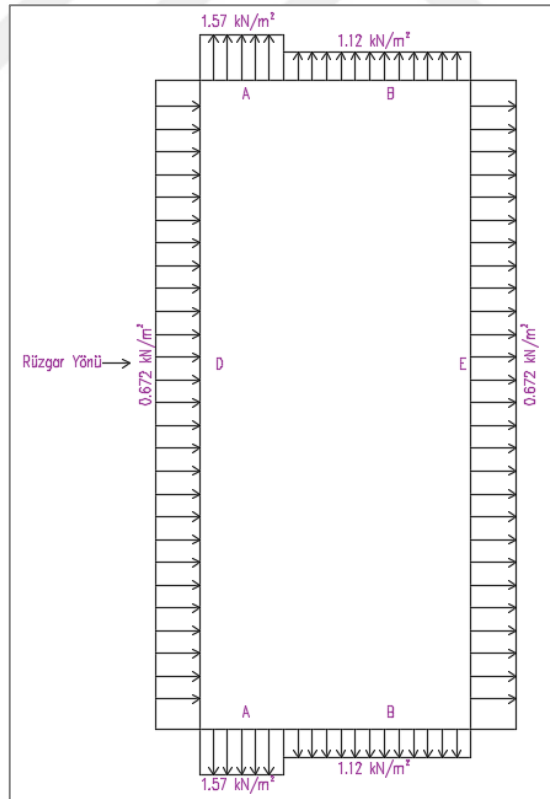
Şekil 3.15. Kar yükü hesap değerleri

3.1.4.4 Rüzgâr yükü hesabı

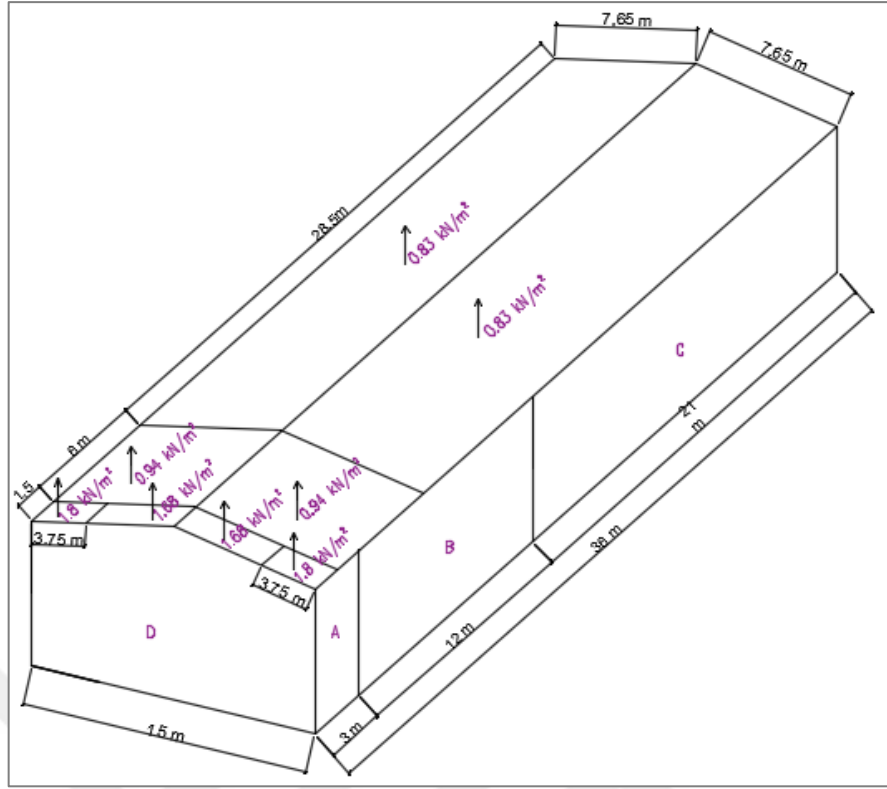
ÇYTHYE'ye göre yapıya ait rüzgâr yükleri için TS-EN 1991-1-4 standardı dikkate alınmıştır. Buna göre $\theta=0^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için çatıya ve cepheye etkiyen rüzgâr yükü değerleri sırasıyla Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir.



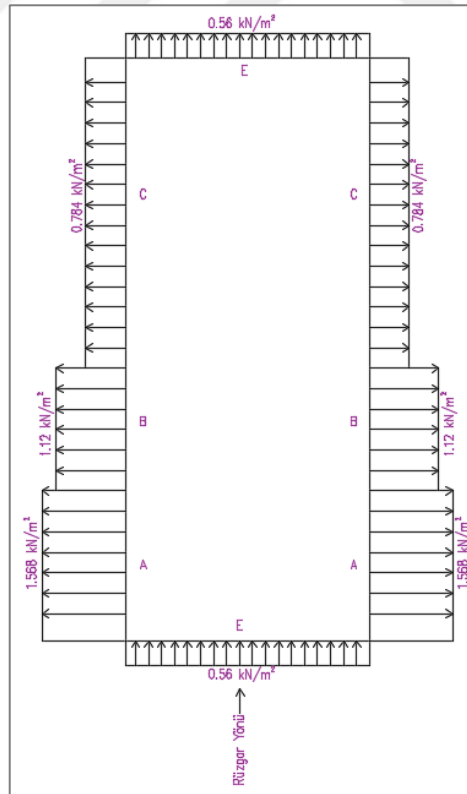
Şekil 3.16. $\theta = 0^\circ$ için çatıya etkitilecek rüzgâr yükleri



Şekil 3.17. $\theta = 0^\circ$ için cepheye etkitilecek rüzgâr yükleri



Şekil 3.18. $\theta = 90^\circ$ için çatıya etkitilecek rüzgâr yükleri



Şekil 3.19. $\theta = 90^\circ$ için cepheye etkitilecek rüzgâr yükleri

3.1.4.5 Yükleme tipleri

Bina taşıyıcı sisteminin sabit ve hareketli yükler ile deprem ve rüzgâr kuvvetleri altında analizleri sonucunda elde edilen iç kuvvetler, ÇYTHYE 5.1'e uygun olarak aşağıdaki şekilde birleştirilmiştir. Yatay doğrultuda etkiyen ve stabilite analizinde başlangıç kusurlarının etkisini hesaba katmak amacıyla tanımlanan fiktif yükler, ÇYTHYE 6.2 uyarınca, sadece düşey yükleri içeren yük kombinasyonları dikkate alınmıştır.

G :Sabit Yük

Q :Hareketli Yük

S :Kar Yüğü

W :Rüzgâr Yüğü

E :Deprem Etkisi

NG :Sabit Yüğü Fiktif Etkisi

NQ :Hareketli Yüğü Fiktif Etkisi

NS :Kar Yüğü Fiktif Etkisi

3.1.4.6 Yüğü ve dayanım katsayılarına göre yükleme kombinasyonları

a) Düşey yüğü kombinasyonları

$$1.4(G+NG)$$

$$1.2(G+NG)+1.6(Q+NQ)$$

$$1.2(G+NG)+1.6(S+NS)$$

$$1.2G(G+NG)+1.6(Q+NQ)+0.5(S+NS)$$

$$1.2(G+NG)+1.6(S+NS)+1.0(Q+NQ)$$

b) Düşey yüğü ve deprem yüğü kombinasyonları

$$1.2G+1.0Q+0.2S\pm 1.0EX\pm 0.3EY$$

$$1.2G+1.0Q+0.2S\pm 1.0EY\pm 0.3EX$$

$$0.9G\pm 1.0EX\pm 0.3EY$$

$$0.9G\pm 1.0EY\pm 0.3EX$$

c) Düşey yük ve rüzgâr yükü kombinasyonları

$$1.2G+1.0Q+0.5S+1.6W$$

$$0.9G+1.6W$$

3.1.4.7 Güvenlik katsayılarına göre yükleme kombinasyonları

a) Düşey yük kombinasyonları

$$1.0G+1.0NG$$

$$1.0G+1.0NG+1.0Q+1.0NQ$$

$$1.0G+1.0NG+1.0S+1.0NS$$

$$1.0G+1.0NG+0.75(Q+NQ)+0.75(S+NS)$$

b) Düşey yük ve deprem yükü kombinasyonları

$$1.0G\pm 0.7(1.0EX\pm 0.3EY)$$

$$1.0G+0.75Q+0.75S\pm 0.75(0.7(\pm 1.0EY\pm 0.3EX))$$

$$0.6G\pm 0.7(\pm 1.0EX\pm 0.3EY)$$

c) Düşey yük ve rüzgâr yükü kombinasyonları

$$1.0G+1.0W$$

$$1.0G+0.75Q+0.75S+0.75W$$

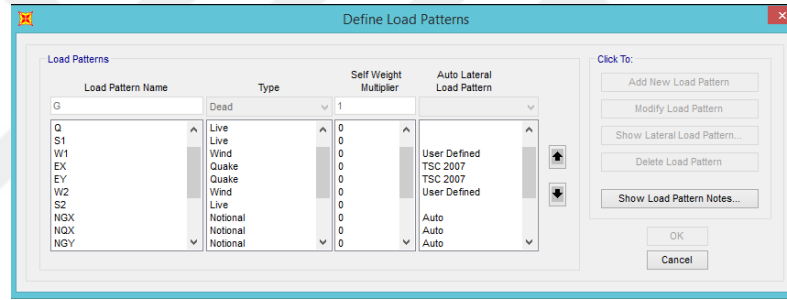
$$0.6G+1.6W$$

3.1.4.8 Bina taşıyıcı sisteminin hesap adımları

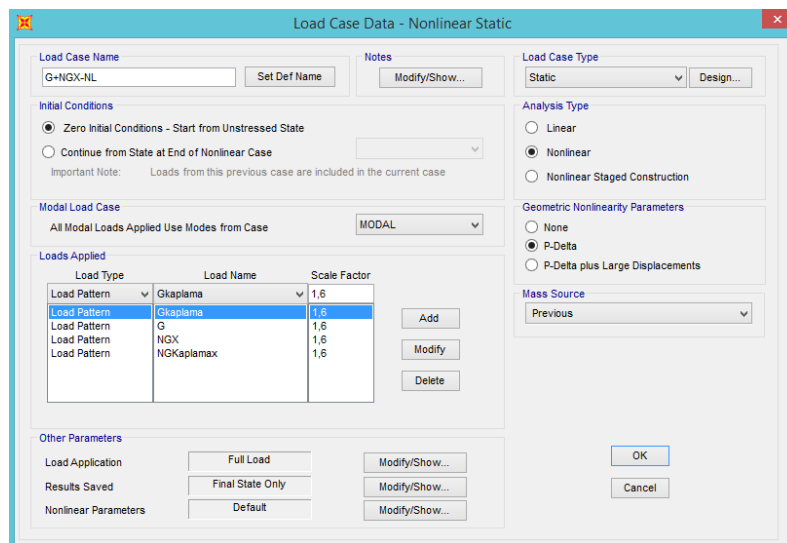
Hangar yapı modelinin SAP2000 programı kullanılarak yapılan analizinde elemanların gerekli dayanımları azaltılmış eleman rijitlikleri ve ikinci mertebe etkileri göz önünde tutularak ÇYTHYE Bölüm 6.5'e göre genel analiz yöntemi esas alınarak belirlenmiştir.

Hangar yapı örneği programda üç boyutlu olarak modellenmiş ve Bölüm 3.1.1'deki kesitler atanmıştır. Daha sonra yapıya ait yükleme tipleri oluşturularak kar, rüzgâr ve

hareketli yükler sisteme etkililmiştir. Yapı bu aşamadan sonra GKT ve YDKT Yöntemine göre dizayn edilmek üzere iki farklı şekilde kaydedilerek her iki yöneme ait kombinasyonlar ayrı ayrı tanımlanmıştır. Burada ÇYTHYE Bölüm 6.2'ye göre ikinci mertebe etkilerinin dikkate alınması için tüm kombinasyonlar SAP2000 Programında “Convert to Nonlinear Cases” seçeneği ile her bir kombinasyon kendi içerisinde nonlinear analize çevrilerek P-delta etkileri dikkate alınmıştır. ÇYTHYE Bölüm 6.2.1 uyarınca YDKT yönteminde, ikinci mertebe hesabı YDKT yük kombinasyonları için yapılmış olup, GKT yük kombinasyonları için ise kombinasyonlar 1.6 katsayısı ile çarpılmış, elde edilen sonuçlar ise 1.6 katsayısına bölünerek gerekli dayanım bulunmuştur. Yapıya ait yükleme tipleri Şekil 3.20’de verilmiştir. Burada sadece ölü yük katsayısı 1, diğerleri 0 olarak programa tanımlanmıştır. SAP2000’de P-delta etkilerinin analizde hesaba katılması için yapılan tanımlama penceresi GKT yöntemi için Şekil 3.21, YDKT yöntemi için ise Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Yapıya ait yükleme tipleri



Şekil 3.21. GKT yöntemi P-delta etkileri

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: 1.4(G+NGX)-NL

Initial Conditions: ☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Gkaplama	1,4
Load Pattern	G	1,4
Load Pattern	NGX	1,4
Load Pattern	NGKplamax	1,4

Analysis Type: ☒ Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters: ☒ P-Delta

Mass Source: Previous

Other Parameters:

Load Application: Full Load

Results Saved: Final State Only

Nonlinear Parameters: Default

Şekil 3.22. YDKT yöntemi P-delta etkileri

Yükleme ve kombinasyonlar tanımlandıktan sonra yapıya ait kütle tanımlaması DBYBHY 2.7.1'e göre SAP2000 Programında Define/Mass Source menüsünden Şekil 3.23'te olduğu gibi tanımlanmıştır.

Mass Source Data

Mass Source Name: MSSSRC1

Mass Source: ☒ Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns:

Load Pattern	Multiplier
G	1
Gkaplama	1
Q	0,8
S1	0,3

Şekil 3.23. Yapı kütle tanımlaması

Yapıya ait yüklem ve kombinasyonlar tamamlandıktan sonra programda analiz ayarları sekmesi ÇYTHYE Bölüm 6.3'te verilen genel analiz yöntemine göre düzenlenmiştir.

SAP2000 programında seçilen dizayn seçenekleri Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’te verilmiştir. Burada Design Code kısmında ÇYTHYE’ye en yakın yönetmelik olan AISC 360-16 seçilmiştir. Design Provision kısmında ÇYTHYE Yük ve Dayanım Katsayılarına göre tasarım (YDKT) için LRFD, Güvenlik katsayılarına göre tasarım(GKT) için ise ASD seçeneği seçilmiştir. ÇYTHYE 6.2.3’e göre azaltılmış eleman rijitliklerin dikkate alınması için SAP2000 programında Stiffness Reduction Method sekmesinden Tau-b Variable seçeneği aktif hale getirilmiştir. Aynı zamanda yapıya ait deprem yükleri programa tanımlandığı için analiz ayarlarındaki Ignore Seismic Code kısmı “yes” olarak değiştirilerek devre dışı bırakılmıştır. Programın analiz kısmındaki diğer ayarlar olduğu gibi korunmuştur. YDKT yöntemine göre dizayn ayarları Şekil 3.24’te, GKT yöntemine göre dizayn ayarları ise Şekil 3.25’te verilmiştir.

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	OMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1,
6 Design System Rho	1,
7 Design System Sds	0,5
8 Design System R	4,
9 Design System Omega0	3,
10 Design System Cd	5,5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Variable
15 Phi(Bending)	0,9
16 Phi(Compression)	0,9
17 Phi(Tension-Yielding)	0,9
18 Phi(Tension-Fracture)	0,75
19 Phi(Shear)	0,9
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1,
21 Phi(Torsion)	0,9
22 Ignore Seismic Code?	Yes
23 Ignore Special Seismic Load?	Yes

Şekil 3.24. YDKT Yöntemi için dizayn ayarları

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	OMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1,
6 Design System Rho	1,
7 Design System Sds	0,5
8 Design System R	4,
9 Design System Omega0	3,
10 Design System Cd	5,5
11 Design Provision	ASD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Variable
15 Omega(Bending)	1,67
16 Omega(Compression)	1,67
17 Omega(Tension-Yielding)	1,67
18 Omega(Tension-Fracture)	2,
19 Omega(Shear)	1,67
20 Omega(Shear-Short Webed Rolled I)	1,5
21 Omega(Torsion)	1,67
22 Ignore Seismic Code?	Yes
23 Ignore Special Seismic Load?	Yes

Şekil 3.25. GKT yöntemi için dizayn ayarları

Buna göre, yapıya ait gerekli dayanımlar, azaltılmış eleman rijitlikleri ve ikinci mertebe etkileri gözönünde tutularak yapılan analizler ile elde edilmiştir. Göreli kat ötelemeleri ve sehim kontrollerinde ise azaltılmamış eleman rijitlikleri kullanılmıştır.(TBDY Eğitim El Kitabı, 2018).

3.1.4.9 Etkin göreli kat ötelemesinin kontrolü

Görelî kat ötelemesi değerleri DBYBHY ilkelerince Denklem 2.19'a göre hesaplanarak Çizelge 3.5'te uygunluğu verilmiştir.

Çizelge 3.5. Görelî kat ötelemesi

Katlar			Görelî Kat Ötelemesi Hesabı					Kontrol
R	Kat	h _i (mm)	d _i (mm)	d _(i-1) (mm)	$\Delta_i = d_i - d_{(i-1)}$ (mm)	$(\delta_i)_{\max} = R \cdot \Delta_i$	$(\delta_i)_{\max} / h$	$(\delta_i)_{\max} / h \leq 0.02$
↔X YÖNÜ								
4	1	7000	10.274	0.000	10.274	41.096	0.00587	Koşul Sağlandı.
↔Y YÖNÜ								
4	1	7000	5.068	0.000	5.068	20.272	0.00290	Koşul Sağlandı.

3.1.4.10 İkinci Mertebe Etkileri

İkinci mertebe etkileri DBYBHY ilkelerince Denklem 2.20'ye göre hesaplanmıştır. Çizelge 3.6'da ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi hesaplanarak Çizelge 3.7'de ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiştir.

Çizelge 3.6. Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Yön	Maksimum deplasman değerleri			Minimum deplasman değerleri			Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi
	$d_i(\text{mm})$	$d_{(i-1)}(\text{mm})$	$\Delta_i = d_i - d_{(i-1)}(\text{mm})$	$d_i(\text{mm})$	$d_{(i-1)}(\text{mm})$	$\Delta_i = d_i - d_{(i-1)}(\text{mm})$	$\Delta_{i(\text{ort})}(\text{mm})$
↔X	10.2740	0.0000	10.2740	5.5760	0.0000	5.5760	7.9250
↔Y	5.0680	0.0000	5.0680	1.5840	0.0000	1.5840	3.3260

Çizelge 3.7. İkinci mertebe etkileri

Yön	$h_i(\text{mm})$	$\Delta_{i(\text{ort})}(\text{mm})$	$\sum W_j(\text{tf})$	$V_i(\text{tf})$	$V_i \cdot H_i(\text{tf} \cdot \text{mm})$	θ_i	Kontrol $\theta_i \leq 0.12$
↔X Yönü	7000	7.9250	150.12	18.77	131352.40	0.0091	Koşul Sağlandı.
↔Y Yönü	7000	3.3260	150.12	18.77	131352.4	0.0038	Koşul Sağlandı.

3.1.4.11 Kesit kapasite oranları

Bu kısımda yapı belirlenen genel analiz yöntemi kullanılarak güvenlik katsayısı yöntemi(GKT) ve Yük ve Dayanım Katsayılarına(YDKT) göre ayrı ayrı dizayn edilerek yapı kesitlerine ait kapasite oranları karşılaştırılmıştır. YDKT yöntemine göre elde edilen kapasite oranlarına Çizelge 3.8'de, GKT yöntemine göre elde edilen kapasite oranlarına Çizelge 3.9'da yer verilmiştir.

Çizelge 3.8. YDKT kesit kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
1 ve 7 Aksı Kolon (HEA360)	0.905	0.9G+1.6W1
Çatı Aşığı (UPN140)	0.611	0.9G+1.6W1
2-3-4-5 ve 6 Aksı Kolon (IPE330)	0.506	0.9G+1.6W1
Cephe Çaprazı (RHS100*5)	0.419	1.2G+Q+0.2S1-0.3EX-1EY
Çatı Çaprazı (RHS100*5)	0.541	1.2(G+NGX)+(1.6(S1+NS1X)+(Q+NQX)
Üst başlık (2L80/8*10)	0.637	1.2(G+NGX)+1.6(S1+NS1X)
Alt başlık (2L80/8*10)	0.378	0.9G+1.6W1
Dikme ve Diyagonal (2L50*5/10)	0.495	1.2(G+NGX)+1.6(S1+NS1X)
Lento (RHS100*5)	0.455	1.2G+Q+0.5S2+1.6W1
Asma Kat Kolon (RHS100*8)	0.471	1.2(G+NGX)+1.6(Q+NQX)+0.5(S2+NS2X)
Asma Kat Kiriş (IPE200)	0.786	1.2(G+NGY)+1.6(Q+NQY)+0.5(S1+NS1Y)
Asma Kat Aşık (RHS100/150*4)	0.690	1.2(G+NGX)+1.6(Q+NQX)+0.5(S2+NS2X)

Çizelge 3.9. GKT kesit kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
1 ve 7 Aksı Kolon (HEA360)	0.850	0.6G+W1
Çatı Aşığı (UPN140)	0.731	G+0.75Q+0.75S1+0.75W2
2-3-4-5 ve 6 Aksı Kolon (IPE330)	0.487	G+0.75Q+0.75S1+0.16EX-0.525EY
Cephe Çaprazı (RHS100*5)	0.482	G+0.75Q+0.75S1-0.16EX-0.525EY
Çatı Çaprazı (RHS100*5)	0.643	G+0.75Q+0.75S1+0.16EX+0.525EY
Üst başlık (2L80/8*10)	0.656	G+NGX+S1+NS1X
Alt başlık (2L80/8*10)	0.339	G+NGX+S1+NS1X
Dikme ve Diyagonal (2L50*5/10)	0.512	G+NGX+0.75Q+0.75QX+S1+NS1X
Lento (RHS100*5)	0.431	G+W1
Asma Kat Kolon (RHS100*8)	0.502	G+0.75Q+0.75S2+0.75W1
Asma Kat Kiriş (IPE200)	0.769	G+0.75Q+0.75S1-0.525EX+0.16EY
Asma Kat Aşık (RHS100/150*4)	0.672	G+NGY+Q+NQY

3.1.5 ÇYTHYE ve TBDY'ye göre hesap ve tasarım

Bir önceki bölümde DBYBHY'ye göre hesap ve tasarımı yapılan hangar yapının bu bölümde TBDY hükümleri esas alınarak, aynı yükleme ve kesitler kullanılarak analizi yapılmıştır. TBDY'ne ilişkin parametreler ayrıntılı olarak aşağıda yer verilmiştir.

