



T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİ TİPİ ÇELİK YAPILARIN FARKLI RÜZGAR
YÖNETMELİKLERİNE GÖRE YAPISAL
ANALİZLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan KÜNİ

ŞIRNAK, 2025



T.C.
ŞIRNAK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENDÜSTRİ TİPİ ÇELİK YAPILARIN FARKLI RÜZGAR
YÖNETMELİKLERİNE GÖRE YAPISAL
ANALİZLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan KÜNİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Behram UĞUR

ŞIRNAK, 2025

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu tez çalışmasının Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlandığını, bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılıyıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımınla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Hakan KÜNİ



TEZ YAZIM KILAVUZUNA UYGUNLUK

Endüstri Tipi Çelik Yapıların Farklı Rüzgar Yönetmelikleri Kullanılarak Yapısal Analizlerinin Karşılaştırılması adlı Yüksek Lisans Tezi, Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Danışman

Hakan KÜNİ

İbrahim Behram UĞUR

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Başkanı

Unvanı Adı SOYADI

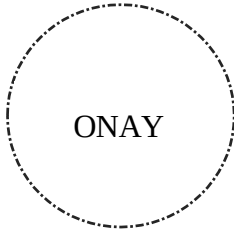
KABUL VE ONAY SAYFASI

İbrahim Behram UĞUR danışmanlığında Hakan KÜNİ tarafından hazırlanan “Endüstri Tipi Çelik Yapıların Farklı Rüzgar Yönetmeliklerine Göre Yapısal Analizlerinin Karşılaştırılması” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Şırnak Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Ana Bilim Dalı’nda **Yüksek Lisans** olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jürisi	Unvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Jüri Başkanı	Doç. Dr. Sedat ÖZCANAN	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Behram UĞUR	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Gülay Yalçın BAYAR	(Online)

Savunma Tarihi: 28 / 02 / 2025

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun ../../.... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. İbrahim HÜSEYİNİ

ÖN SÖZ/TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, değerli katkılarıyla çalışmamın gelişimine destek olan ve karşılaştığım her sorunda sabırla rehberlik ederek bu süreci daha verimli hale getiren danışman hocam Dr. İbrahim Behram UĞUR'a gönülden teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, bana yalnızca akademik anlamda değil, aynı zamanda yaşam yolculuğumda da rehberlik eden değerli aileme teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışmam boyunca fikirleri ve önerileriyle bana destek olan arkadaşlarım İnşaat Mühendisi Serhat Ergül, Ebubekir Dağlı ve Umut Satıcı'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ix
ABSTRACT	x
TABLolar LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
SİMGELER LİSTESİ	xvii
KISALTMALAR LİSTESİ	xx
GİRİŞ	1
1.1. Rüzgarın Oluşumu ve Etkileri	2
1.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi	4
1.3. Literatür Taraması	5
2. MATERYAL VE METOT	8
2.1. TS 498 Rüzgar Yük Hesaplamaları	8
2.1.1. Rüzgar basıncı	9
2.1.2. Emme basıncı	9
2.2. Eurocode 1-4 Rüzgar Yük Hesaplamaları	10
2.2.1. Rüzgar Basıncı Hesabı	11
2.2.2. Duvarlara Etki Eden Rüzgâr Yükünün Şematik Gösterimi	14
2.2.3. Düz Çatılarda Rüzgar	17
2.2.4. Çift Eğimli Çatılarda Rüzgar	19
2.3. ASCE 7-10 Rüzgar Yük Hesaplamaları	22
2.3.1. Rüzgar Hız Basıncı	23
2.3.2. Rüzgar Basıncı	26
2.4. Çelik Yapı Tasarım Yöntemleri ve Çalışma Kapsamı	29
2.4.1. Malzeme Özellikleri	30
2.4.2. Tasarım Prensipleri	31
2.5. SAP2000 Programı	33
2.5.1. Endüstri tipi çelik yapı modelleri	33
2.5.2. Yapıya Etki Eden Yükler	37
2.5.3. SAP 2000 Tasarım spektrum girdileri	47
2.5.4. Yük Birleşimleri	52
3. MODELLERDE İLGİLİ STANDARTLARA GÖRE RÜZGAR YÜK HESAPLAMALARI	55