3.1.5.1 Bina kullanım sınıfı

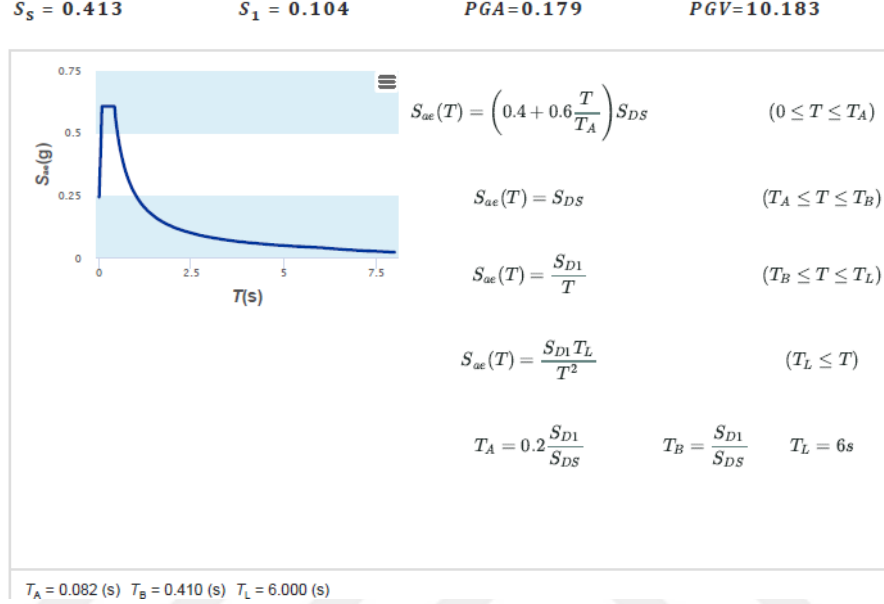
Bina kullanım sınıfı TBDY Tablo 3.1.'e göre 3 olarak alınmıştır.

3.1.5.2 Deprem tasarım sınıfı

Deprem tasarım sınıfı TBDY Bölüm 2.2'ye göre DBYBHY 2007 parametreleriyle aynı olması için DD-2 (deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi) olarak belirlenmiştir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritaları (<http://tdth.afad.gov.tr/>) kapsamında, Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)'nin belirlenebilmesi amacıyla, DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde ZD Yerel Zemin Sınıfı gözönüne alınarak 38.754308 enlemi ve 35.371154 boylamına ait elde edilen parametreler Şekil 3.26'da yer verilmiştir.

Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlama periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	38.754308°	
Boylam	35.371154°	

Çıktılar



Şekil 3.26. Yatay elastik tasarım spektrumu parametreleri

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı,	$S_s:0.413$
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı,	$S_1:0.104$
En büyük yer ivmesi(g),	$PGA:0.179$
En büyük yer hızı(cm/sn),	$PGV:10.183$
Yerel Etki zemin sınıfları,	$F_s:1.470$ ve $F_1:2.392$

Bu durumda TBDY 2.3.2.2'ye göre tasarım spektral ivme katsayıları TBDY Denklem 2.1 ile aşağıda verildiği gibi elde edilmiştir.

$$S_{DS} = S_s * F_s = 0.413 * 1.470 = 0.607$$

$$S_{D1} = S_1 * F_1 = 0.104 * 2.392 = 0.249$$

Bu durumda binanın deprem tasarım sınıfı (DTS), bina kullanım sınıfı, BKS=3 olmak üzere ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot spektral ivme

katsayısı, S_{DS} 'nin TBDY Tablo 3.32'e göre $0.50 \leq S_{DS} < 0.75$ koşulunu sağlaması nedeniyle $DTS=2$ olarak belirlenmiştir.

3.1.5.3 Bina yükseklik sınıfı

Binanın en alt kotundan itibaren ölçülen toplam yükseklik değeri 9 m olduğu için TBDY Tablo 3.3'e göre $DTS=2$ ve $7 < H_N \leq 10.5$ değerlerine karşılık gelen bina yükseklik sınıfı, $BYS=7$ olarak alınmıştır.

3.1.5.4 Bina performans hedefi

TBDY Tablo 3.4a'ya göre deprem tasarım sınıfı $DTS = 2$ ve deprem yer hareket düzeyi, DD-2 için yeni yapılacak çelik yapı modeli için performans hedefi kontrollü hasar (KH) ve değerlendirme/tasarım yaklaşımı, dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımı olarak belirlenmiştir.

3.1.5.5 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

TBDY Tablo 4.1' e göre, 3.1.5.3'de seçilen bina yükseklik sınıfına uygun olarak ($BYS=7$), deprem etkilerinin moment aktaran süneklilik düzeyi sınırlı çelik çerçeveler ile süneklilik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=4$ ve dayanım fazlalığı katsayısı, $D=2$ olarak seçilmiştir.

3.1.5.6 Yükleme ve kombinasyonlar

3.1.5.6.1 YDKT yöntemine göre düşey deprem etkisi

TBDY 4.4.3'e göre düşey deprem etkisinin de deprem hesabında dikkate alınması gerekmektedir. Hangar yapı modeli için düşey deprem etkisi TBDY 4.4.3.2'ye uygun olarak TBDY Denklem 4.10 ($E_d^{(z)} \approx (2/3)S_{ds}G$) ile hesaplanmıştır. Buna göre hesaba katılacak düşey deprem etkisi, sabit yük katsayısı içine dahil edilerek TBDY 4.4.4.2(a)

uyarınca ve TBDY Denklem 4.11 ile TBDY Denklem 4.12 göz önünde tutularak aşağıdaki şekilde dikkate alınmıştır.

- $G(1.2+0.3(2/3)S_{Ds})= G(1.2+0.3(2/3)0.607)=1.32G$
- $G(0.9-0.3(2/3)S_{Ds})=G(0.9-0.3(2/3)0.607)=0.78G$

Bu durumda deprem etkisini içeren yük kombinasyonları, TBDY Denklem 4.11 ve TBDY Denklem 4.12 ile TBDY 9.2.5.1 de verilen kombinasyonlar dikkate alınarak aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

- $1.32G+0.5Q+0.2S+E_d^H$
- $0.78G+H+E_d^H$

Bina taşıyıcı sisteminin sabit ve hareketli yükler ile deprem ve rüzgâr kuvvetleri altında analizleri sonucunda elde edilen iç kuvvetler ÇYTHYE 5.3.1, TBDY 4.4 ve TBDY 9.2.5'e uygun olarak, aşağıdaki şekilde birleştirilmiştir. Yatay doğrultuda etkiyen ve stabilite analizinde başlangıç kusurlarının etkisini hesaba katmak amacıyla tanımlanan fiktif yükler, ÇYTHYE 6.2 uyarınca sadece düşey yükleri içeren yük kombinasyonlarında dikkate alınmıştır.

a) Düşey yük kombinasyonları

$$1.4(G+NG)$$

$$1.2(G+NG)+1.6(Q+NQ)$$

$$1.2(G+NG)+1.6(S+NS)$$

$$1.2G(G+NG)+1.6(Q+NQ)+0.5(S+NS)$$

$$1.2(G+NG)+1.6(S+NS)+1.0(Q+NQ)$$

b) Düşey yük ve deprem yükü kombinasyonları

$$1.32G+1.0Q+0.2S\pm 1.0EX\pm 0.3EY$$

$$1.32G+1.0Q+0.2S\pm 1.0EY\pm 0.3EX$$

$$0.78G\pm 1.0EX\pm 0.3EY$$

$$0.78G \pm 1.0EY \pm 0.3EX$$

c) Düşey yük ve rüzgâr yükü kombinasyonları

$$1.2G + 1.0Q + 0.5S + 1.6W$$

$$0.9G + 1.6W$$

3.1.5.6.2 GKT yöntemine göre düşey deprem etkisi

GKT yöntemine göre deprem etkisini içeren yük kombinasyonları için TBDY 9.2.5.2 Denklem 9.1 dikkate alınmıştır. Buna göre düşey deprem etkisi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$G + 0.75(0.7 * 0.3 (2/3) S_{ds}) G = G + 0.75(0.7(2/3)0.607G) = 1.06G$$

$$G + (0.7 * 0.3(2/3) S_{ds}) G = G + (0.7(2/3)0.607G) = 1.08G$$

$$0.6G + 0.7 (-0.3 * 2/3) S_{ds} G = 0.6G + (0.7(-0.3 * 2/3)0.607G) = 0.51G$$

Bu durumda deprem etkilerini içeren yük kombinasyonları;

$$1.06G + 0.75Q + 0.75S + 0.75 * 0.7(\pm 0.3EX \pm 0.3EY)$$

$$1.08G + 0.7(\pm 0.3EX \pm 0.3EY)$$

$$0.51G + 0.75H + 0.7(\pm 0.3EX \pm 0.3EY)$$

Bina taşıyıcı sisteminin sabit ve hareketli yükler ile deprem ve rüzgâr kuvvetleri altında analizleri sonucunda elde edilen iç kuvvetler ÇYTHYE 5.3.1, TBDY 4.4 ve TBDY 9.2.5'e uygun olarak, aşağıdaki şekilde birleştirilmiştir. Yatay doğrultuda etkiyen ve stabilite analizinde başlangıç kusurlarının etkisini hesaba katmak amacıyla tanımlanan fiktif yükler, ÇYTHYE 6.2 uyarınca sadece düşey yükleri içeren yük kombinasyonlarında dikkate alınmıştır.

a) Düşey yük kombinasyonları

$$1.0(G + NG)$$

$$1.0(G + NG) + 1.0(Q + NQ)$$

$$1.0(G+NG)+1.0(S+NS)$$

$$1.0(G+NG)+0.75(Q+NQ)+0.75(S+NS)$$

b) Düşey yük ve deprem yükü kombinasyonları

$$1.06G+0.75Q+0.75S+0.75*0.7(\pm 0.3EX \pm 0.3EY)$$

$$1.08G+0.7(\pm 0.3EX \pm 0.3EY)$$

$$0.51G+0.75H+0.7(\pm 0.3EX \pm 0.3EY)$$

c) Düşey yük ve rüzgâr yükü kombinasyonları

$$1.0G+1.0W$$

$$1.0G+0.75Q+0.75S+0.75W$$

$$0.6G+1.6W$$

3.1.5.7 Bina taşıyıcı sisteminin yapısal analizi

Bölüm 3.1.1’de kesit ve detayları verilen hangar yapı modeli taşıyıcı sistem elemanlarının gerekli dayanımları, azaltılmış eleman rijitlikleri ve ikinci mertebe etkileri gözönünde tutularak gerçekleştirilen yapısal analizler ile elde edilmiştir. İkinci mertebe etkilerinin elemanların gerekli dayanımına etkisi, ayrıntıları ÇYTHYE 6.5’te verilen genel analiz yöntemine göre yapılmıştır. Göreli kat ötelemesi ve sehim kontrollerinde azaltılmamış eleman rijitlikleri kullanılmıştır.

3.1.5.7.1 Etkin göreli kat ötelemesinin kontrolü

Etkin göreli kat ötelemelerinin kontrolü TBDY 4.9.1’ e göre hesaplanmış ve uygunluğu Çizelge 3.10’da verilmiştir. Çizelge 3.10’da verilen K değeri çelik yapılar için TBDY’ye göre 0.5 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.10. Görelî kat ötelemesi

Kat	h(mm)	Δ_{ixmax}	R	I	$\delta_{ixmax} = \frac{(R/I) \times \Delta_{ix}}{max}$	δ_{ixmax}/h_i	λ	$\lambda * (\delta_i)_{max} / h$	0.016*K	$\lambda * (\delta_i)_{max} / h \leq 0.016 * K$
↔X YÖNÜ										
1	7000	12.30	4	1	49.19	0.0070	0.33	0.0023	0.008	Koşul sağlandı.
↔Y YÖNÜ										
1	7000	6.43	4	1	25.70	0.0029	0.33	0.0009	0.008	Koşul sağlandı.

3.1.5.7.2 İkinci mertebe etkileri

TBDY 4.9.2 uyarınca, gözönüne alınan tipik deprem doğrultusunda her bir i'nci katta, ikinci mertebe etkilerini temsil eden ikinci mertebe gösterge değeri, $\theta_{II,i}^{(X)}$ hesaplanarak Denklem 3.1'e göre kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda ikinci mertebe etkileri için verilen koşulun sağlandığı Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

$$\theta_{II,i}^{(X)} = \frac{(\Delta_i^{(X)})_{ort} \sum_{k=i}^N W_k}{V_i^{(X)} h_i} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.11. İkinci mertebe etkileri

Kat	H(mm)	$\Delta_{ixmax}(mm)$	$\Delta_{ixmin}(mm)$	$W_i(tf)$	$V_{ix}(tf)$	θ_{ix}	D	R	Ch	$0.12 * D / (Ch * R)$	KONTROL
↔X YÖNÜ											
1	7000	12.30	6.67	150.12	22.43	0.0091	2	4	1	0.06	Koşul sağlandı
↔Y YÖNÜ											
1	7000	6.43	2.01	150.12	23.75	0.0037	2	4	1	0.06	Koşul sağlandı

3.1.5.7.3 Kesit kapasite oranları

Yapı belirlenen genel analiz yöntemi için GKT ve YDKT'ye göre ayrı ayrı boyutlandırılarak elde edilen kapasite oranları Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.12. YDKT kesit kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
1 ve 7 Aksı Kolon (HEA360)	0.905	0.9G+1.6W1
Çatı Aşığı (UPN140)	0.611	0.9G+1.6W1
2-3-4-5 ve 6 Aksı Kolon (IPE330)	0.506	0.9G+1.6W1
Cephe Çaprazı (RHS100*5)	0.486	1.32G+Q+0.2S1-0.3EX-1EY
Çatı Çaprazı (RHS100*5)	0.541	1.2(G+NGX)+1.6(S1+NS1X)+(Q+NQX)
Üst başlık (2L80/8*10)	0.637	1.2(G+NGX)+1.6(S1+NS1X)
Alt başlık (2L80/8*10)	0.378	0.9G+1.6W1
Dikme ve Diyagonal (2L50*5/10)	0.495	1.2(G+NGX)+1.6(S1+NS1X)
Lento (RHS100*5)	0.455	1.2G+Q+0.5S2+1.6W1
Asma Kat Kolon (RHS100*8)	0.471	1.2(G+NGX)+1.6(Q+NQX)+0.5(S2+NS2X)
Asma Kat Kiriş (IPE200)	0.786	1.2(G+NGY)+1.6(Q+NQY)+0.5(S1+NS1Y)
Asma Kat Aşık (RHS100/150*4)	0.690	1.2(G+NGX)+1.6(Q+NQX)+0.5(S2+NS2X)

Çizelge 3.13. GKT kesit kapasite oranları

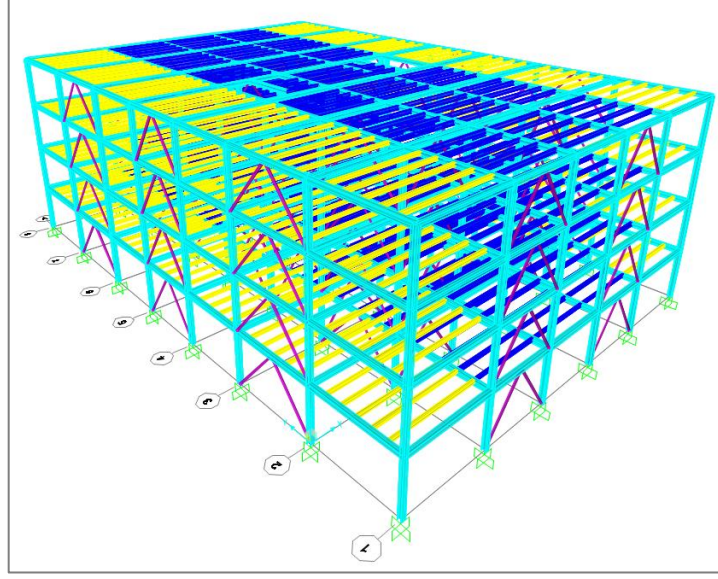
Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
1 ve 7 Aksı Kolon (HEA360)	0.850	0.6G+W1
Çatı Aşığı (UPN140)	0.731	G+0.75Q+0.75S1+0.75W2
2-3-4-5 ve 6 Aksı Kolon (IPE330)	0.522	1.06G+0.75Q+0.75S1+0.16EX-0.525EY
Cephe Çaprazı (RHS100*5)	0.535	1.06G+0.75Q+0.75S1-0.16EX-0.525EY
Çatı Çaprazı (RHS100*5)	0.695	1.06G+0.75Q+0.75S1+0.16EX+0.525EY
Üst başlık (2L80/8*10)	0.666	1.06G+0.75Q+0.75S1+0.16EX-0.525EY
Alt başlık (2L80/8*10)	0.339	G+NGY+S1+NS1Y
Dikme ve Diyagonal (2L50*5/10)	0.512	G+NGX+S1+NS1X
Lento (RHS100*5)	0.431	G+W1
Asma Kat Kolon (RHS100*8)	0.502	G+0.75Q+0.75S2+0.75W1
Asma Kat Kiriş (IPE200)	0.804	1.06G+0.75Q+0.75S1-0.525EX+0.16EY
Asma Kat Aşık (RHS100/150*4)	0.672	G+NGX+Q+NQX

3.2 Uygulama II

İkinci uygulama örneği dört katlı düşey çerçevesel çelik yapı modeli olup modele ait özellikler 3.2.1’de, modelin TS648’e göre tasarımı 3.2.2’de, ÇYTHYE’ye göre tasarımı ise 3.2.3’te verilmiştir. Uygulama modeli için yapıya ait kullanılan profil türleri sabit tutularak TS648 ve ÇYTHYE’ye göre kat ağırlıkları, periyot değerleri, kat kesme kuvvetleri, görelî kat ötelemesi, ikinci mertebe etkileri, A1 burulma düzensizliği, B2 yumuşak kat düzensizliği ve kapasite oranları karşılaştırılmıştır.

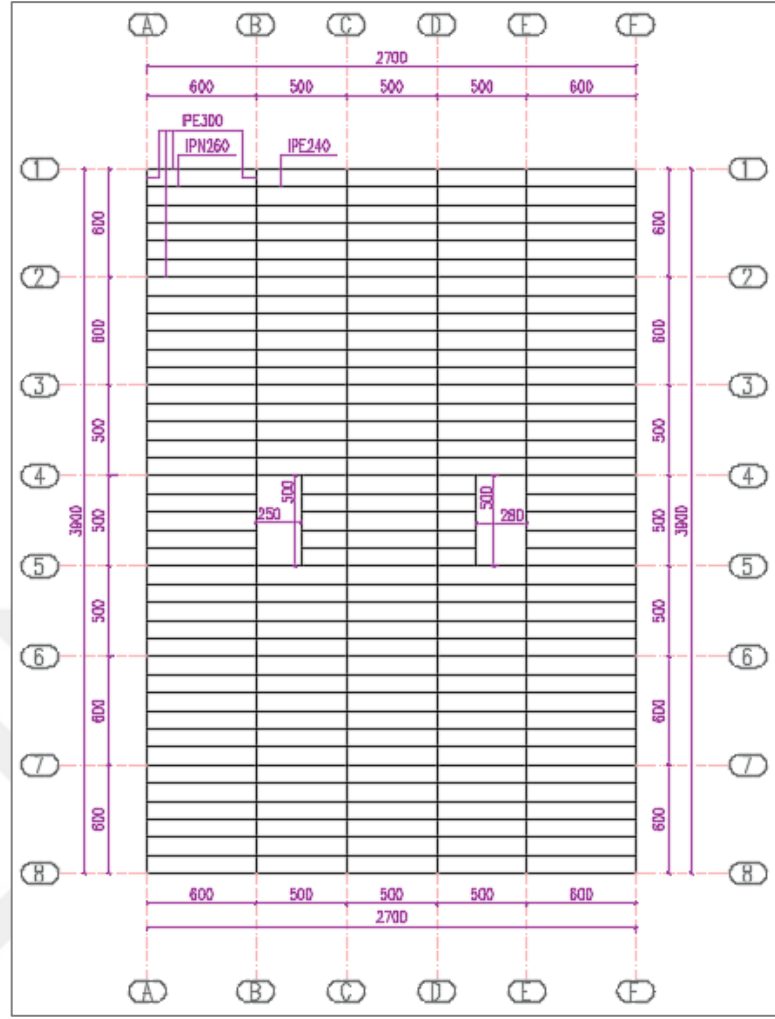
3.2.1 Uygulama II’ye ait özellikler

İkinci uygulama örneği olan dört katlı düşey çerçevesel yapı modeli X yönünde toplam 27 m uzunluğunda beş açıklıktan ve Y yönünde toplam 39 m uzunluğunda yedi açıklıktan oluşmaktadır. SAP2000 programında modellenen yapıya ait üç boyutlu görünüş Şekil 3.27’de verilmiştir.

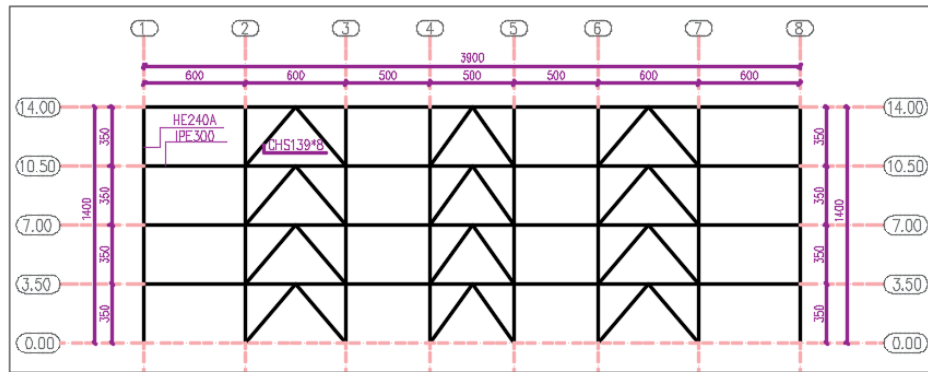


Şekil 3.27. Model II'ye ait üç boyutlu görünüş

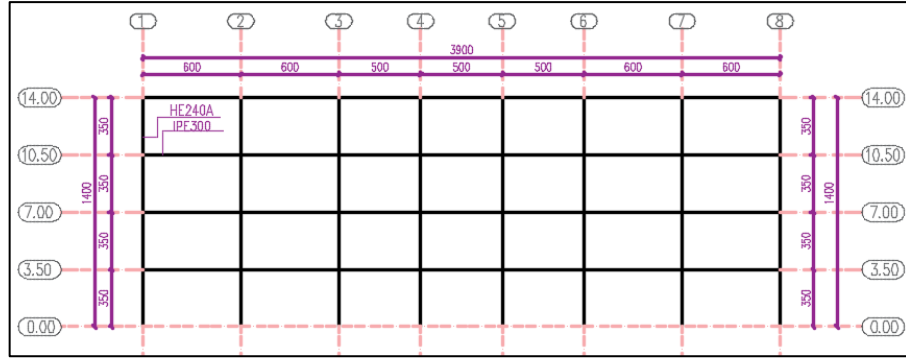
Model II her bir kat yüksekliği 3.5 m olmak üzere toplamda 4 kattan oluşmaktadır. X yönünde toplam da 27 m olmak üzere 6 m ve 5 m aks aralıklarına sahip beş açıklıktan oluşmaktadır. Y yönünde ise toplam da 39 m olmak üzere yine 6 m ve 5 m aks aralıklarına sahip yedi açıklıktan oluşmaktadır. Kolon elemanları için HEA240, sistem ana kiriş elemanları için IPE300, 6 m aks aralıklı olan kısımda tali kirişler için IPN260, 5 m aks aralıklı olan kısım için ise IPE240 profil çeşitleri kullanılmıştır. Yapı stabilitesini sağlamak için CHS139*8 profilden oluşan çapraz elemanlar kullanılmıştır. Model II'ye ait plan görünüşü Şekil 3.28'de ve akslara ait kesit detayları Şekil 3.29, Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de verilmiştir.



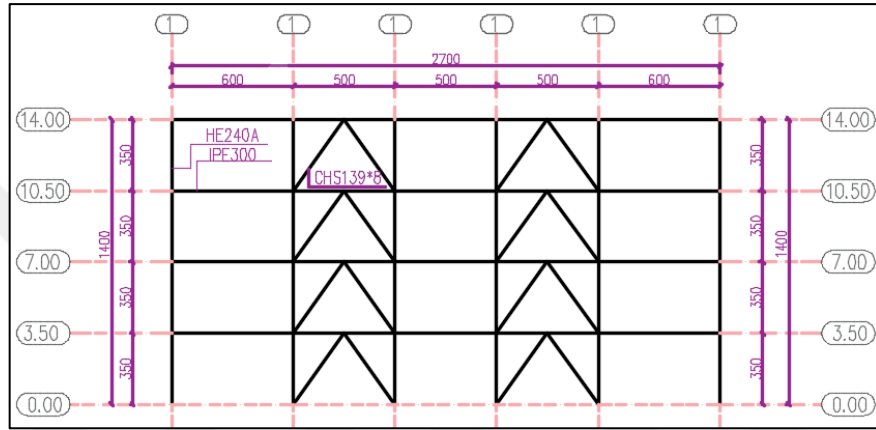
Şekil 3.28. Model II'ye ait plan görünüşü



Şekil 3.29. A-B-E-F aksı sistem kesiti



Şekil 3.30. C ve D aksı sistem kesiti



Şekil 3.31. 1-2-3-4-5-6-7-8 aksı sistem kesiti

3.2.2 DBYBHY Koşulları

İkinci uygulama örneği olan dört katlı düşey çelik çerçeve sistemine ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Bina türü :	Düşey Çerçeve Sistem
Dikkate alınan deprem yönetmeliği:	DBYBHY 2007
Taşıyıcı sistem türü :	Çelik Sistem
Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R_x, R_y) :	5
Deprem bölgesi :	3.Bölge
Yerel zemin sınıfı :	Z3
Bina önem katsayısı (I) :	1
Yatay yük dışmerkezliği :	% 5
Zemin emniyet gerilmesi :	250 kN/m ²
Zemin yatak katsayısı :	15000 kN/ m ³

Zemin grubu:	B
Yapı bölgesi:	Kayseri/OSB
Yükseklik(max):	$h = 14 \text{ m}$
Tali kiriş aralığı:	1.00 m

3.2.3 TS648 ve DBYBHY'ye göre hesap tasarım

3.2.3.1 Kaplama yükü ağırlığı

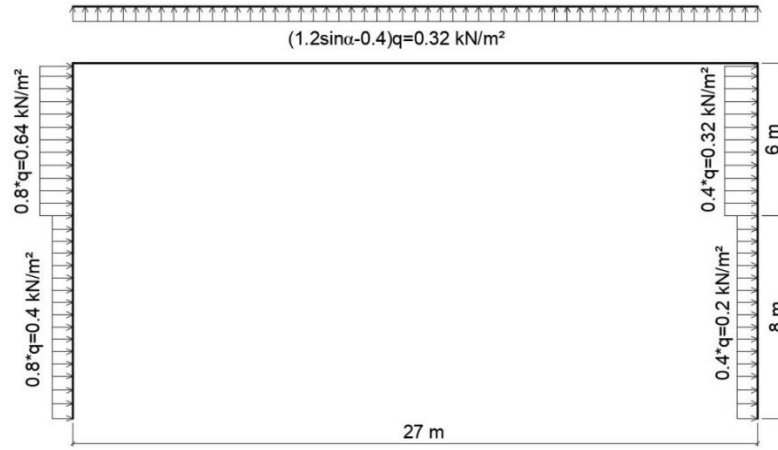
Normal Kat Döşemesi:	Kaplama	0.5 kN/m^2
	Trapez sac + betonarme döşeme	2.1 kN/m^2
	Asma tavan + tesisat	0.5 kN/m^2
	Bölme duvarları	1.0 kN/m^2
	Toplam sabit yük	4.1 kN/m^2
	Hareketli yük	2.0 kN/m^2
Çatı Döşemesi:	Kaplama	0.5 kN/m^2
	Trapez sac + betonarme döşeme	2.1 kN/m^2
	Asma tavan + tesisat	0.5 kN/m^2
	İzalsasyon	0.5 kN/m^2
	Toplam sabit yük	3.6 kN/m^2
	Hareketli yük:	2.0 kN/m^2

3.2.3.2 Kar yükü hesabı

TS648'e göre kar yükü hesap değeri TS498 Madde 8 dikkate alınarak 0.88 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır.

3.2.3.3 Rüzgâr yükü hesabı

Yapıya etkitilen rüzgâr yükü hesap değeri için TS498 Madde 9 dikkate alınmıştır. Buna göre hesaplanan rüzgâr yükü değerleri Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.32. Yapıya etkitilen cephe rüzgâr yükleri

3.2.3.4 Boyutlandırma kombinasyonları

Uygulama I için kullanılan kombinasyonlar Uygulama II için de kullanılmıştır.

3.2.3.5 Hesap adımları

Düşey çerçeve sistem modelinin TS648'e göre hesabının SAP2000 programında yapılmasında hangar yapı modeli için Bölüm 3.1.3.7'de verilen adımlar bu örnek içinde tekrarlanmıştır.

3.2.3.6 Bina taşıyıcı sisteminin yapısal analizi

3.2.3.6.1 Düzensizlik kontrolleri

Bina kat planlarında çıkıntıların olmaması, döşeme süreksizliklerinin ve döşemelerde büyük boşlukların bulunmaması, yatay yük taşıyıcı sistemlerin planda düzenli olarak yerleşmesi nedeniyle planda düzensizlik durumları mevcut değildir. Benzer şekilde, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizliklerin ve ani rijitlik değişimlerinin olmaması ve kat kütlelerinin yapı yüksekliği boyunca değişiklik göstermemesi nedeniyle, düşeyde düzensizlik durumları da mevcut değildir. Yapıya ait A1 türü burulma düzensizliği ve B2 türü komşu katlar arası rijitlik(yumuşak kat) düzensizliğinin bulunmadığı Çizelge 3.14 ve 3.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. $\mp X$ yönü için burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri

Kat No	H_i (mm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (mm)	η_{bi}	η_{ki}
4	3500	1.2550	0.9620	1.1085	1.1322	1.1367
3	3500	1.3540	1.1660	1.2600	1.0746	1.1306
2	3500	1.7030	1.1460	1.4245	1.1955	0.7111
1	3500	1.1620	0.8640	1.0130	1.1471	0.0000
Kontrol	$(\eta_{bi})_{\max}=1.1955 \leq 1.2$ olduğu için (A1) burulma düzensizliği yoktur. $(\eta_{ki})_{\max}=1.1367 \leq 2$ olduğu için (B2) yumuşak kat düzensizliği yoktur.					

Çizelge 3.15. $\mp Y$ yönü burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri

Kat No	H_i (mm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (mm)	η_{bi}	η_{ki}
4	3500	1.1060	0.9840	1.0450	1.0584	1.3024
3	3500	1.4490	1.2730	1.3610	1.0647	1.0496
2	3500	1.5190	1.3380	1.4285	1.0634	0.8089
1	3500	1.2260	1.0850	1.1555	1.0610	0.0000
Kontrol	$(\eta_{bi})_{\max}=1.0647 \leq 1.2$ olduğu için (A1) burulma düzensizliği yoktur. $(\eta_{ki})_{\max}=1.3024 \leq 2$ olduğu için (B2) yumuşak kat düzensizliği yoktur.					

3.2.3.6.2 Göreli kat ötelemesi kontrolü

Görelî kat ötelemesi kontrolü DBYBHY Bölüm 2.7'ye göre yapılmıştır. Çizelge 3.16 ve Çizelge 3.17'ye göre göreli kat ötelemesi sınır değerleri sağlanmaktadır.

Çizelge 3.16. $\mp X$ yönü göreli kat ötelemesi

Katlar			Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü					Kontrol
R	Kat	h_i (mm)	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	$(\delta_i)_{\max} = R \cdot \Delta_i$	$(\delta_i)_{\max}/h_i$	$(\delta_i)_{\max}/h_i \leq 0.02$
5	4	3500	5.4740	4.2190	1.2550	6.2750	0.0018	Koşul Sağlandı.
5	3	3500	4.2190	2.8650	1.3540	6.7700	0.0019	Koşul Sağlandı.
5	2	3500	2.8650	1.1620	1.7030	8.5150	0.0024	Koşul Sağlandı.
5	1	3500	1.1620	0.0000	1.1620	5.8100	0.0017	Koşul Sağlandı.

Çizelge 3.17. $\mp Y$ yönü göreli kat ötelemesi

Katlar			Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü					Kontrol
R	Kat	h_i (mm)	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	$(\delta_i)_{\max} = R \cdot \Delta_i$	$(\delta_i)_{\max}/h_i$	$(\delta_i)_{\max}/h_i \leq 0.02$
5	4	3500	5.3000	4.1940	1.1060	5.5300	0.0016	Koşul Sağlandı.
5	3	3500	4.1940	2.7450	1.4490	7.2450	0.0021	Koşul Sağlandı.
5	2	3500	2.7450	1.2260	1.5190	7.5950	0.0022	Koşul Sağlandı.
5	1	3500	1.2260	0.0000	1.2260	6.1300	0.0018	Koşul Sağlandı.

3.2.3.6.3 İkinci merteye etkileri

İkinci merteye etkileri DBYBHY ilkelerince Denklem 2.20'ye göre hesaplanmıştır. X yönü için Çizelge 3.18'de ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi hesaplanarak Çizelge 3.19'da ikinci merteye etkileri kontrol edilmiştir. Y yönü için ise Çizelge 3.20'de ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi hesaplanarak Çizelge 3.21'de ikinci merteye etkileri kontrol edilmiştir.

Çizelge 3.18. $\mp X$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Katlar	Maksimum deplasman değerleri			Minumum deplasman değerleri			$\Delta_{i(ort)}$ (mm)
	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	
4	5.4740	4.2190	1.2550	4.1380	3.1760	0.9620	1.1085
3	4.2190	2.8650	1.3540	3.1760	2.0100	1.1660	1.2600
2	2.8650	1.1620	1.7030	2.0100	0.8640	1.1460	1.4245
1	1.1620	0.0000	1.1620	0.8640	0.0000	0.8640	1.0130

Çizelge 3.19. $\mp X$ yönü ikinci merteye etkileri

Kat	h_i (mm)	$\Delta_{i(ort)}$ (mm)	$\sum W_i$ (tf)	V_i (tf)	V_i*H_i (tf.mm)	θ_i	Kontrol $\theta_i \leq 0.12$
4	3500	1.1085	427.87	73.30	256543.70	0.0018	Koşul sağlandı.
3	3500	1.2600	892.15	129.53	453371.10	0.0025	Koşul sağlandı.
2	3500	1.4245	1356.43	167.03	584589.25	0.0033	Koşul sağlandı.
1	3500	1.0130	1820.71	185.87	650530.65	0.0028	Koşul sağlandı.

Çizelge 3.20. $\mp Y$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Katlar	Maksimum deplasman değerleri			Minumum deplasman değerleri			$\Delta_{i(ort)}$ (mm)
	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	
4	5.3000	4.1940	1.1060	4.6800	3.6960	0.9840	1.0450
3	4.1940	2.7450	1.4490	3.6960	2.4230	1.2730	1.3610
2	2.7450	1.2260	1.5190	2.4230	1.0850	1.3380	1.4285
1	1.2260	0.0000	1.2260	1.0850	0.0000	1.0850	1.1555

Çizelge 3.21. $\mp Y$ yönü ikinci merteye etkileri

Kat	h_i (mm)	$\Delta_{i(ort)}$ (mm)	$\sum W_i$ (tf)	V_i (kN)	V_i*H_i (tf.mm)	θ_i	Kontrol $\theta_i \leq 0.12$
4	3500	1.0450	427.87	73.30	256543.70	0.0017	Koşul sağlandı.
3	3500	1.3610	892.15	129.53	453371.10	0.0027	Koşul sağlandı.
2	3500	1.4285	1356.43	167.03	584589.25	0.0033	Koşul sağlandı.
1	3500	1.1555	1820.71	185.87	650530.65	0.0032	Koşul sağlandı.

3.2.3.6.4 Kesit kapasite oranları

Bu kısımda yapı TS648'e en yakın yönetmelik olan AISC-ASD89 seçilerek analiz ve boyutlandırma yapılmıştır. Yapı kesitlerine ait kapasite oranları Çizelge 3.22'de verilmiştir.

Çizelge 3.22. TS648'e göre kesit kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
Ana Kiriş (IPE300)	0.778	G+Q
Tali Kiriş -1 (IPN260)	0.778	G+Q
Tali Kiriş -2 (IPE240)	0.761	G+Q
Çapraz (CHS139*8)	0.452	G+Q-EY+0.3EX
Kolonlar (HE240A)	0.705	G+Q

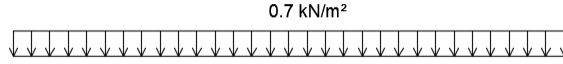
3.2.4 ÇYTHYE ve DBYBHY'ye göre hesap ve tasarım

3.2.4.1 Kaplama yükü ağırlığı

Normal Kat Döşemesi:	Kaplama	0.5 kN/m ²
	Trapez sac + betonarme döşeme	2.1 kN/m ²
	Asma tavan + tesisat	0.5 kN/m ²
	Bölme duvarları	1.0 kN/m ²
	Toplam sabit yük	4.1 kN/m ²
	Hareketli yük:	2.0 kN/m ²
Çatı Döşemesi:	Kaplama	0.5 kN/m ²
	Trapez sac + betonarme döşeme	2.1 kN/m ²
	Asma tavan + tesisat	0.5 kN/m ²
	İzalsasyon	0.5 kN/m ²
	Toplam sabit yük	3.6 kN/m ²
	Hareketli yük:	2.0 kN/m ²

3.2.4.2 Kar yükü hesabı

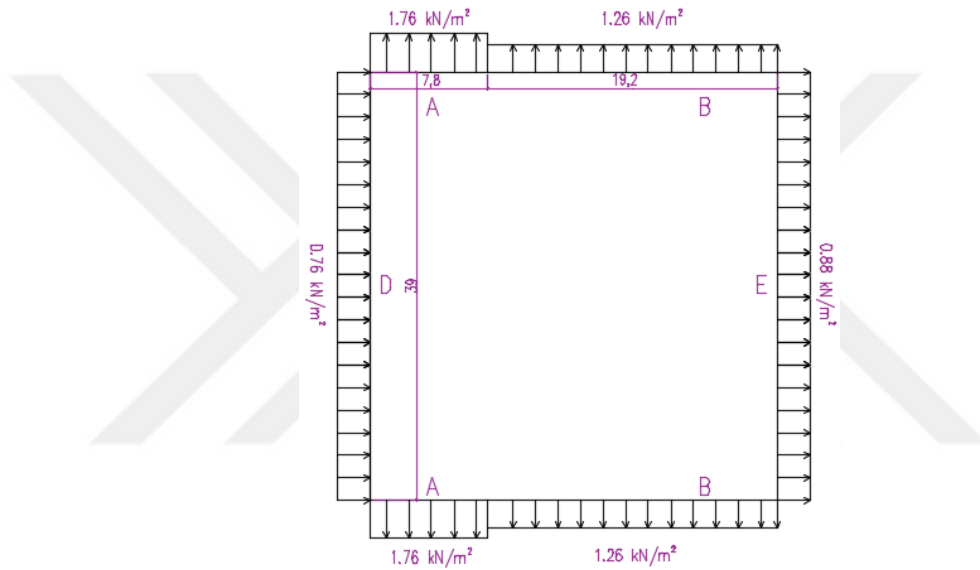
ÇYTHYE'ye göre yapıya ait kar yükü hesap değeri TS-EN 1991-1-3 standardına göre hesaplanmıştır. TS-EN 1991-1-3 standardına göre yapıya etkitilen hesap değerleri 3.33'te verilmiştir.



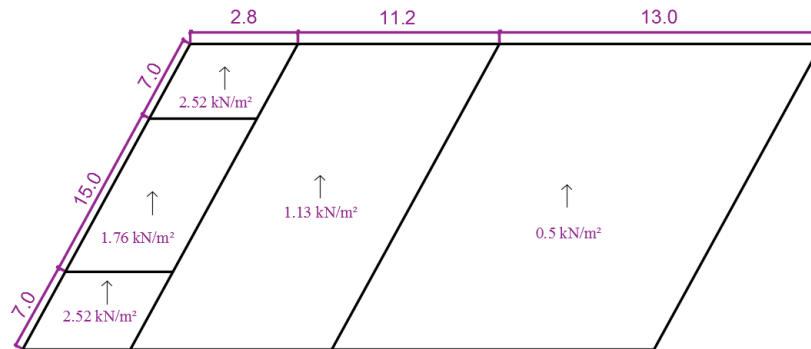
Şekil 3.33. Kar Yüğü hesap değeri

3.2.4.3 Rüzgâr yükü hesabı

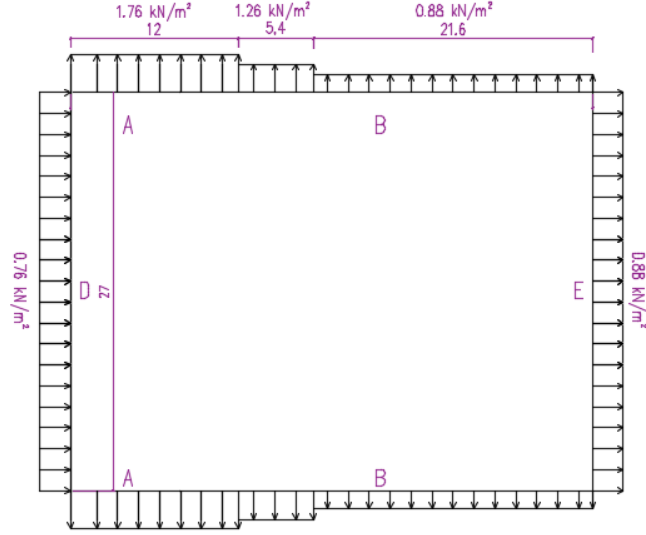
ÇYTHYE'ye göre yapıya ait rüzgâr yükleri için TS-EN 1991-1-4 standardı dikkate alınmıştır. Buna göre $\theta=0^\circ$ ve $\theta=90^\circ$ için yapıda cepheye ve çatıya etkiyen rüzgâr yükü değerleri Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de verilmiştir.