3.1.	TS 498 Standardına Göre Çözüm	55
3.1.1.	W _x yönünde (0° açıyla) rüzgar yük hesabı	56
3.1.2.	W _y yönünde (90° açıyla) rüzgar yük hesabı	56
3.1.3.	Düz çatılar için rüzgar yük hesabı	57
3.2.	Eurocode 1-4 Standardına Göre Çözüm	61
3.2.1.	Rüzgarın W _x (0°) yönünde esmesi durumu	62
3.2.2.	Rüzgarın W _y (90°) yönünde esmesi durumu	63
3.2.3.	Çift eğimli çatılarda rüzgar yükü	64
3.2.4.	Düz çatılarda rüzgar yükü.....	65
3.3.	ASCE 7-10 Standardına Göre Çözüm.....	68
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	82
4.1.	Kütle Katılım Oranları	82
4.2.	Düşey Çaprazlar ve Yatay Çaprazlar İçin Gerilme Kontrolü.....	83
4.3.	Yapı Deplasmanı.....	89
4.4.	Düşey Çaprazlar İçin Yer Değiştirme Kontrolü	89
4.5.	Yatay Çaprazlar İçin Yer Değiştirme Kontrolü	90
4.6.	Kolonlar İçin Göreli Kat Ötelenmesi Kontrolleri	91
4.7.	Sehim Kontrolü.....	95
4.8.	Rüzgar Ve Deprem Deplasman Kontrolü.....	97
4.9.	Seçilen Kesitler ve Etkileşim Oranları	99
4.10.	Yapı Ağırlıkları	109
4.11.	Taban Kesme Kuvvetleri	112
4.12.	Düşey Yer Değiştirme Değerleri	114
4.13.	Rüzgar Deplasman Değerleri	115
4.14.	Rüzgar ve Deprem Deplasmanlarının Karşılaştırılması	116
5.	SONUÇLAR	120
6.	KAYNAKÇA.....	122

ÖZET

ENDÜSTRİ TİPİ ÇELİK YAPILARIN FARKLI RÜZGAR YÖNETMELİKLERİNE GÖRE YAPISAL ANALİZLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

KÜNİ, Hakan

Yüksek Lisans, İnşaat Bölümü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Behram UĞUR

Şubat 2025

Rüzgar yükleri, çelik yapıların dayanımını etkileyen başlıca yük türlerinden biridir. Bu yüklerin doğru hesaplanarak tasarım sürecinde dikkate alınması, yapı güvenliği açısından kritik önem taşımaktadır. Bu tez kapsamında, üç farklı endüstriyel çelik yapı modeline, Türk Standardı TS 498, Avrupa Birliği standardı Eurocode 1-4 ve Amerika Birleşik Devletleri standardı ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers) esas alınarak hesaplanan rüzgar yükleri uygulanmıştır. Çalışmanın temel amacı, söz konusu yönetmeliklere göre gerçekleştirilen rüzgar yükü hesaplamalarındaki farklılıkları incelemek ve bu farklılıkların yapı modelleri üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Bu doğrultuda, incelenen endüstriyel yapıların statik analizleri SAP2000 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tasarımlar, “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları – 2016” (ÇYTHYE 2016) standardına uygun biçimde yapılmıştır. Deprem yükleri ise “Türk Bina Deprem Yönetmeliği – 2018” (TBDY 2018) çerçevesinde belirlenerek yapı modeline etkilmiştir. Üç farklı rüzgar yönetmeliğine göre yapılan analizler sonucunda taşıyıcı elemanların dayanım oranları, deplasman değerleri ve yapı ağırlıkları gibi parametreler tablo ve grafikler aracılığıyla sunulmuş; bu sayede üç farklı rüzgar yönetmeliğinin incelenen endüstriyel çelik yapılar üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Bu araştırma, incelenen üç rüzgar yönetmeliğinin üç farklı endüstri tipi çelik yapılar üzerindeki etkilerini karşılaştırarak, bu alanda yapılan çalışmalara katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar yükleri, TS 498, ASCE 7-10, Eurocode 1-4, Endüstriyel Çelik Yapılar, Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları – 2016.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURAL PERFORMANCE OF INDUSTRIAL STEEL BUILDINGS ACCORDING TO DIFFERENT WIND CODES

KUNI, Hakan

Master's Degree, Civil Engineering

Supervisor: Dr. Lecturer Ibrahim Behram UGUR

February 2025

Wind loads are one of the main load types affecting the strength of steel structures. The accurate calculation and consideration of these loads in the design process are critically important for structural safety. In this thesis, wind loads calculated based on Turkish Standard TS 498, European Union standard Eurocode 1-4, and United States standard ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers) are applied to three different industrial steel structure models. The main objective of the study is to examine the differences in the wind load calculations performed according to these regulations and to investigate the effects of these differences on the structural models. In this regard, static analyses of the industrial structures were carried out using SAP2000 software, and the designs were made in accordance with the “Principles of Design, Calculation, and Construction of Steel Structures – 2016” (ÇYTHYE 2016) standard. Earthquake loads were determined in accordance with the “Turkish Building Earthquake Regulations – 2018” (TBDY 2018) and applied to the structural model. As a result of the analyses performed according to three different wind regulations, parameters such as the strength ratios of load-bearing elements, displacement values, and structural weights are presented through tables and graphs; thus, the effects of the three different wind regulations on the examined industrial steel structures are discussed comparatively. This research aims to contribute to the studies in this field by comparing the effects of the three examined wind regulations on three different types of industrial steel structures.

Keywords: Wind Loads, TS 498, ASCE 7-10, Eurocode 1-4, Industrial Steel Structures, Turkish Earthquake Building Code-2018, Steel Structure Design, Calculation, and Construction Principles – 2016.