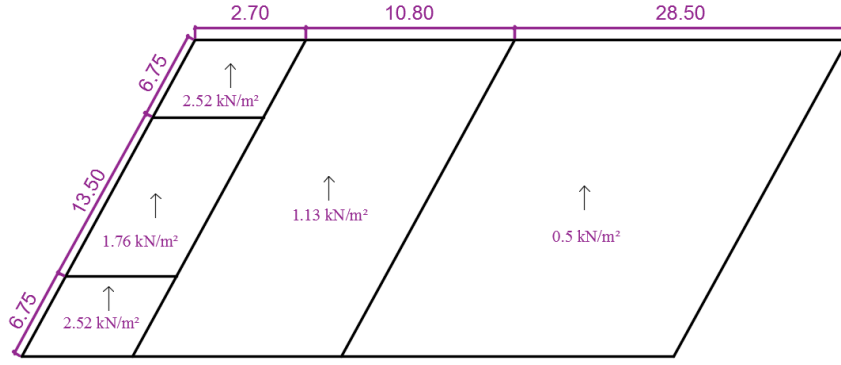
Şekil 3.34. $\theta=0^\circ$ için cephe rüzgâr yükleri



Şekil 3.35. $\theta=0^\circ$ için çatı rüzgâr yükleri



Şekil 3.36. $\theta=90^\circ$ için cephe rüzgâr yükleri



Şekil 3.37. $\theta=90^\circ$ için çatı rüzgâr yükleri

3.2.4.4 Yük kombinasyonları

Çerçeve sisteme ait yapı için ÇYTHYE'ye göre tasarım için Bölüm 3.1.4.5'te verilen hangar yapı modeli için kullanılan yük kombinasyonları kullanılmıştır.

3.2.4.5 Burulma ve yumuşak kat düzensizliği

DBYBHY 2.3.2.4'e göre burulma ve yumuşak kat düzenliği koşulunun sağlandığı Çizelge 3.23 ve Çizelge 3.24'te verilmiştir.

Çizelge 3.23. $\mp X$ yönü için burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri

Kat No	H_i (mm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (mm)	η_{bi}	η_{ki}
4	3500	1.2500	0.9600	1.1050	1.1312	1.2127
3	3500	1.5200	1.1600	1.3400	1.1343	0.9925
2	3500	1.5200	1.1400	1.3300	1.1429	0.7594
1	3500	1.1600	0.8600	1.0100	1.1485	0.0000
Kontrol	$(\eta_{bi})_{\max}=1.1485 \leq 1.2$ olduğu için (A1) burulma düzensizliği yoktur. $(\eta_{ki})_{\max}=1.2127 \leq 2$ olduğu için (B2) yumuşak kat düzensizliği yoktur.					

Çizelge 3.24. $\mp Y$ yönü burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri

Kat No	H_i (mm)	$(\Delta_i)_{\max}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\min}$ (mm)	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$ (mm)	η_{bi}	η_{ki}
4	3500	1.1070	0.9690	1.0380	1.0665	1.3049
3	3500	1.4420	1.2670	1.3545	1.0646	1.0517
2	3500	1.5150	1.3340	1.4245	1.0635	0.8087
1	3500	1.2220	1.0820	1.1520	1.0608	0.0000
Kontrol	$(\eta_{bi})_{\max}=1.0665 \leq 1.2$ olduğu için (A1) burulma düzensizliği yoktur. $(\eta_{ki})_{\max}=1.3024 \leq 2$ olduğu için (B2) yumuşak kat düzensizliği yoktur.					

3.2.4.6 Etkin göreli kat ötelemesinin kontrolü

Görelî kat ötelemesi kontrolü DBYBHY Bölüm 2.7'ye göre yapılmıştır. Çizelge 3.25 ve Çizelge 3.26'da göreli kat ötelemesi kontrolünün uygunluğu verilmiştir.

Çizelge 3.25. $\mp X$ yönü göreli kat ötelemesi

Katlar			Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü						Kontrol
R	Kat	h_i (mm)	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	$(\delta_i)_{\max} = R \cdot \Delta_i$	$(\delta_i)_{\max} / h_i$	$(\delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02$	
5	4	3500	5.4500	4.2000	1.2500	6.2500	0.0018	Koşul Sağlandı.	
5	3	3500	4.2000	2.6800	1.5200	7.6000	0.0022	Koşul Sağlandı.	
5	2	3500	2.6800	1.1600	1.5200	7.6000	0.0022	Koşul Sağlandı.	
5	1	3500	1.1600	0.0000	1.1600	5.8000	0.0017	Koşul Sağlandı.	

Çizelge 3.26. $\mp Y$ yönü göreli kat ötelemesi

Katlar			Görelî Kat Ötelemesi Kontrolü						Kontrol
R	Kat	h_i (mm)	d_i (mm)	$d_{(i-1)}$ (mm)	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)}$ (mm)	$(\delta_i)_{\max} = R \cdot \Delta_i$	$(\delta_i)_{\max} / h_i$	$(\delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02$	
5	4	3500	5.2860	4.1790	1.1070	5.5350	0.0016	Koşul Sağlandı.	
5	3	3500	4.1790	2.7370	1.4420	7.2100	0.0021	Koşul Sağlandı.	
5	2	3500	2.7370	1.2220	1.5150	7.5750	0.0022	Koşul Sağlandı.	
5	1	3500	1.2220	0.0000	1.2220	6.1100	0.0017	Koşul Sağlandı.	

3.2.4.7 İkinci mertebe etkileri

İkinci mertebe etkileri DBYBHY ilkelerince Denklem 2.20'ye göre hesaplanmıştır. X yönü için Çizelge 3.27'de ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi hesaplanarak Çizelge 3.28'de ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiştir. Y yönü için ise Çizelge 3.29'da ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi hesaplanarak Çizelge 3.30'da ikinci mertebe etkileri kontrol edilmiştir.

Çizelge 3.27. $\mp X$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Katlar	Maksimum deplasman değerleri			Minumum deplasman değerleri			$\Delta_{i(ort)} (mm)$
	$d_i(mm)$	$d_{(i-1)} (mm)$	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)} (mm)$	$d_i(mm)$	$d_{(i-1)} (mm)$	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)} (mm)$	
4	5.4500	4.2000	1.2500	4.1200	3.1600	0.9600	1.1050
3	4.2000	2.6800	1.5200	3.1600	2.0000	1.1600	1.3400
2	2.6800	1.1600	1.5200	2.0000	0.8600	1.1400	1.3300
1	1.1600	0.0000	1.1600	0.8600	0.0000	0.8600	1.0100

Çizelge 3.28. $\mp X$ yönü ikinci mertebe etkileri kontrolü

Kat	$h_i(mm)$	$\Delta_{i(ort)} (mm)$	$\sum W_i(tf)$	$V_i(tf)$	$V_i*H_i(tf.mm)$	θ_i	Kontrol $\theta_i \leq 0.12$
4	3500	1.1050	423.35	72.65	254263.45	0.0018	Koşul sağlandı.
3	3500	1.3400	887.63	128.97	451403.05	0.0026	Koşul sağlandı.
2	3500	1.3300	1351.91	166.52	582829.45	0.0031	Koşul sağlandı.
1	3500	1.0100	1816.19	185.39	648875.15	0.0028	Koşul sağlandı.

Çizelge 3.29. $\mp Y$ yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Katlar	Maksimum deplasman değerleri			Minumum deplasman değerleri			$\Delta_{i(ort)} (mm)$
	$d_i(mm)$	$d_{(i-1)} (mm)$	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)} (mm)$	$d_i(mm)$	$d_{(i-1)} (mm)$	$\Delta_i=d_i-d_{(i-1)} (mm)$	
4	5.2860	4.1790	1.1070	4.6520	3.6830	0.9690	1.0380
3	4.1790	2.7370	1.4420	3.6830	2.4160	1.2670	1.3545
2	2.7370	1.2220	1.5150	2.4160	1.0820	1.3340	1.4245
1	1.2220	0.0000	1.2220	1.0820	0.0000	1.0820	1.1520

Çizelge 3.30. $\mp Y$ yönü ikinci mertebe etkileri

Kat	$h_i(mm)$	$\Delta_{i(ort)} (mm)$	$\sum W_i(tf)$	$V_i(tf)$	$V_i*H_i(tf.mm)$	θ_i	Kontrol $\theta_i \leq 0.12$
16	3500	1.0380	423.35	72.65	254263.45	0.0017	Koşul sağlandı.
15	3500	1.3545	887.63	128.97	451403.05	0.0027	Koşul sağlandı.
14	3500	1.4245	1351.91	166.52	582829.45	0.0033	Koşul sağlandı.
13	3500	1.1520	1816.19	185.39	648875.15	0.0032	Koşul sağlandı.

3.2.4.8 Kesit kapasite oranları

Bu kısımda yapı belirlenen genel analiz yöntemine göre GKT ve YDKT'ye göre ayrı ayrı boyutlandırılarak yapı kesitlerine ait kapasite oranları GKT yöntemi için Çizelge 3.31'de. YDKT yöntemi için Çizelge 3.32'de verilmiştir.

Çizelge 3.31. GKT yöntemi için kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
Ana Kiriş (IPE300)	0.770	$G+NGY+0.75Q+0.75QY+0.75S+0.75NS$
Tali Kiriş -1 (IPN260)	0.657	$G+0.75Q+0.75S+0.75W2$
Tali Kiriş -2 (IPE240)	0.518	$G+NGY+Q+NQY$
Çapraz (CHS139*8)	0.401	$G-0.7EY+0.21EX$
Kolon (HE240A)	0.701	$G+0.75Q+0.75S+0.75(0.7(-EX+0.3EY))$

Çizelge 3.32. YDKT yöntemi için kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
Ana Kiriş (IPE300)	0.670	$1.2(G+NGY)+1.6(Q+NQY)$
Tali Kiriş -1 (IPN260)	0.571	$1.2G+Q+0.5S+1.6W2$
Tali Kiriş -2 (IPE240)	0.457	$1.2(G+NGY)+1.6(Q+NQY)$
Çapraz (CHS139*8)	0.357	$1.2G+1Q+0.2S+EX+0.3EY$
Kolon (HE240A)	0.606	$1.2(G+NGX)+1.6(Q+NQX)+0.5(S+NSX)$

3.2.5 ÇYTHYE ve TBDY'ye göre hesap ve tasarım

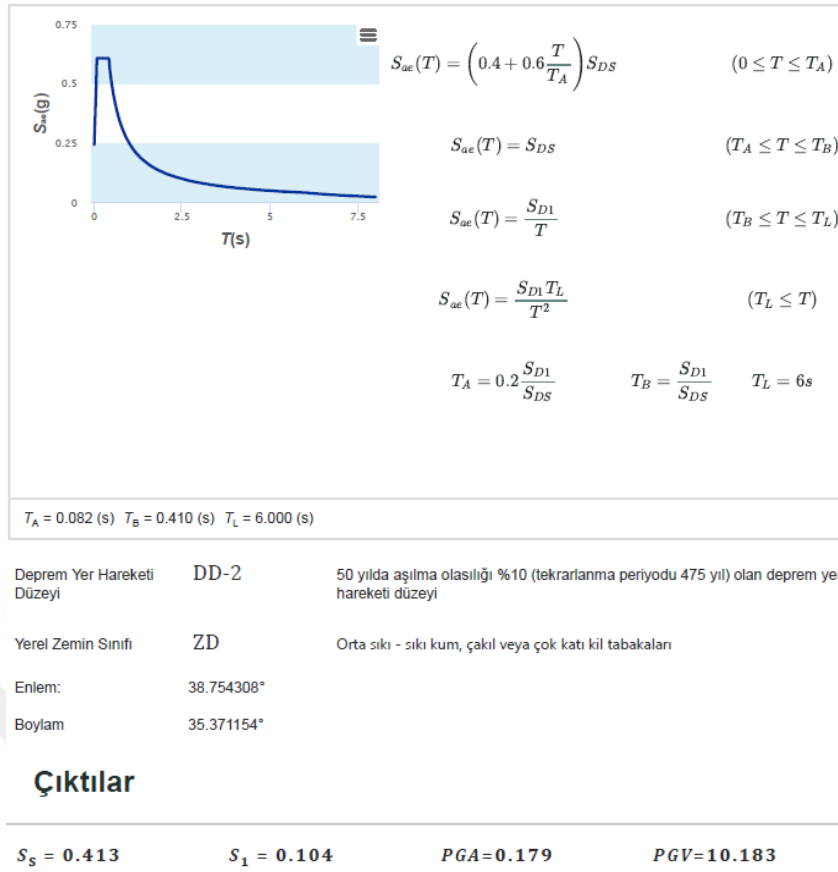
Bölüm 3.2.4'te DBYBHY'ye göre hesap ve tasarımı yapılan çerçeve sistem modelinin bu bölümde TBDY hükümleri esas alınarak aynı yükleme ve kesitler altında analizi yapılmıştır. TBDY hükümlerine aşağıda yer verilmiştir.

3.2.5.1 Bina kullanım sınıfı

Bina kullanım sınıfı TBDY Tablo 3.1.'e göre 3 olarak alınmıştır.

3.2.5.2 Deprem tasarım sınıfı

Deprem tasarım sınıfı TBDY Bölüm 2.2'ye göre DBYBHY parametreleriyle aynı olması için DD-2 (deprem yer hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketi) olarak belirlenmiştir. Bu deprem yer hareketi standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır. Türkiye Deprem Tehlikeleri Haritaları (<http://tdth.afad.gov.tr/>) kapsamında Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)'nin belirlenebilmesi amacıyla DD-2 deprem yer hareketi düzeyinde ZD Yerel Zemin Sınıfı ile elde edilen parametreler Şekil 3.38'de verilmiştir.



Şekil 3.38. Yatay elastik tasarım spektrumu parametreleri

Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı	$S_s:0.413$
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı	$S_1:0.104$
En büyük yer ivmesi(g)	$PGA:0.179$
En büyük yer hızı(cm/sn)	$PGV:10.183$
Yerel Etki zemin sınıfları	$F_s:1.470$ ve $F_1:2.392$

Bu durumda TBDY 2.3.2.2'ye göre tasarım spektral ivme katsayıları TBDY Denklem 2.1 ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$S_{DS} = S_s \cdot F_s = 0.413 \cdot 1.470 = 0.607$$

$$S_{D1} = S_1 \cdot F_1 = 0.104 \cdot 2.392 = 0.249$$

Bu durumda binanın deprem tasarım sınıfı (DTS), bina kullanım sınıfı, BKS=3 olmak üzere ve DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için tanımlanan kısa periyot spektral ivme

katsayısı, S_{DS} 'nin TBDY Tablo 3.32'e göre $0.50 \leq S_{DS} < 0.75$ koşulunu sağlaması nedeniyle $DTS=2$ olarak belirlenmiştir.

3.2.5.3 Bina yükseklik sınıfı

Binanın en alt kotundan itibaren ölçülen yükseklik toplam 14 m olduğu için TBDY Tablo 3.3'e göre $DTS=2$ için $10.5 < H_N \leq 17.5$ olduğundan dolayı bina yükseklik sınıfı, $BYS=6$ olarak alınmıştır.

3.2.5.4 Bina performans hedefi

TBDY Tablo 3.4a'ya göre deprem tasarım sınıfı $DTS = 2$ ve deprem yer hareket düzeyi, DD-2 için yeni yapılacak çelik yapı modeli için performans hedefi kontrollü hasar (KH) ve değerlendirme/tasarım yaklaşımı, dayanıma göre tasarım (DGT) yaklaşımı olarak belirlenmiştir.

3.2.5.5 Yükleme ve kombinasyonlar

Hangar yapı modeli için Bölüm 3.1.5.6 verilen yükleme ve kombinasyonlar çerçeve sistem modeli için de kullanılmıştır.

3.2.5.6 Taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

TBDY Tablo 4.1'e göre, 3.2.5.3'de seçilen bina yükseklik sınıfına uygun olarak ($BYS=6$), deprem etkilerinin tamamının süneklilik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar için taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $R=5$ ve dayanım fazlalığı katsayısı, $D=2$ olarak seçilmiştir.

3.2.5.7 Burulma ve yumuşak kat düzensizliği

TBDY 3.6.1'e göre burulma ve yumuşak kat düzenliği koşulunun sağlandığı Çizelge 3.33 ve Çizelge 3.34'te verilmiştir.

Çizelge 3.33. $\mp X$ yönü için burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri

Kat No	$H_i(\text{mm})$	$(\Delta_i)_{\max} (\text{mm})$	$(\Delta_i)_{\min} (\text{mm})$	$(\Delta_i)_{\text{ort}} (\text{mm})$	η_{bi}	η_{ki}
4	3500	1.6700	1.2800	1.4750	1.1322	1.2170
3	3500	2.0400	1.5500	1.7950	1.1365	0.9916
2	3500	2.0300	1.5300	1.7800	1.1404	0.7584
1	3500	1.5500	1.1500	1.3500	1.1481	0.0000
Kontrol	$(\eta_{bi})_{\max}=1.1481 \leq 1.2$ olduğu için (A1) burulma düzensizliği yoktur. $(\eta_{ki})_{\max}=1.2170 \leq 2$ olduğu için (B2) yumuşak kat düzensizliği yoktur.					

Çizelge 3.34. $\mp Y$ yönü burulma ve yumuşak kat düzensizlikleri

Kat No	$H_i(\text{mm})$	$(\Delta_i)_{\max}$	$(\Delta_i)_{\min}$	$(\Delta_i)_{\text{ort}}$	η_{bi}	η_{ki}
4	3500	1.4600	1.2800	1.3700	1.0657	1.3066
3	3500	1.9100	1.6700	1.7900	1.0670	1.0475
2	3500	1.9900	1.7600	1.8750	1.0613	0.8133
1	3500	1.6200	1.4300	1.5250	1.0623	0.0000
Kontrol	$(\eta_{bi})_{\max}=1.0670 \leq 1.2$ olduğu için (A1) burulma düzensizliği yoktur. $(\eta_{ki})_{\max}=1.3066 \leq 2$ olduğu için (B2) yumuşak kat düzensizliği yoktur.					

3.2.5.8 Etkin görelî kat ötelemesinin kontrolü

Etkin görelî kat ötelemelerinin kontrolü TBDY 4.9.1' e göre hesaplanmış ve X yönü için Çizelge 3.35'te hesaplanarak uygunluğu Çizelge 3.36'da verilmiştir. Aynı zaman da Y yönü içinde görelî kat ötelemesi değeri Çizelge 3.37 hesaplanarak uygunluğu Çizelge 3.38'de verilmiştir. Çizelge 3.36 ve Çizelge 3.38'de verilen K değeri çelik yapılar için TBDY'ye göre 0.5 olarak alınmıştır.

Çizelge 3.35. $\mp X$ yönü görelî kat ötelemesi

Kat	$h(\text{mm})$	$\Delta_{ix\max}$	R	I	$\delta_{ix\max}=(R/I) \times \Delta_{ix\max}$	$\delta_{ix\max}/h_i$
4	3500	1.67	5.0	1.0	8.35	0.0024
3	3500	2.04	5.0	1.0	10.20	0.0029
2	3500	2.03	5.0	1.0	10.15	0.0029
1	3500	1.55	5.0	1.0	7.75	0.0022

Çizelge 3.36. $\mp X$ yönü görelî kat ötelemesi kontrolü

Kat	$S_{ae}(DD3)$	$S_{ae}(DD2)$	$\lambda=S_{ae}(DD3/DD2)$	κ	$\lambda^*(\delta_i)_{\max}/h$	$0.016^* \kappa$	$\lambda^*(\delta_i)_{\max}/h \leq 0.0016^* K$
4	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000785	0.008	Koşul Sağlandı.
3	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000958	0.008	Koşul Sağlandı.
2	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000954	0.008	Koşul Sağlandı.
1	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000728	0.008	Koşul Sağlandı.

Çizelge 3.37. ±Y yönü görelî kat ötelemesi

Kat	h(mm)	$\Delta_{iy\max}$	R	I	$\delta_{ix\max}=(R/I)\times\Delta_{iy\max}$	$\delta_{iy\max}/h_i$
4	3500	1.46	5.0	1.0	7.30	0.0021
3	3500	1.91	5.0	1.0	9.55	0.0027
2	3500	1.99	5.0	1.0	9.95	0.0028
1	3500	1.62	5.0	1.0	8.10	0.0023

Çizelge 3.38. ±Y yönü görelî kat ötelemesi kontrolü

Kat	$S_{ae}(DD3)$	$S_{ae}(DD2)$	$\lambda=S_{ae}(dd3/dd2)$	κ	$\lambda^*(\delta_i)_{\max}/h$	$0.016*\kappa$	$\lambda^*(\delta_i)_{\max}/h\leq 0.0016*K$
4	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000686	0.008	Koşul Sağlandı.
3	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000897	0.008	Koşul Sağlandı.
2	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000935	0.008	Koşul Sağlandı.
1	0.098	0.298	0.33	0.5	0.000761	0.008	Koşul Sağlandı.

3.2.5.9 İkinci mertebe etkileri

İkinci metrebe değerleri TBDY 4.9.2'ye göre hesaplanmıştır. Buna göre X yönü için Çizelge 3.39'da ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi değerleri hesaplanmış ve Çizelge 3.40'da uygunluğu verilmiştir. Aynı şekilde Y yönü için Çizelge 3.41'de ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi değerleri hesaplanmış ve ikinci mertebe etkileri değeri etkilerinin sağlandığı Çizelge 3.42'de verilmiştir.

Çizelge 3.39. ±X yönü ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Kat	h	$\Delta_{ix\max}$	$\Delta_{ix\min}$	$\Delta_{ix\text{ort}}$
4	3500	1.67	1.28	1.48
3	3500	2.04	1.55	1.80
2	3500	2.03	1.53	1.78
1	3500	1.55	1.15	1.35

Çizelge 3.40. ±X yönü ikinci mertebe etkileri

Kat	$W_j(\text{tf})$	$V_{ix}(\text{tf})$	θ_{ix}	D	R	Ch	$0.12*D/(Ch*R)$	KONTROL
4	423.35	97	0.0018	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.
3	887.63	173	0.0026	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.
2	1351.91	223	0.0031	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.
1	1816.19	248	0.0028	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.

Çizelge 3.41. $\mp Y$ yönü Ortalama azaltılmış görelî kat ötelemesi

Kat	h	$\Delta_{iy \max}$	$\Delta_{iy \min}$	$\Delta_{iy \text{ort}}$
4	3500	1.46	1.28	1.37
3	3500	1.91	1.67	1.79
2	3500	1.99	1.76	1.88
1	3500	1.62	1.43	1.53

Çizelge 3.42. $\mp Y$ yönü ikinci mertebe etkileri

Kat	$W_i(\text{tf})$	$V_{iy}(\text{tf})$	θ_{iy}	D	R	Ch	$0.12 \cdot D / (Ch \cdot R)$	KONTROL
4	423.35	96	0.0017	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.
3	887.63	170	0.0027	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.
2	1351.91	220	0.0033	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.
1	1816.19	245	0.0032	2	5	1	0.048	Koşul Sağlandı.

3.2.5.10 Kesit kapasite oranları

Bu kısımda model TBDY ve ÇYTHYE ilkelerine göre boyutlandırılmış ve GKT yöntemine göre elde edilen kapasite oranlarına Çizelge 3.43'te, YDKT yöntemine göre elde edilen kapasite oranlarına Çizelge 3.44'te yer verilmiştir.

Çizelge 3.43. GKT kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
Ana Kiriş (IPE300)	0.770	$G+0.75Q+0.75S+NY$
Tali Kiriş -1 (IPN260)	0.657	$G+0.75Q+0.75S+0.75W2$
Tali Kiriş -2 (IPE240)	0.518	$G+NGY+Q+NQY$
Çapraz (CHS139*8)	0.469	$1.08G-0.7EY+0.21EX$
Kolon (HE240A)	0.745	$1.06G+0.75Q+0.75S+0.75(0.7(EX+0.3EY))$

Çizelge 3.44. YDKT kapasite oranları

Kesit Türü	Kapasite	İlgili Kombinasyon
Ana Kiriş (IPE300)	0.670	$1.2(G+NGY)+1.6(Q+NQY)$
Tali Kiriş -1 (IPN260)	0.571	$1.2G+Q+0.5S+1.6W2$
Tali Kiriş -2 (IPE240)	0.457	$1.2(G+NGY)+1.6(Q+NQY)$
Çapraz (CHS139*8)	0.468	$1.32G+1Q+0.2S+0.3EX-1EY$
Kolon (HE240A)	0.655	$1.32G+1Q+0.2S-EX+0.3EY$

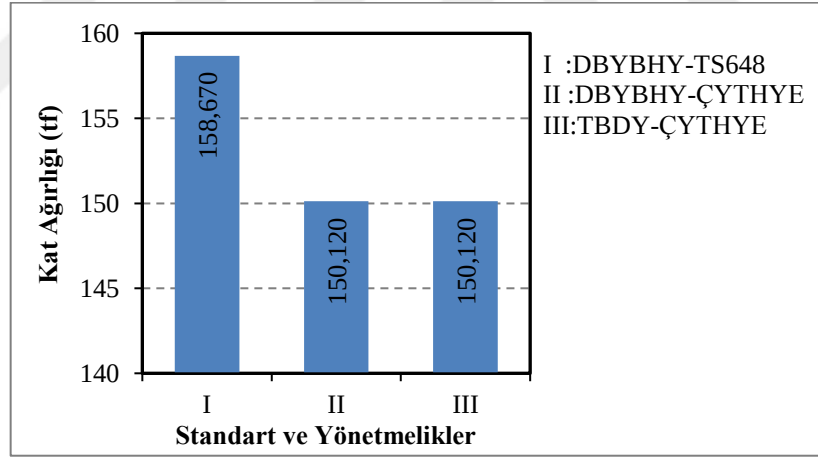
BÖLÜM IV

BULGU VE KARŞILAŞTIRMALAR

4.1 Hangar Yapı Modeline Ait Sonuçlar

4.1.1 Kat ağırlıklarının karşılaştırılması

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.1’de verilen kat ağırlığı değerleri karşılaştırıldığında DBYBHY esasları için TS648’göre yapılan analizler sonucu elde edilen kat ağırlığı değeri ÇYTHYE’ye göre %5.7 daha yüksek çıkmıştır. Yapı ağırlığındaki bu fark ise TS498’e göre elde edilen kar yükü değerinin TS EN-1-1-3’e göre elde edilen kar yükü değerinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. ÇYTHYE gözönünde bulundurularak yapılan analiz sonucu elde edilen veriler incelendiğinde DBYBHY ve TBDY’ye göre kat ağırlığı bakımından bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

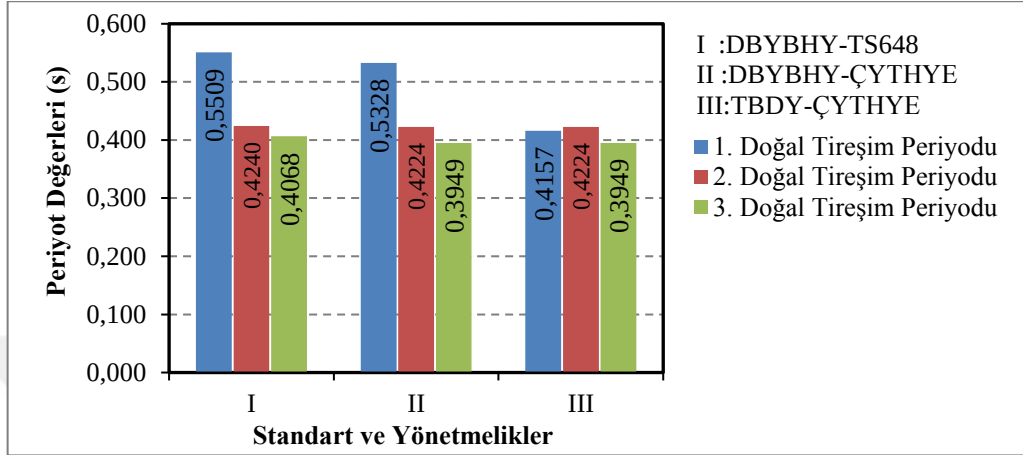


Şekil 4.1. Hangar yapı modeline ait kat ağırlıkları

4.1.2 Periyot değerlerinin karşılaştırılması

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.2’de verilen periyot değerleri karşılaştırıldığında DBYBHY esasları için TS648’e göre yapılan analizler sonucunda elde edilen 1., 2. ve 3. doğal titreşim periyodu değerleri sırasıyla, ÇYTHYE’ ye göre %3.40, %0.38 ve %3.01 daha yüksek çıkmıştır. Bu farkın ortaya çıkma sebebi TS648’e göre elde edilen toplam yapı ağırlığının ÇYTHYE’ye göre elde edilen toplam yapı ağırlığından fazla olmasıdır.

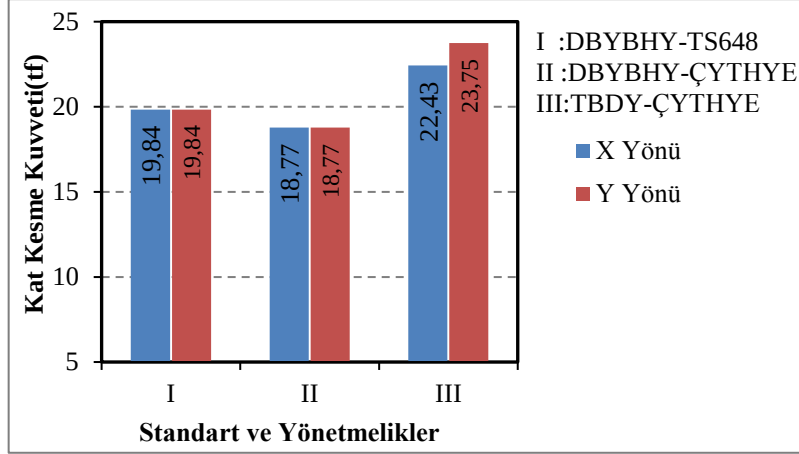
ÇYTHYE'ye göre elde edilen veriler incelendiğinde 1. doğal titreşim periyodu DBYBHY esasları için TBDY esaslarına göre %28.17 daha yüksek çıkmıştır. Bu durumun sebebi ise periyot değerinin TBDY 4.7.3.4'e göre sınırlandırılmasından kaynaklanmaktadır. 2. ve 3. doğal titreşim periyotlarında ise aynı sonuçlar çıkmıştır.



Şekil 4.2. Hangar yapı modeline ait periyot değerleri

4.1.3 Kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

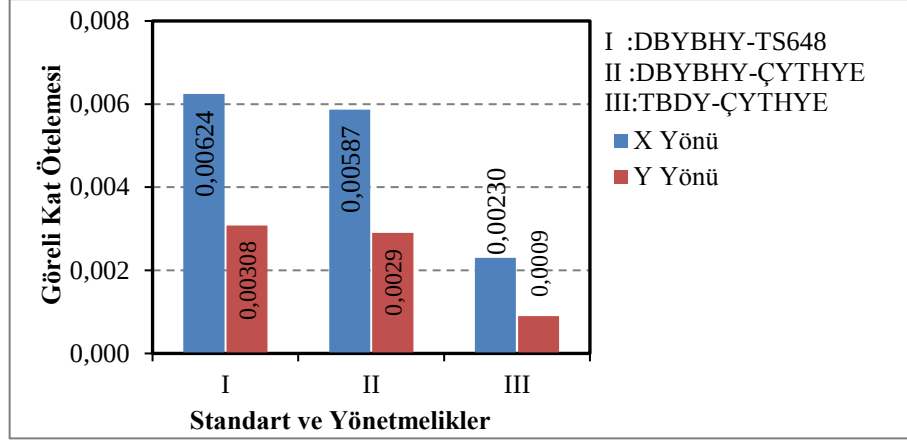
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.3'te verilen toplam kat kesme kuvveti değerleri DBYBHY ilkeleri dikkate alınarak yapılan karşılaştırmalarda TS648'e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değer ÇYTHYE'ye göre X ve Y yönü için %5.7 daha yüksek çıkmıştır. TS648'e göre değerlerin daha yüksek çıkması kat ağırlıklarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. ÇYTHYE'ye göre yapılan hesaplarda toplam kat kesme kuvveti değeri DBYBHY esasları için TBDY'ye göre X yönü için %16.3 daha düşük çıkarken, Y yönü için %21 daha düşük çıkmıştır. DBYBHY'ye göre yapılan hesaplarda toplam kat kesme kuvvetinin x ve y yönü için aynı değerde olması x ve y yönü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun DBYBHY Bölüm 2.4.3.1'e göre 0.15 ve 0.60 olan T_A ve T_B değerlerinin arasında olmasından ve spektrum katsayısı $S(T)$ değerinin sabit ve 2.5 olarak alınmasından kaynaklanmaktadır. TBDY'ye göre yapılan hesaplarda toplam kat kesme kuvvetinin x ve y yönü için farklı değerde olması ise bina doğal titreşim periyotlarının TBDY Bölüm 2.3.4.1'e göre farklı aralıklara gelmesinden ve TBDY Bölüm 4.2.1.2'ye göre deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ 'nin titreşim periyotlarına bağlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.3. Hangar yapı modeline ait kat kesme kuvveti

4.1.4 Göreli kat ötelemesinin karşılaştırılması

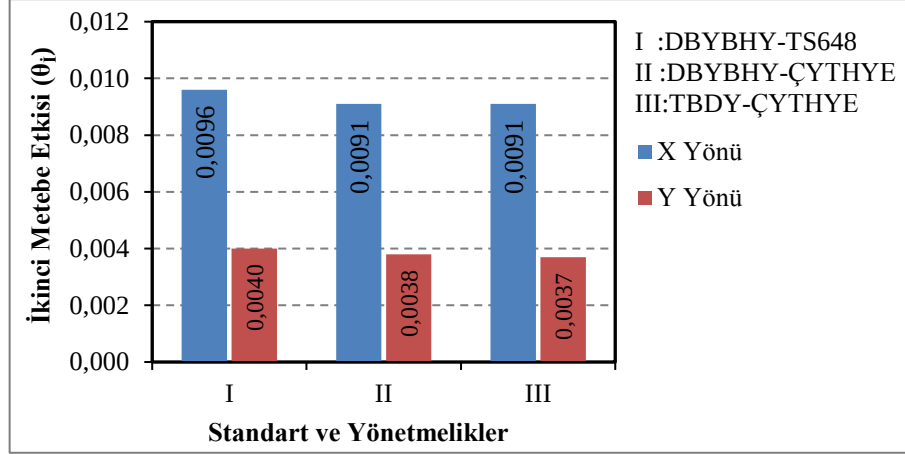
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.4’de verilen göreli kat ötelemesi değerleri DBYBHY ilkeleri dikkate alınarak yapılan karşılaştırmalarda TS648’e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değer ÇYTHYE’ye göre X yönü için %6.3, Y yönü için %6.21 daha yüksek çıkmıştır. DBYBHY’ye göre $\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02$ göreli kat ötelemesi kontrolü TS648 ve ÇYTHYE’ye göre sağlanmıştır. Aynı zamanda TBDY’ye göre yapılan hesaplamalar sonucunda da göreli kat ötelemesi değerinin $\lambda^*(\delta_i)_{\max}/h \leq 0.016*K$ koşulunu sağladığı görülmektedir. ÇYTHYE’ye göre yapılan hesaplarda göreli kat ötelemesi değeri DBYBHY esasları için TBDY’ye göre X yönü için %155 daha yüksek çıkarken, Y yönü için %222 daha yüksek çıkmıştır. Aradaki farkın fazla çıkması ise TBDY’ye göre göreli kat hesabı yaparken göreli kat ötelemesi değerinin sıfırdan küçük λ katsayısı ile çarpılmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda TBDY göre elde edilen göreli kat ötelemesi değeri $0.016*K=0.0.008$ olarak elde edilen daha düşük değer ile kontrol edilmektedir.



Şekil 4.4. Hangar yapı modeline ait görelî kat ötelemesi değerleri

4.1.5 İkinci merteye etkilerinin karşılaştırılması

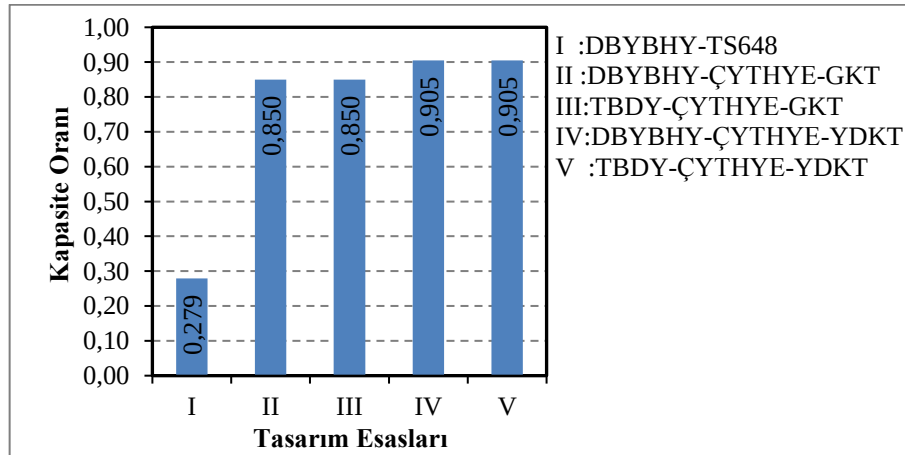
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.5'te verilen ikinci merteye etkileri değerleri DBYBHY'ye göre karşılaştırıldığında TS648'e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değer ÇYTHYE'ye göre X yönü için %5.5, Y yönü için %5.26 daha yüksek çıkmıştır. DBYBHY'ye göre $\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N W_j}{V_i h_i} \leq 0.12$ koşulu TS648 ve ÇYTHYE'ye göre sağlanmıştır. Aynı zamanda TBDY'ye göre hesaplamalar sonucunda da ikinci merteye etkileri değerinin $\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=1}^N W_k}{V_i h_i} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R}$ koşulunu sağladığı görülmektedir. Burada tasarımlar arasındaki fark kat ağırlıklarından ve kat kesme kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. TS648'e göre yapılan hesapta yapı ağırlığı daha fazla olduğu için deplasman değerleride yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE'nin DBYBHY ve TBDY esaslarına göre tasarımından elde edilen ikinci merteye etki değerleri X yönü için aynı Y yönü için %2.7 daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.5. Hangar yapı modeline ait ikinci mertebe değerleri

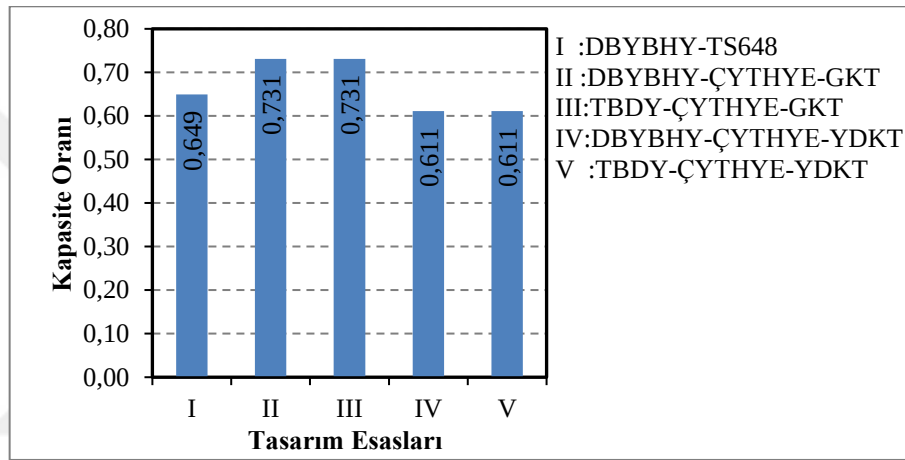
4.1.6 Kapasite oranları

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.6’da göre 1 ve 7 aksına ait kolon kapasite oranı için TS648’e göre elde edilen kapasite oranı ÇYTHYE’ye göre GKT için %67, YDKT yöntemi için %69,17 daha düşüktür. Bunun sebebi yapının ön cephesine etkiyen rüzgâr yükünün TS-EN 1991-1-4’de TS498’e göre hesaplanan rüzgâr yükünden daha yüksek olmasıdır. ÇYTHYE’ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında YDKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı GKT’ye göre %6,1 daha yüksektir. Bu fark ise kesitteki en elverişsiz yükleme kombinasyonunda bulunan katsayılarından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.6. 1 ve 7 aksı kolon kapasite oranı(HEA360)

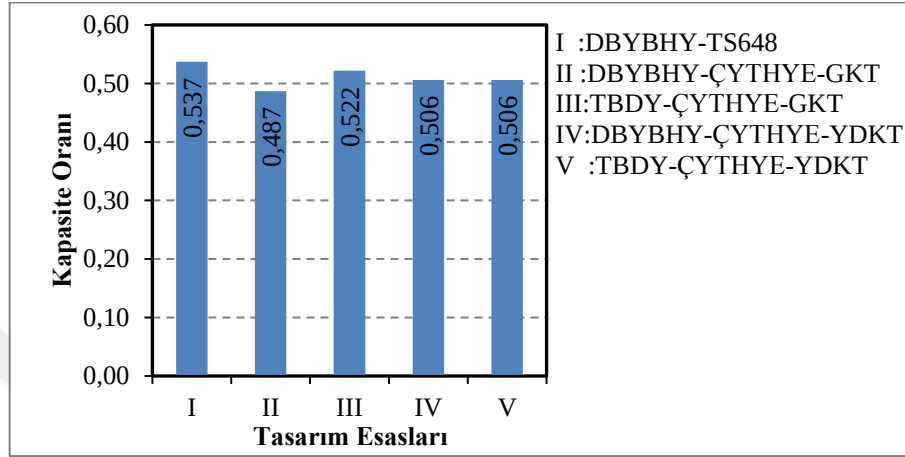
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.7’de verilen çatı aşığı kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %11.2 düşük çıkarken YDKT yöntemine göre %6.2 daha yüksek çıkmıştır. Bunun sebebi TS-EN 1991-1-4’e göre yapılan rüzgâr hesabının TS498’e göre daha yüksek olmasıdır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında YDKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı GKT yöntemine göre %19.6 daha düşüktür. Bu fark ise kesitteki en elverişsiz yükleme kombinasyonunda bulunan katsayılardan kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.7. Aşık kapasite oranı(UPN140)

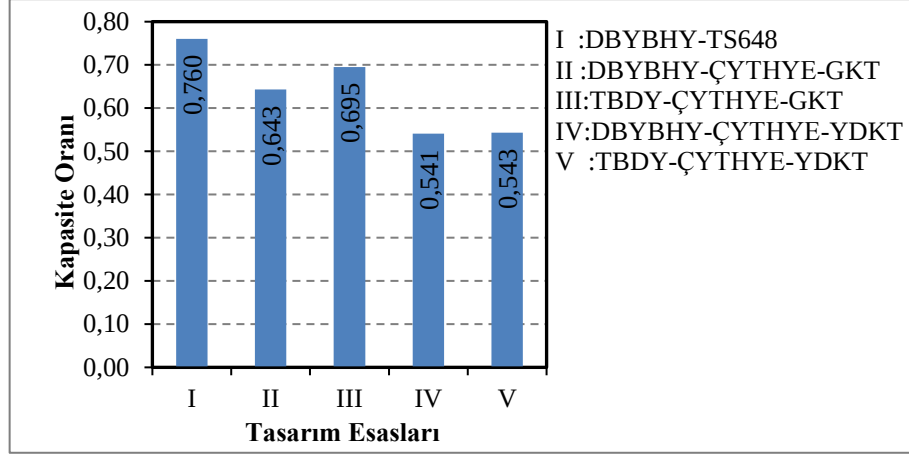
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.8’de verilen IPE330 kolon kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %3, TBDY esasları için %2.9 oranında daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %6.1 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında YDKT yöntemi için hem DBYBHY hem de TBDY esaslarına göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT yöntemine göre ise DBYBHY esasları için elde edilen kapasite oranı TBDY esaslarına göre %6.7 daha düşüktür. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite değeri YDKT yöntemine göre, DBYBHY esasları için %3.8 daha düşük çıkarken, TBDY esasları için ise %3.2 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.1.3.11, ÇYTHYE için Bölüm 3.1.4.11 ve 3.1.5.6.3’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648 ve GKT yöntemi için ölü yük, hareketli yük, kar yükü ve deprem yüklemesinin, YDKT yöntemi için ise ölü yük ve rüzgâr yükünün etken

olduğu kombinasyondur. TS648'den elde edilen yaklaşım daha güvenli tarafta kalmaktadır. GKT yöntemine göre DBYBHY ve TBDY için hesaplanan fark ise kombinasyondaki deprem yüklemesinin etken olmasından kaynaklanmaktadır. TBDY'ye göre daha fazla deprem kuvveti etkimektedir. YDKT yöntemi ise kombinasyondaki katsayılara bağlı olarak GKT yöntemine göre farklılık göstermektedir.



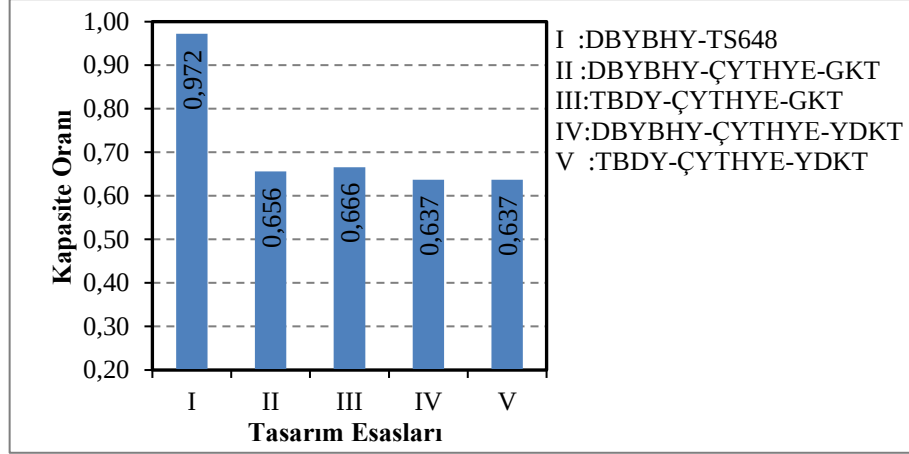
Şekil 4.8. 2-3-4-5 ve 6 aksı kolon kapasite oranı(IPE330)

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.9'da verilen çatı çaprazı kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648'e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %18.2, TBDY esasları için %9.4 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %40, TBDY esasları için %40 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE'ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında YDKT yöntemi göre DBYBHY esasları için elde edilen kapasite değeri TBDY esaslarına göre %0.4 daha düşük çıkmıştır. GKT yöntemine göre ise DBYBHY esaslarına göre elde edilen kapasite değeri TBDY esaslarına göre %7.5 oranında daha düşüktür. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre, DBYBHY esaslarına için %18.9 daha yüksek çıkarken, TBDY esaslarına için ise %27.8 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.1.3.11, ÇYTHYE için Bölüm 3.1.4.11 ve 3.1.5.6.3'de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde kar yükünün hâkim olduğu dikkat çekmektedir. TS648'e göre hesaplanan kar yükü ÇYTHYE'ye göre yüksek olduğu için TS648'den elden edilen kapasite oranı da yüksek çıkmaktadır. YDKT ve GKT tasarımında fark ise yükleme kombinasyonlarındaki katsayı farkından oluşmaktadır.



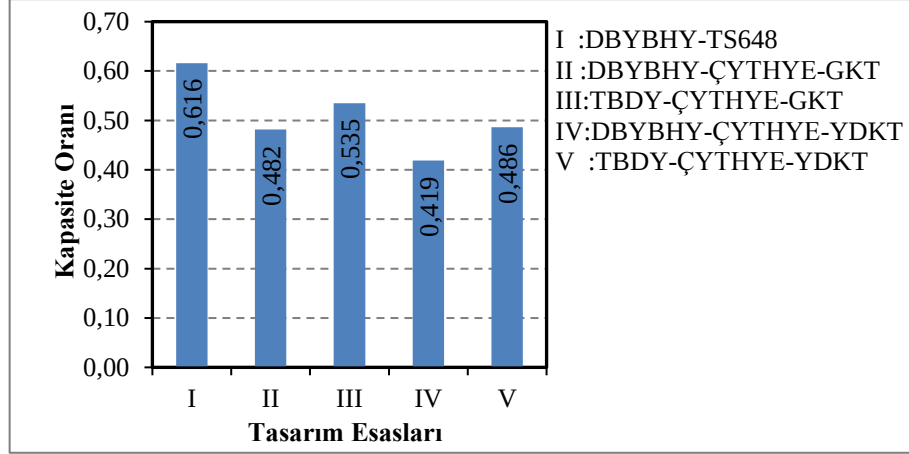
Şekil 4.9. Çatı çaprazı kapasite oranı(RHS100*5)

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.10’da verilen üst başlık kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %48.17, TBDY esasları için %46.36 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %52.6 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında YDKT yöntemi için hem DBYBHY hem de TBDY esaslarına göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT yöntemine göre ise DBYBHY esasları için elde edilen kapasite oranı TBDY esaslarına göre %1.5 oranında daha düşüktür. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre, DBYBHY esasları için %2.98 daha yüksek çıkarken, TBDY esasları için ise %4.6 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.1.3.11, ÇYTHYE için Bölüm 3.1.4.11 ve 3.1.5.6.3’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde kar yükünün hakim olduğu dikkat çekmektedir. TS648’e göre hesaplanan kar yükü ÇYTHYE’ye göre yüksek olduğu için TS648’den elden edilen kapasite oranı da yüksek çıkmaktadır. YDKT ve GKT tasarımında fark ise yükleme kombinasyonlarında katsayı farkından oluşmaktadır. GKT tasarımındaki TBDY ve DBYBHY’ye göre kapasite oranındaki fark ise elverişsiz kombinasyonda deprem yüklemesinin hâkim olduğu dikkat çekmektedir. TBDY’ye göre tasarımda düşey deprem etkisinin de hesaba katılması deprem yükü içeren kombinasyonlarda DBYBHY’ye göre ilave yük etkisi katmaktadır.



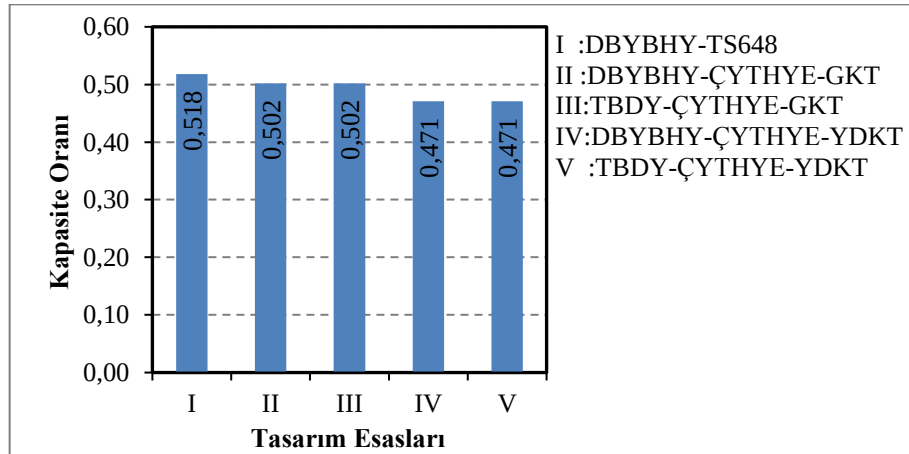
Şekil 4.10. Üst başlık kapasite oranı(2L80*8/10)

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.11’de verilen cephe çaprazı kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %27.8, TBDY esasları için %15.14 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %47, TBDY esasları için %26.8 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için TBDY esaslarına göre %13.8 daha düşük çıkmıştır. GKT yöntemine göre ise DBYBHY esaslarına göre elde edilen kapasite değeri TBDY esaslarına göre %9.9 daha düşüktür. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %15 daha yüksek çıkarken, TBDY esaslarına göre ise %10 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.1.3.11, ÇYTHYE için Bölüm 3.1.4.11 ve 3.1.5.6.3’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde deprem yüklemesinin hakim olduğu görülmektedir. TS648’e göre elde edilen değerler tasarım esasına bağlı olarak daha yüksek çıkmaktadır. YDKT ve GKT tasarımında fark ise yükleme kombinasyonlarında katsayı farkından oluşmaktadır. GKT tasarımındaki TBDY ve DBYBHY’ye göre kapasite oranındaki fark ise elverişsiz kombinasyonda deprem yüklemesinin hâkim olduğu dikkat çekmektedir. TBDY’ye göre tasarımda düşey deprem etkisinin de hesaba katılması deprem yükü içeren kombinasyonlarda DBYBHY’ye göre ilave yük etkisi katmaktadır.



Şekil 4.11. Cephe çaprazı kapasite oranı(RHS100*5)

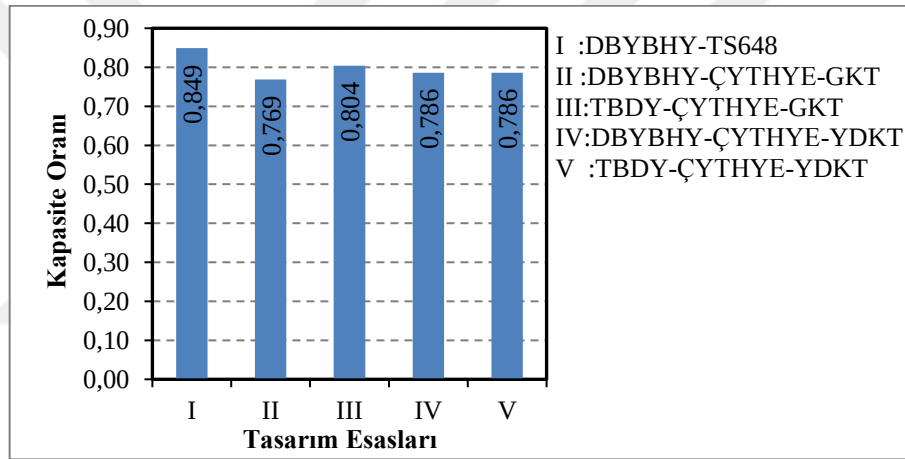
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.12’de verilen asma kat kolon kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %3.2 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %10 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %6.6 daha yüksektir. Kapasite oranları arasındaki fark incelendiğinde ciddi bir farkın olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi ise sisteme etkiyen yükün çok miktarda olmamasından kaynaklandığı olarak düşünülmektedir.



Şekil 4.12. Asma kat kolon kapasite oranı(RHS100*8)

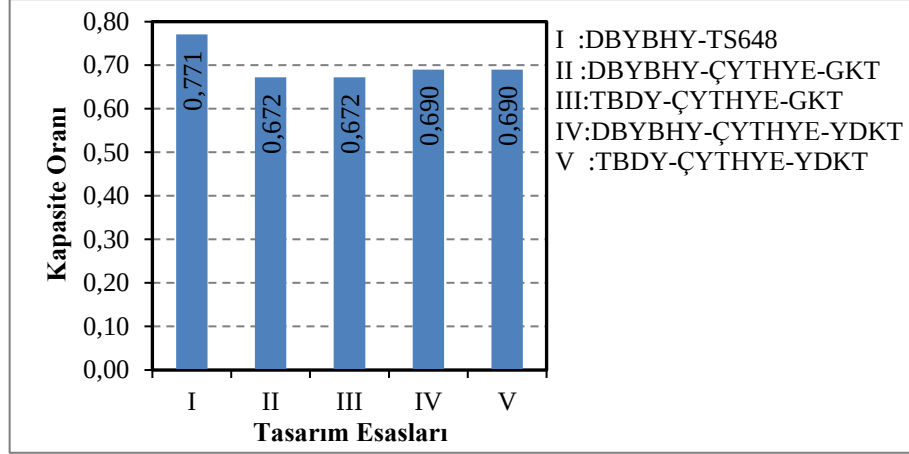
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.13’te verilen asma kat kiriş kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine

göre DBYBHY esasları için %10.4, TBDY esasları için %5.6 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %8 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE' ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında YDKT yöntemi için hem DBYBHY hem de TBDY esaslarına göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT yöntemine göre ise DBYBHY esasları için elde edilen kapasite oranı TBDY esaslarına göre %4.3 oranında daha düşüktür. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %2.2 daha düşük çıkarken, TBDY esasları için ise %2.3 daha yüksektir. Kapasite oranları arasındaki fark incelendiğinde asma kat kolon elemanlarındaki gibi ciddi bir farkın olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi ise yine sisteme etkiyen yükün çok miktarda olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



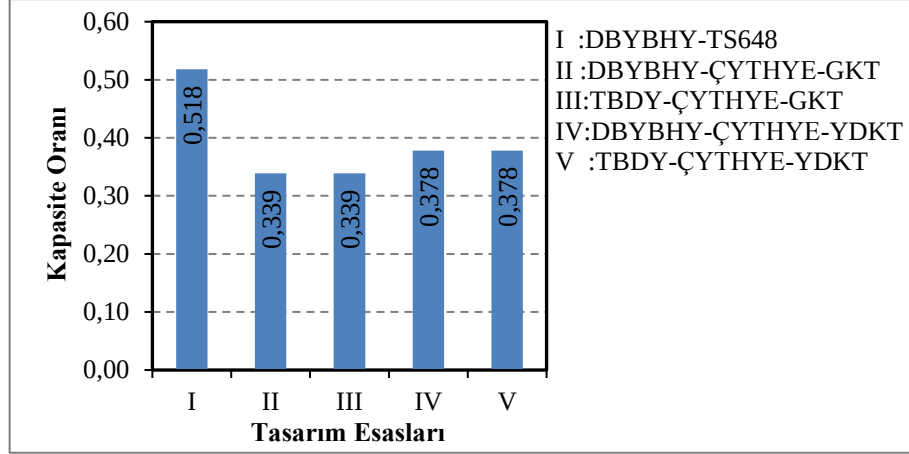
Şekil 4.13. Asma kat giriş kapasite oranı(IPE200)

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.14'de verilen asma kat aşık kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648'e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %14.7 oranında daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %11.7 oranında daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE' ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY'ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %2.6 daha düşüktür. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde diğer kesitlerde olduğu gibi TS648'in hesap içeriğine bağlı olarak daha yüksektir. GKT ve YDKT yöntemlerine ait kapasite oranlarına kendi aralarında bakıldığında ise asma kata etkiyen hareketli yük az olduğu için sonuçlar yakın çıkmıştır.



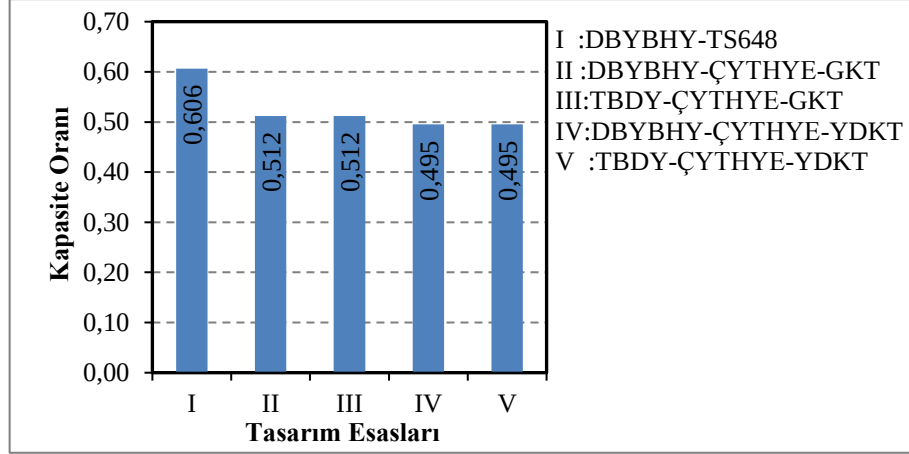
Şekil 4.14. Asma kat aşık kapasite oranı(RHS100/150*4)

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.15'te verilen alt başlık kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648'e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %52.8 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %37 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE' ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY'ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %10.3 daha düşüktür. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.1.3.11, ÇYTHYE için Bölüm 3.1.4.11 ve 3.1.5.6.3'de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648 ve GKT yöntemi için ölü yük, hareketli yük ve kar yükü, YDKT yöntemi için ise ölü yük ve rüzgâr yükünün etken olduğu kombinasyondur. Burada TS648 tasarım içeriğinden dolayı farklı çıkmıştır. GKT ve YDKT yöntemini kendi arasında değerlendirdiğimizde fark yine kombinasyon katsayısı ve yükleme tiplerinden kaynaklanmaktadır.



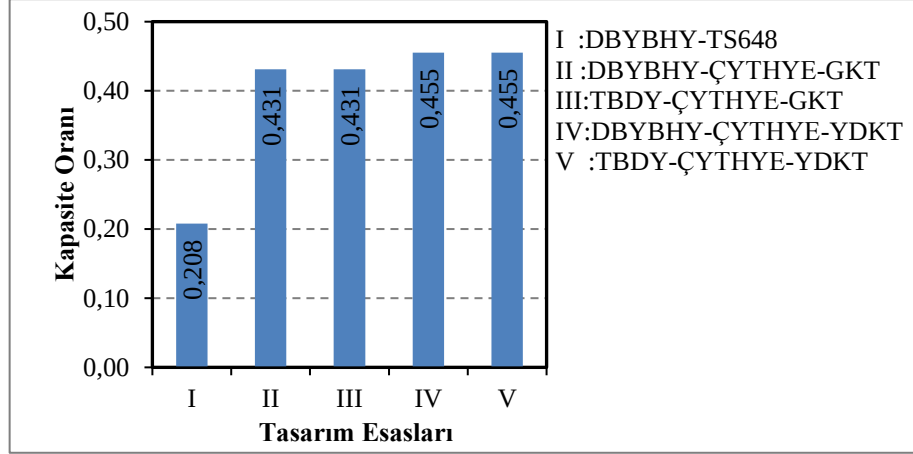
Şekil 4.15. Alt başlık kapasite oranı(2L80*8/10)

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.16’da verilen dikme ve diyagonal kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %18.4 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %22.4 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %3.4 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.1.3.11, ÇYTHYE için Bölüm 3.1.4.11 ve 3.1.5.6.3’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648, GKT ve YDKT yöntemi için kombinasyonlarda ölü yük ve hareketli yükün olduğu görülmektedir. TS648’e göre elde edilen kapasite oranı daha yüksektir. YDKT ve GKT yöntemi için elde edilen kapasite oranları elverişsiz kombinasyondaki yükleme tipleri aynı olduğu için birbirine yakındır.



Şekil 4.16. Dikme ve diyagonal kapasite oranı(2L50*5/10)

Hangar yapı modeline ait Şekil 4.17’de verilen lento kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %51.7 daha düşük çıkarken YDKT yöntemine göre %54.3 daha düşük çıkmıştır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %5.3 daha düşüktür. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.1.3.11, ÇYTHYE için Bölüm 3.1.4.11 ve 3.1.5.6.3’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648 için ölü yük, hareketli yük ve kar yükü ve deprem yüklemesi mevcutken, GKT için ölü yük ve rüzgâr yükü, YDKT için ise ölü yük rüzgâr yükü ve kar yükünün bulunduğu görülmektedir. Kapasite oranlarındaki fark rüzgâr yükünden kaynaklanmaktadır.

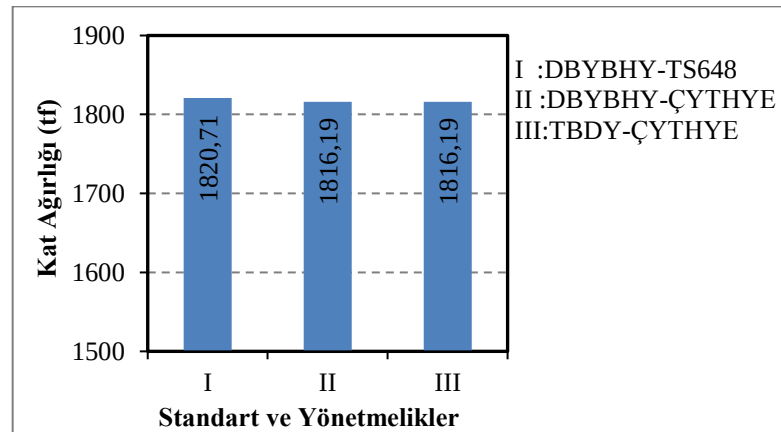


Şekil 4.17. Lento kapasite oranı (RHS100*5)

4.2 Çerçeve Sistem Modeline Ait Sonuçlar

4.2.1 Yapı ağırlıklarının karşılaştırılması

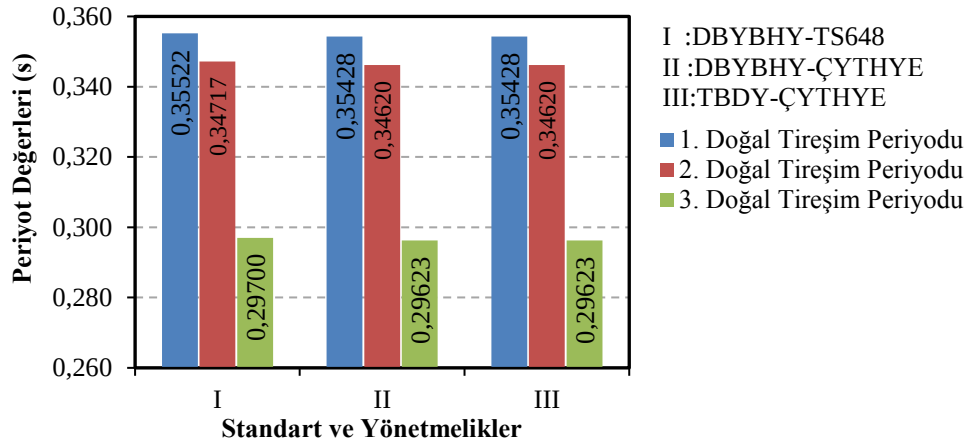
Hangar yapı modeline ait Şekil 4.18’de verilen yapı ağırlığı değerleri karşılaştırıldığında TS648’göre yapılan analizler sonucu elde edilen yapı ağırlığı ÇYTHYE’ye göre %0.25 daha yüksek çıkmıştır. Yapı ağırlığındaki bu fark ise TS498’e göre elde edilen kar yükü değerinin TS EN-1-1-3’e göre elde edilen kar yükü değerinden daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. ÇYTHYE’ye göre elde edilen veriler incelendiğinde DBYBHY ve TBDY’ye göre kat ağırlığı hesabında bir değişiklik olmadığı için değerler aynı çıkmıştır.



Şekil 4.18. Çerçeve sistem modeline ait yapı ağırlıkları

4.2.2 Periyot değerlerinin karşılaştırılması

Düşey çerçeve sistem modeline ait Şekil 4.19’da verilen periyot değerleri karşılaştırıldığında DBYBHY esasları için TS648’e göre yapılan analizler sonucunda elde edilen 1., 2. ve 3. doğal titreşim periyodu değerleri sırasıyla, ÇYTHYE’ ye göre %0.27, %0.28 ve %0.26 daha yüksek çıkmıştır. Bu farkın ortaya çıkma sebebi olarak TS648’e göre elde edilen toplam yapı ağırlığının ÇYTHYE’ye göre elde edilen yapı ağırlığında fazla olmasıdır. ÇYTHYE esasları için DBYBHY ve TBDY’ye göre elde edilen periyot değerleri incelendiğinde aynı sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

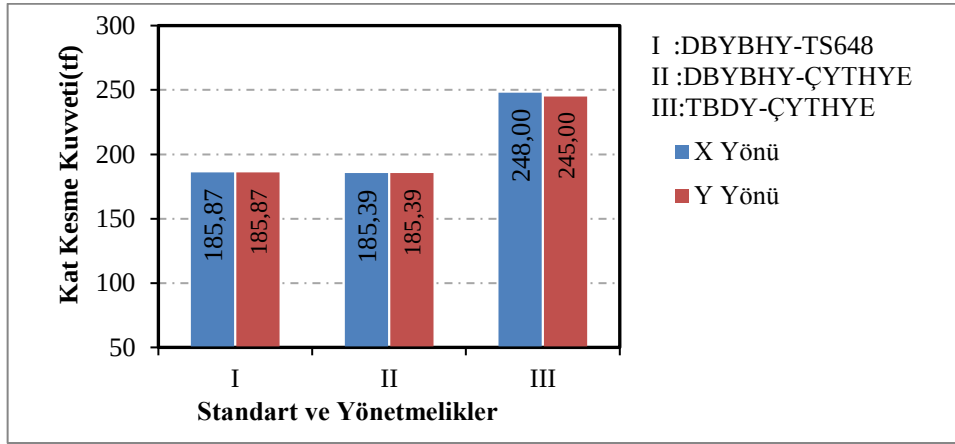


Şekil 4.19. Çerçeve sistem modeline ait periyot değerleri

4.2.3 Kat kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması

Düşey çerçeve sistem modeline ait Şekil 4.20’de verilen toplam kat kesme kuvveti değerleri incelendiğinde DBYBHY esasları için TS648’e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değer ÇYTHYE’ye göre X ve Y yönü için %0.26 daha yüksek çıkmıştır. TS648’e göre değerlerin daha yüksek çıkması kat ağırlıklarının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. ÇYTHYE’ye göre yapılan hesaplarda toplam kat kesme kuvveti değeri DBYBHY esasları için TBDY’ye göre X yönü için %25.25 daha düşük çıkarken, Y yönü için %24.33 daha düşük çıkmıştır. DBYBHY’ye göre yapılan hesaplarda toplam kat kesme kuvvetinin x ve y yönü için aynı değerde olması x ve y yönü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun DBYBHY Bölüm 2.4.3.1’e göre 0.15 ve 0.60 olan T_A ve T_B değerlerinin arasında olmasından ve spektrum katsayısı $S(T)$ değerinin sabit ve 2.5 olarak alınmasından kaynaklanmaktadır. TBDY’ye göre yapılan hesaplarda toplam kat kesme kuvvetinin x ve y yönü için farklı değerde olması ise TBDY Bölüm

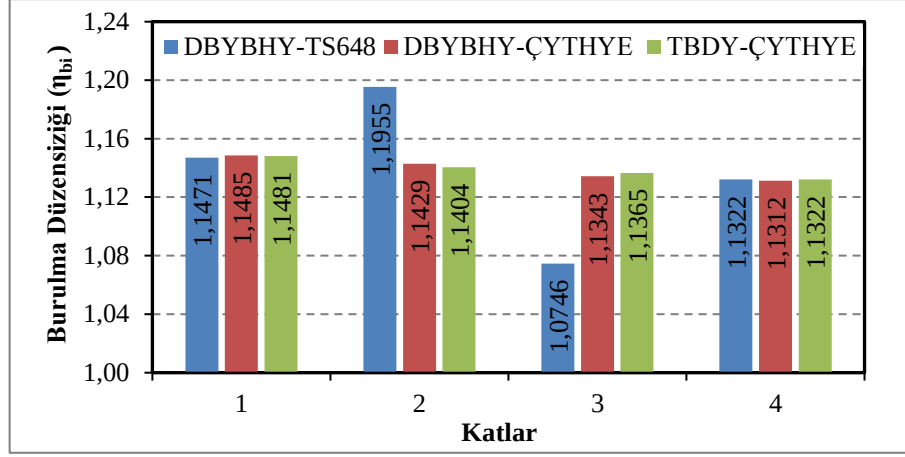
4.2.1.2'ye göre deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ 'nin titreşim periyotlarına bağlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır.



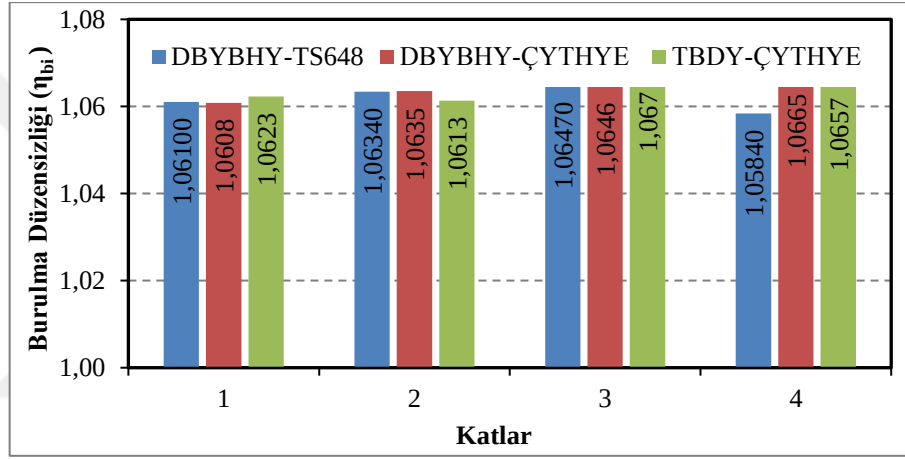
Şekil 4.20. Çerçeve sistem modeline ait kat kesme kuvvetleri

4.2.4 A1 burulma düzensizliği

Düşey çerçeve sistem modeline ait X yönü için Şekil 4.21, Y yönü için Şekil 4.22'de verilen A1 burulma düzensizliği incelendiğinde hem DBYBHY hem de TBDY'ye göre $(\eta_{bi})_{max} \leq 1.2$ koşulu TS648 ve ÇYTHYE'ye göre sağlanmaktadır. DBYBHY esasları için TS648'e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen maksimum değer ÇYTHYE'ye göre elde edilen maksimum değerden X yönü için %4.09 daha yüksek, Y yönü için %0.17 daha düşük çıkmıştır. Burada burulma düzensizliği şartı X yönü için TS648'e göre sınır değerlere daha yakın çıkmıştır. ÇYTHYE'ye göre yapılan hesaplarda burulma düzensizliği maksimum değerleri incelendiğinde DBYBHY esasları için TBDY'ye göre X yönü için %0.03, Y yönü için %0.08 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE'nin DBYBHY ve TBDY'ye göre analizleri karşılaştırıldığında sonuçların birbiriyle yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Çerçeve sistem modeline ait $\mp X$ yönü için A1 burulma düzensizliği

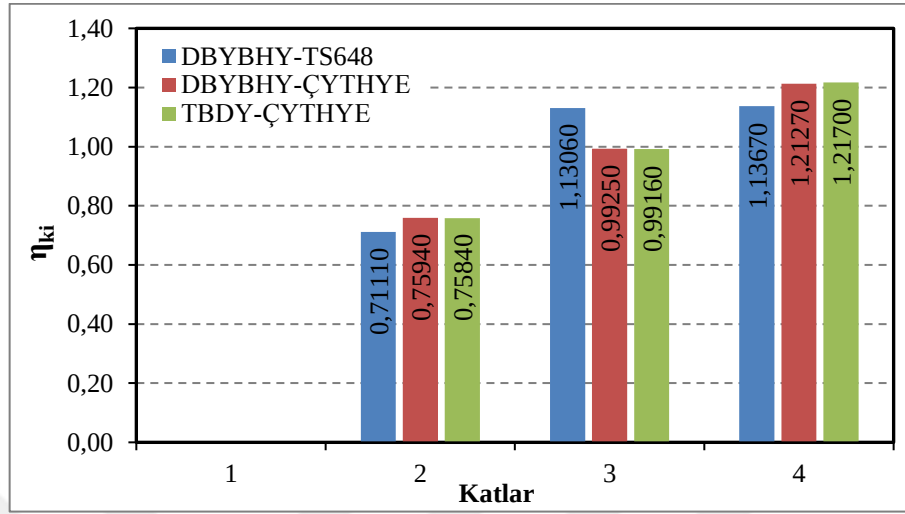


Şekil 4.22. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü için A1 burulma düzensizliği

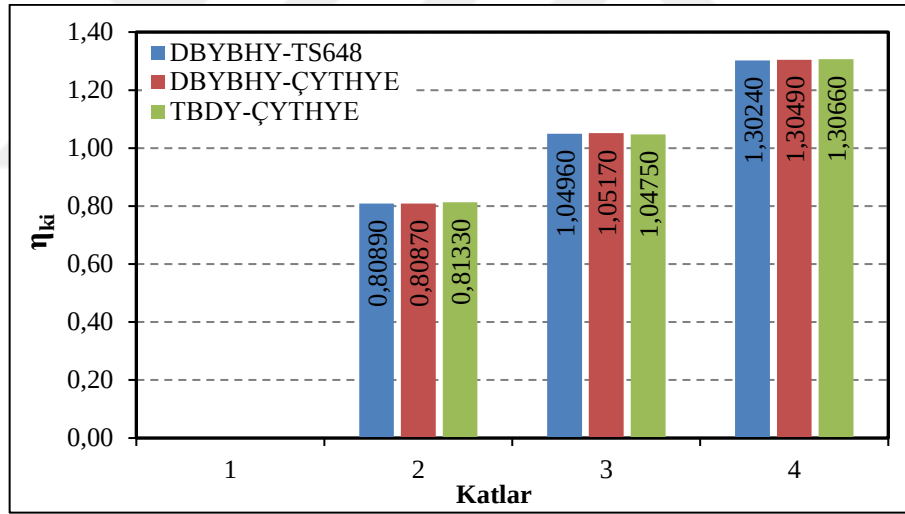
4.2.5 B2 Yumuşak kat düzensizliği

Düşey çerçeve sistem modeline ait X yönü için Şekil 4.23, Y yönü için Şekil 4.24’de verilen B2 yumuşak kat düzensizliği incelendiğinde hem DBYBHY hem de TBDY’ye göre $(\eta_{ki})_{\max} \leq 2$ koşulu TS648 ve ÇYTHYE’ye göre sağlanmaktadır. DBYBHY esasları için TS648’e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen maksimum değer ÇYTHYE’ye göre elde edilen maksimum değerden X yönü için %6.27 daha yüksek, Y yönü için %0.19 daha düşük çıkmıştır. Burada yumuşak kat düzensizliği şartı X yönü için TS648’e göre sınır değerlere daha yakın çıkmıştır. ÇYTHYE’ye göre yapılan hesaplarda yumuşak kat düzensizliği maksimum değerleri incelendiğinde DBYBHY esasları için TBDY’ye göre X yönü için %0.35, Y yönü için %0.13 daha yüksek çıkmıştır.

ÇYTHYE'nin DBYBHY ve TBDY'ye göre analizleri karşılaştırıldığında sonuçların birbiriyle yakın olduğu görülmüştür.



Şekil 4.23. Çerçeve sistem modeline ait $\mp X$ yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği

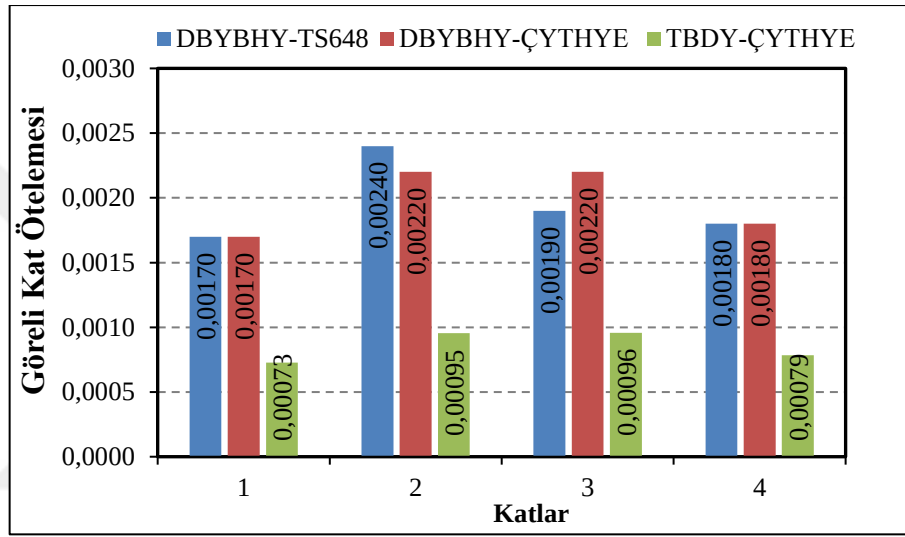


Şekil 4.24. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü için B2 yumuşak kat düzensizliği

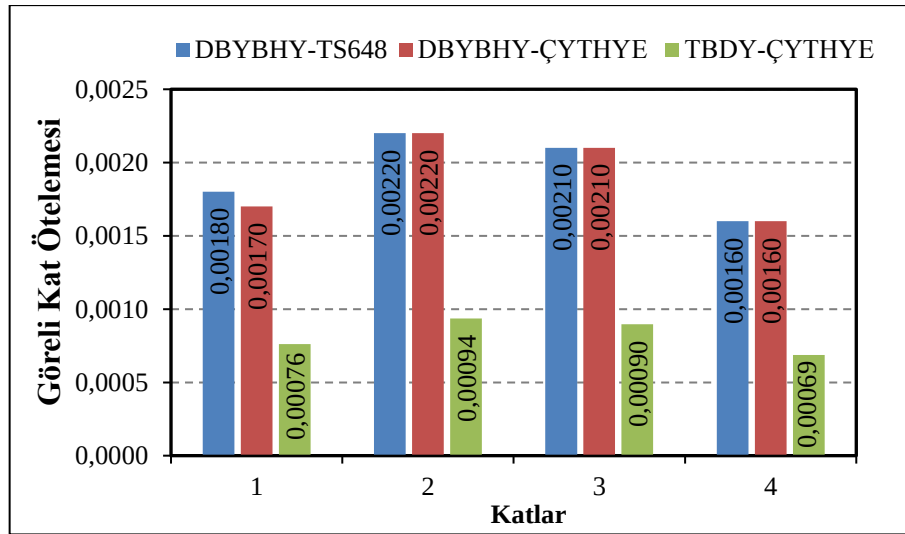
4.2.6 Göreli kat ötelemesi değerleri

Düşey çerçeve yapı modeline ait X yönü için Şekil 4.25, Y yönü için Şekil 4.26'da verilen maksimum göreli kat ötelemesi değerleri DBYBHY'ye göre karşılaştırıldığında TS648'e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değer ÇYTHYE'ye göre X yönü için %9 yüksek, Y yönü için ise aynı değerler çıkmıştır. DBYBHY'ye göre $\frac{(\delta_i)_{\max}}{h_i} \leq 0.02$ göreli kat ötelemesi kontrolü TS648 ve ÇYTHYE'ye göre sağlanmıştır. Aynı zamanda

TBDY'ye göre hesaplamalar sonucunda da görelî kat ötelemesi değeri- nin $\lambda^*(\delta_i)_{\max}/h \leq 0.016 \cdot K$ koşulunu sağladığı görülmektedir. ÇYTHYE'ye göre yapılan hesaplarda görelî kat ötelemesi değeri DBYBHY esasları için TBDY'ye göre X yönü için %155 daha yüksek çıkarken, Y yönü için %222 daha yüksek çıkmıştır. Aradaki farkın fazla çıkması ise TBDY'ye göre görelî kat hesabı yaparken görelî kat ötelemesi değeri- nin sıfırdan küçük λ katsayısı ile çarpılmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda TBDY göre elde edilen görelî kat ötelemesi değeri $0.016 \cdot K = 0.0008$ olarak elde edilen daha düşük değeri ile kontrol edilmektedir.



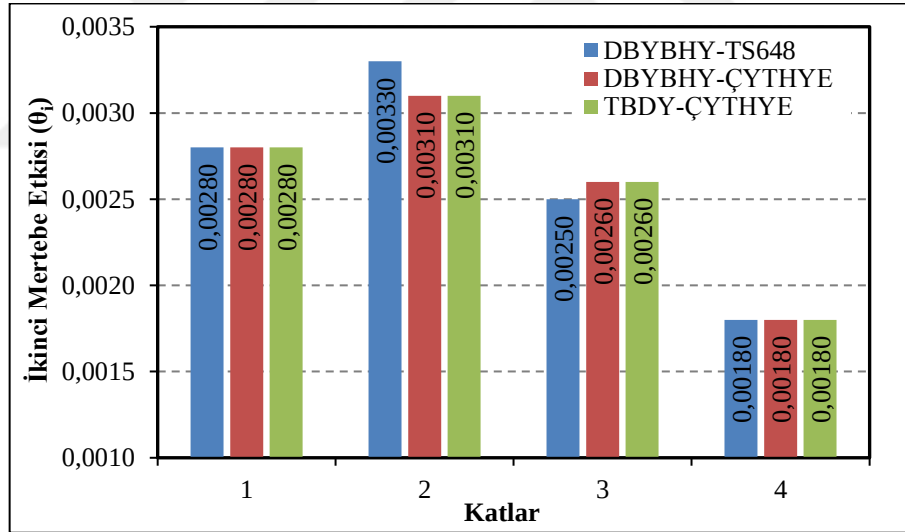
Şekil 4.25. Çerçeve sistem modeline ait $\mp X$ yönü görelî kat ötelemesi



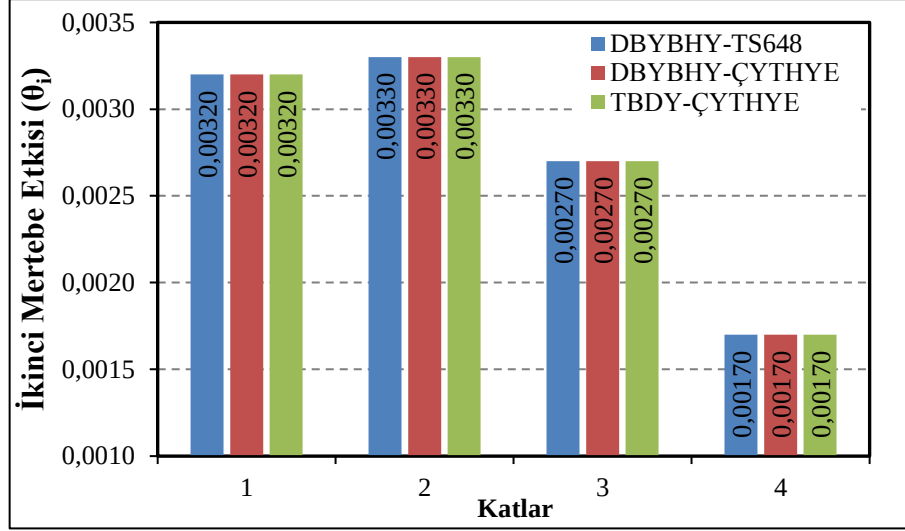
Şekil 4.26. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü görelî kat ötelemesi

4.2.7 İkinci mertebe etkileri

Düşey çerçeve yapı modeline ait X yönü için Şekil 4.27, Y yönü için Şekil 4.28’de verilen ikinci mertebe etkileri maksimum değerleri DBYBHY’ye göre karşılaştırıldığında TS648’e göre yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen değer ÇYTHYE’ye göre X yönü için %6.45, Y yönü için aynı değerler çıkmıştır. DBYBHY’ye göre $\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{j=1}^N W_j}{V_i h_i} \leq 0.12$ koşulu TS648 ve ÇYTHYE’ye göre sağlanmıştır. Aynı zamanda TBDY’ye göre hesaplamalar sonucunda da ikinci mertebe etkileri değerinin $\theta_i = \frac{(\Delta_i)_{ort} \sum_{k=1}^N W_k}{V_i h_i} \leq 0.12 \frac{D}{C_h R}$ koşulunu sağladığı görülmektedir. ÇYTHYE’nin DBYBHY ve TBDY esaslarına göre tasarımından elde edilen ikinci mertebe etkileri maksimum değerleri X ve Y yönü için aynı çıkmıştır. Burada tasarımlar arasındaki fark kat ağırlıklarından ve kat kesme kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. TS648’e göre yapılan hesapta yapı ağırlığı daha fazla olduğu için deplasman değerleride yüksek çıkmıştır.



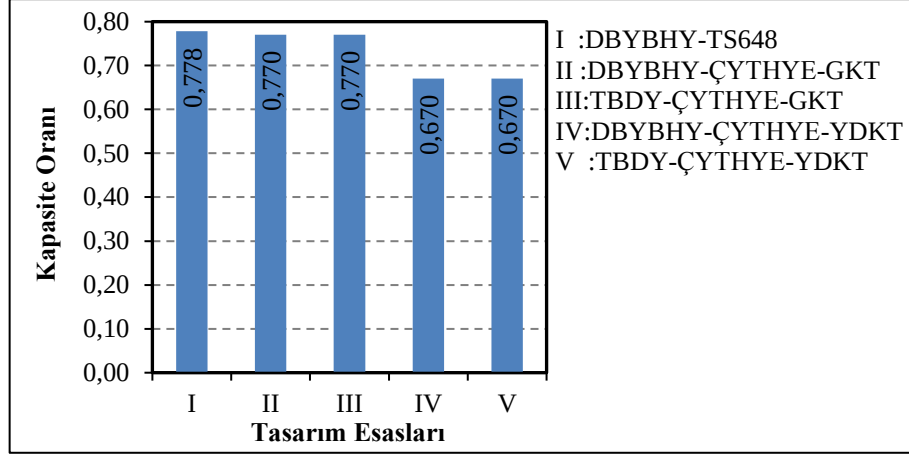
Şekil 4.27. Çerçeve sistem modeline ait ±X yönü ikinci mertebe etkileri



Şekil 4.28. Çerçeve sistem modeline ait $\mp Y$ yönü ikinci mertebe etkileri

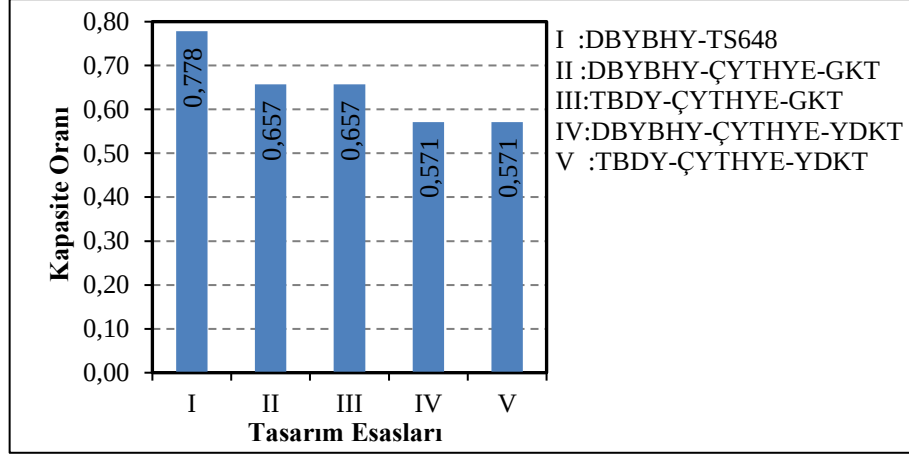
4.2.8 Kapasite oranları

Düşey çerçeve sistem modeline ait Şekil 4.29’da verilen ana kiriş kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %1 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %16 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %14.9 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.2.3.6.4, ÇYTHYE için Bölüm 3.2.4.7 ve 3.2.5.8’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648 ve GKT yöntemi için ölü yük, hareketli yük ve kar yükü, YDKT yöntemi için ise ölü yük, ve hareketli yük bulunmaktadır. Kapasite değerlerindeki bu farkın ilgili standart ve yönetmelikteki hesap içeriklerinden ve kombinasyon katsayılarından olduğu düşünülmektedir.



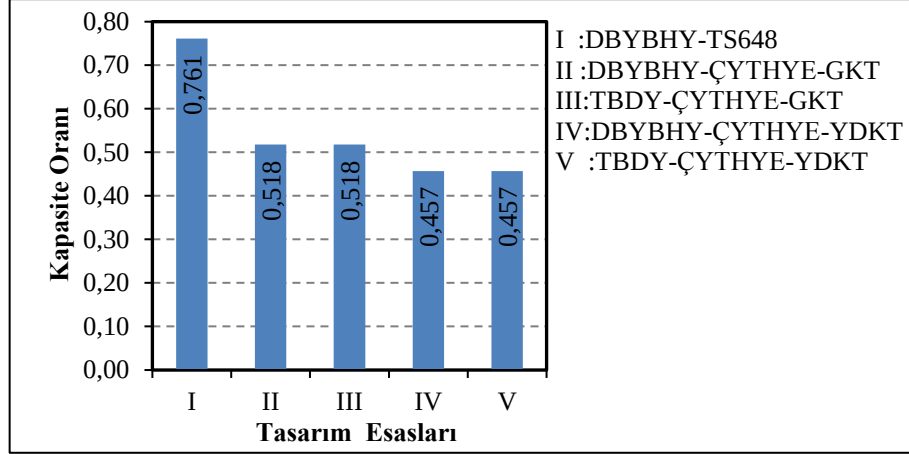
Şekil 4.29. Ana kiriş kapasite oranı (IPE330)

Düşey çerçeve sistem modeline ait Şekil 4.30’da verilen tali kiriş I kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %18.4 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %36.3 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %15.1 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.2.3.6.4, ÇYTHYE için Bölüm 3.2.4.7 ve 3.2.5.8’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648 için ölü yük, hareketli yük ve kar yükü, YDKT ve GKT yöntemi için ise ölü yük, hareketli yük ve rüzgâr yükü bulunmaktadır. Kapasite değerlerindeki bu farkın ilgili standart ve yönetmelikteki hesap içeriklerine ve kombinasyon katsayılarına bağlı olarak değiştiği ve TS648’in daha yüksek kapasite oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



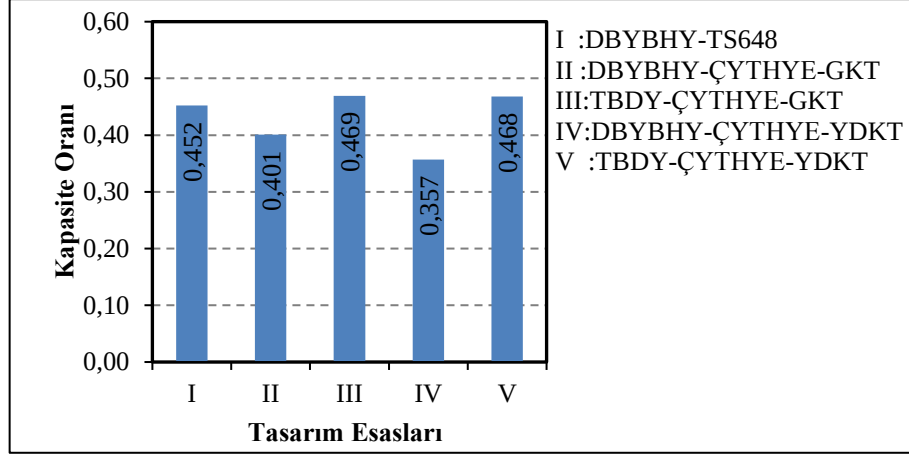
Şekil 4.30. Tali kiriş I kapasite oranı (IPN260)

Düşey çerçeve sistem modeline ait Şekil 4.31’de verilen tali kiriş II kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre %47 daha yüksek çıkarken YDKT yöntemine göre %66.5 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında hem DBYBHY hemde TBDY’ye göre aynı sonuçlar elde edilmiştir. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre %13.3 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.2.3.6.4, ÇYTHYE için Bölüm 3.2.4.7 ve 3.2.5.8’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648, YDKT ve GKT yöntemi için ölü yük, hareketli yük ve kar yükü bulunmaktadır. Kapasite değerlerindeki bu farkın ilgili standart ve yönetmelikteki hesap içeriklerine ve kombinasyon katsayılarına bağlı olarak değiştiği ve TS648’in daha yüksek kapasite oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



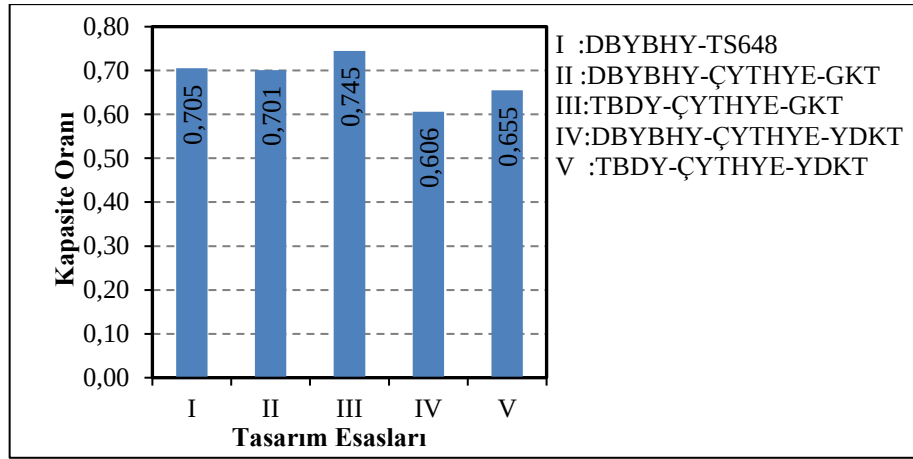
Şekil 4.31. Tali kiriş II kapasite oranı (IPE240)

Düşey çerçeve sistem modeline ait Şekil 4.32’de verilen çapraz kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648’e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %12.7 daha yüksek, TBDY esasları için %3.6 daha düşük çıkmıştır. YDKT yöntemine göre ise DBYBHY esasları için %26.6 daha yüksek, TBDY esasları için %3.4 daha düşük çıkmıştır. ÇYTHYE’ ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için elde edilen kapasite oranı TBDY esaslarına göre %23.7 daha düşüktür. GKT yöntemine göre ise DBYBHY esasları için elde edilen kapasite oranı TBDY esaslarına göre %14.5 daha düşüktür. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %12.3 daha yüksek çıkarken, TBDY esasları için ise %0.2 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.2.3.6.4, ÇYTHYE için Bölüm 3.2.4.7 ve 3.2.5.8’de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648, YDKT ve GKT için ölü yük, hareketli yük, kar yükü ve deprem yükü bulunmaktadır. Kapasite değerlerindeki bu farkın ilgili standart ve yönetmelikteki hesap içeriklerine ve kombinasyon katsayılarına bağlı olarak değiştiği ve TS648’in daha yüksek kapasite oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.32. Çapraz kapasite oranı (CHS139*8)

Düşey çerçeve sistem modeline ait Şekil 4.33'te verilen kolon kapasite oranı sonuçları incelendiğinde TS648'e göre yapılan hesaplarda kapasite oranı GKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %0.57 daha yüksek, TBDY esasları için %5.4 daha düşük çıkmıştır. YDKT yöntemine göre ise DBYBHY esasları için %16.3 daha yüksek, TBDY esasları için %7.6 daha yüksek çıkmıştır. ÇYTHYE'ye göre elde edilen kapasite oranlarına bakıldığında YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için elde edilen kapasite oranı TBDY esaslarına göre %7.5 daha düşüktür. GKT yöntemine göre ise DBYBHY esasları için elde edilen kapasite oranı TBDY esaslarına göre %5.9 daha düşüktür. GKT ve YDKT yöntemleri kendi arasında kıyaslandığında GKT yöntemi ile elde edilen kapasite oranı YDKT yöntemine göre DBYBHY esasları için %15.7 daha yüksek çıkarken, TBDY esasları için ise %13.7 daha yüksektir. Elde edilen bu sonuçlara göre TS648 için Bölüm 3.2.3.6.4, ÇYTHYE için Bölüm 3.2.4.7 ve 3.2.5.8'de verilen elverişsiz yükleme kombinasyonları incelendiğinde TS648 için ölü yük, hareketli yük ve kar yükü, YDKT ve GKT yöntemi için ise ölü yük, hareketli yük ve deprem yükü bulunmaktadır. Kapasite değerlerindeki bu farkın ilgili standart ve yönetmelikteki hesap içeriklerine ve kombinasyon katsayılarına bağlı olarak değiştiği ve TS648'in DBYBHY esasları için ÇYTHYE'ye göre daha yüksek kapasite oranına sahip olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.33. Kolon kapasite oranı (HEA240)

BÖLÜM V

SONUÇLAR

Bu çalışmada ilk olarak DBYBHY ilkeleri kullanılarak SAP2000 programında TS648 ve ÇYTHYE'ye göre hangar yapı modeli ve dört katlı düşey çerçeve sisteminin hesap ve tasarımı yapılmıştır. Daha sonra aynı model örnekleri TBDY ve ÇYTHYE'ye göre yinelenerek yeni deprem yönetmeliğinin çelik yapılar üzerinde etkisi incelenmiştir. Yapılan bu incelemeler sonucu elde edilen değerlendirmeler aşağıdaki gibidir.

TS648'e göre yapılan hesaplamalarda kar ve rüzgâr yükü hesaplamaları için TS498 ilkeleri dikkate alınırken, ÇYTHYE'ye göre yapılan hesaplamalarda kar yükü için TS-EN 1991-1-3, rüzgâr yükü hesabı için ise TS-EN 1991-1-4 ilkeleri dikkate alınmıştır. TS498'e göre yapılan kar yükü hesap değeri, TS-EN 1991-1-3'e göre yapılan kar yükü hesap değerinden daha yüksektir. Rüzgâr yükü hesap değerlerine bakıldığında TS-EN 1991-1-4'e göre yapılan hesap değeri TS498'e göre daha yüksektir.

Hangar yapı modeli ve çerçeve sistem modeline ait toplam yapı ağırlıklarına bakıldığında kar yükünün kütleye %30 dahil edilmesinden dolayı TS648'e göre hesaplanan yapı ağırlığı ÇYTHYE'ye göre daha fazla olmaktadır.

Yapılara ait periyot değerleri incelendiğinde yapıdaki eleman kesitlerinin sabit tutulmasından dolayı yapı rijitliğinin aynı olması ancak kar yükü hesap değerinin ÇYTHYE'ye göre TS648'de daha yüksek olması sebebiyle, TS648'e göre her iki model örneğinde de periyot değeri daha yüksek çıkmıştır.

Yapılara ait toplam kat kesme kuvvetlerine bakıldığında DBYBHY dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda TS648'e göre elde edilen toplam kat kesme kuvveti ÇYTHYE'ye göre daha fazladır. ÇYTHYE'nin TBDY ilkeleri dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen kat kesme kuvveti ise DBYBHY'ye göre daha yüksek çıkmıştır. Bu farkın ise TBDY'ye göre yapılan kat kesme kuvveti hesabında kullanılan formüldeki değişiklikten kaynaklandığı düşünülmektedir.

Görelî kat ötelemesi değerleri karşılaştırıldığında hangar yapı modeli ve düşey çerçeve sistem modelinde hem DBYBHY hem de TBDY'ye göre sınır değerler sağlanmakla birlikte DBYBHY ilkelerince TS648'e göre yapılan görelî kat ötelemesi değerleri ÇYTHYE'ye göre daha yüksektir. Bu fark ise TS648'e göre elde kat ağırlığının fazla olmasından ve TBDY'ye göre yapılan hesapta kat kesme kuvvetinde kullanılan formül içeriğindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

İkinci mertebe etkileri karşılaştırıldığında hangar yapı modeli ve düşey çerçeve sistem modelinde hem DBYBHY hem de TBDY'ye göre sınır değerler sağlanmakla birlikte DBYBHY ilkelerince TS648'e göre yapılan görelî kat ötelemesi değerleri ÇYTHYE'ye göre daha yüksektir. Bu fark ise TS648'e göre yapılan kat ağırlığının fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Çerçeve sistem modeline ait A1 burulma düzensizliği ve B2 yumuşak kat düzensizliği kontrollerine bakıldığında hem DBYBYH hem de TBDY ilkeleri gözönüne alınarak yapılan TS648 ve ÇYTHYE'ye göre tasarımda düşey çerçeve sistem modelinde sonuçlar yakın çıkmakla birlikte sınır değerler sağlanmıştır.

Hangar yapı modeline ait kapasite oranlarına ÇYTHYE'ye göre rüzgâr yüklerinin fazla geldiğı ön cephe kolonlarının kapasite oranları TS648'e göre daha yüksek çıkarken diğer yapı elemanların kapasite değerleri TS648'de daha yüksektir.

Çerçeve sistem modelinde DBYBHY ilkeleri dikkate alınarak yapılan tasarımda TS648 için elde edilen kapasite oranları ÇYTHYE'ye daha yüksektir. ÇYTHYE'nin DBYBHY ve TBDY'ye göre kesit kapasite oranına bakıldığında ise deprem yüklemesinin kesit için elverişsiz kombinasyonda bulunup bulunmamasına göre değişmektedir. Eğer elverişsiz kombinasyonda deprem yüklemesi bulunuyor ise TBDY için elde edilen kapasite oranı DBYBHY'ye göre daha yüksektir.

Yapılan bu çalışma sonucunda yukarıdaki karşılaştırma ve yorumlar dikkate alındığında genel olarak TS648'den elde edilen kapasite oranları daha yüksektir. Bu durum da tasarlanacak yapı her ne kadar güvenli tarafta da kalsa da ekonomiklikten uzaklaşmaktadır. ÇYTHYE'ye göre tasarımda hesap adımları ve sonuçlar incelendiğinde ise bir yapıyı olumsuz etkileyebilecek karmaşık etkiye sahip sistem ikinci mertebe etkileri

ve fiktif yük etkisi gibi farklı kompleks bileşenleri analize dahil ederek daha optimum çözüm olanağı sağladığı görülmektedir. Ayrıca ÇYTHYE'ye göre tasarımda statik paket programlarda kullanılacak analiz sistemi için ayrı ve detaylı bir başlık açılması tasarımcı mühendis için oldukça kolaylık ve netlik sağlamaktadır. ÇYTHYE'nin tasarım yöntemlerinden GKT ve YDKT yöntemine göre tasarım sisteme etkitilen ilave yüklere ve kombinasyon katsayılarına bağlı olarak yaklaşık sonuçları vermektedir. TBDY ise DBYBHY'ye göre bölgenin enlem ve boylam noktalarına bağlı olarak daha hassas çözüm olanağı sağlamaktadır.



KAYNAKLAR

AISC-ASD89, Allowable Stress Design, *American Institute of Steel Construction Chicago*, 1989.

Aktaş, A. Y., Çelik yapılarda “Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)” ve “Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)” yaklaşımlarının değerlendirilip karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s. 1-104, 2019

ANSI/AISC 360-10 (2010) Specification for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction*, Chicago, Il.

Ar, E., Çelik yapıların tasarım metodları ve bunların karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s.1-322, 2009

Aydın, M.R. ve Günaydın, A., “Çelik yapılar açısından Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği taslağına bir bakış”, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, s. 3131-3239, 11-13 Ekim, 2017

Balkan, G., Türk, Amerikan ve Avrupa çelik standartlarının incelenmesi ve kıyaslanması, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, Eskişehir, s.1-138, 2007

Bingöl, C., Ağır sanayi yapısının AISC 360-10 ve TS648 yönetmeliklerine göre karşılaştırılmalı boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 1-90, 2014.

Çağatay, E., Çok katlı çelik yapıların tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s.1-171, 2006

ÇYTHYE 2018 Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, Ankara

ÇYTHYE Uygulama El Kılavuzu, 2017. Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik uygulama kılavuzu, **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, Ankara.

DBYBHY (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, **Çevre ve Şehircilik Bakanlığı**, Ankara.

Durmaz, M.G., Çelik yapıların stabilize analizi yaklaşımlarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 1-130, 2015

Ertaş, B., Taşıyıcı sistemi süneklik düzeyi yüksek kompozit kolonlu moment aktaran çelik çerçevelerden oluşan binalar için tasarım esaslarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, s. 1-116, 2018

Güçlü, G., Çok katlı bir çelik toplu konut binasının karşılaştırmalı tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 1-132, 2003.

Irgaç, F., Çok katlı çelik çerçeve türü bir taşıyıcı sisteminde eski ve güncel yönetmelik uygulamalarının karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, s.1-132, 2019

Özer, E., “Kapasite tasarımı ilkesi ve Türk deprem yönetmeliği”, Çağrılı Bildiriler, **6.Ulusal Deprem Yönetmeliği Konferansı**, İstanbul, s.257-266, 16-20 Ekim 2007,

Öz, D., Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapımına dair esaslar ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kuralları doğrultusunda çelik yapıların tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s.1-170, 2018

Pınarbaşı, S., ve Nasrat, M.S., “I-enkesitli çelik hadde eğilme elemanları için eski ve yeni Türk tasarım dokümanlarındaki esasların karşılaştırılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, s.369-385, 2020

TBDY Eğitim El Kitabı, 2018. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, Ankara.

TS 648 (1980) Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1991-1-3 Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-3:Genel Etkiler – Kar Yükleri *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS EN 1991-1-4 Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4:Genel Etkiler – Rüzgâr Yükleri *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

TS-498, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1997

Ülker, M. ve Savaş, S., “AISC 360-10 ve Türk deprem yönetmeliğine göre çelik yapıların tasarımı” *Fırat Üni. Müh. Dergisi* 30(1), 21-32, 2018

Ünal, M.Ç., Çelik Yapıların Farklı Standartlara Göre Karşılaştırmalı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, s. 1-110, 2015

ÖZGEÇMİŞ

Asiye Karayer 10.12.1995 tarihinde Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bünyan’da tamamladı. 2013 yılında girdiği Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2017 yılından beri Kayseri’de proje ofisinde çalışmaktadır.