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Modellerle ilişkin genel bilgiler.....	35
Tablo 2. Rüzgarın 0° açıyla esmesi durumunda dış basınç katsayı değeri.....	63
Tablo 3. Rüzgarın 90° açıyla esmesi durumunda dış basınç katsayı değeri.....	64
Tablo 4. Rüzgarın Wx 0° açıyla esmesi durumunda dış basınç katsayıları	64
Tablo 5. Rüzgarın Wy 90° açıyla esmesi durumunda dış basınç katsayıları	65
Tablo 6. Düz çatılar için dış basınç katsayıları	65
Tablo 7. Model A Wx (0°) yönünde rüzgar basınç değeri.....	69
Tablo 8. Model A Wy (90°) yönünde rüzgar basınç değeri	69
Tablo 9. Model B Wx (0°) yönünde rüzgar basınç değeri.....	70
Tablo 10. Model B Wy (90°) yönünde rüzgar basınç değeri	70
Tablo 11. Model C Wx (0°) yönünde rüzgar basınç değeri	71
Tablo 12. Model C Wy (90°) yönünde rüzgar basınç değeri	71
Tablo 13. Model A düşey deplasman hesaplamaları.....	96
Tablo 14. Model A yatay deplasman hesaplamaları	97
Tablo 15. Model A için kullanılan yönetmelikler ve uygun kesitler	110
Tablo 16. Model B için kullanılan yönetmelikler ve uygun kesitler	110
Tablo 17. Model C için kullanılan yönetmelikler ve uygun kesitler	111
Tablo 18. Model A - rüzgar standartlarının taban kesme kuvvetleri.....	112
Tablo 19. Rüzgarın çatı mahyasına dik gelmesi durumunda duvarlarda oluşan rüzgar basınç değeri.....	117
Tablo 20. Rüzgarın çatı mahyasına dik gelmesi durumunda çatıda oluşan rüzgar basınç değeri.....	118
Tablo 21. Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelmesi durumunda duvarlarda oluşan rüzgar basınç değeri.....	118
Tablo 22. Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelmesi durumunda çatıda oluşan rüzgar basınç değeri.....	118
Tablo 23. Rüzgarın çatı mahyasına dik gelmesi durumunda çatıda oluşan rüzgar basınç değeri.....	119

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Leyte Kongre Merkezi'nin Hasarı, Palo, Leyte, Filipinler (Haiyan Tayfunu, 2013; Yang et al., 2018).....	3
Şekil 2. Rüzgar etkisiyle meydana gelen çatı hasarı, Tanauan Okulu, Leyte, Filipinler. (Haiyan Tayfunu, 2013; Yang et al., 2018)	3
Şekil 3. Çin'in güneydoğusunda meydana gelen Caihong Tayfunu (Yang & Bai, 2017).	3
Şekil 4. TS498 Rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistemde dağılımı	8
Şekil 5. h ve b değerlerine bağlı olarak Ze referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgar basıncı (TS EN 1991-1-4 , 2007)	15
Şekil 6. Düşey duvarlar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 , 2007).....	16
Şekil 7. Düz çatılar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 , 2007).....	17
Şekil 8. Çift eğimli çatılar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 , 2007).....	19
Şekil 9. Rüzgar yük dağılımı (ASCE 7-10, 2010)	28
Şekil 10. Çift Eğimli Düzlem (Trapez) Kafes Sitemi (Model A).....	36
Şekil 11. Dolu gövdeli/profil kiriş sistemi (Model B)	36
Şekil 12. Düzlem Yüzeyli Uzak Kafes Sistem (Model C).....	37
Şekil 13. Türkiye kar haritası (TS EN 1991-1-3, 2007).....	39
Şekil 14. Model A - kar yüklemesi (kN/m^2).....	41
Şekil 15. Model C - kar yüklemesi (kN/m^2)	41
Şekil 16. Model A “T(+20°C)” Yükleme	42
Şekil 17. Model A “T(-20°C)” Yükleme	42
Şekil 18. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2025)	43
Şekil 19. Sismik veri değerleri (AFAD, 2025).....	47
Şekil 20. SAP2000 Sismik Model Girdileri 1	48
Şekil 21. SAP2000 Sismik Model Girdileri 2	48
Şekil 22. SAP2000 Sismik Model Girdileri 3	49
Şekil 23. SAP2000 Sismik Model Girdileri 4	49
Şekil 24. SAP2000 Sismik Model Girdileri 5	50
Şekil 25. SAP2000 Sismik Model Girdileri 6	50
Şekil 26. TS498 Rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistemde dağılımı	55
Şekil 27. Wx yönünde (0° açıyla) etkiyen rüzgar yükü	56
Şekil 28. Wy yönünde (90° açıyla) etkiyen rüzgar yükü	57

Şekil 29. Model A “W _x (+)” rüzgar yüklemesi.....	58
Şekil 30. Model A “W _y (+)” rüzgar yüklemesi.....	58
Şekil 31. Model B “W _x (+)” rüzgar yüklemesi	59
Şekil 32. Model B “W _y (+)” rüzgar yüklemesi.....	59
Şekil 33. Model C “W _x (+)” rüzgar yüklemesi	60
Şekil 34. Model C “W _y (+)” rüzgar yüklemesi.....	60
Şekil 35. Eurocode 1-4 Model A “W _x (+)” rüzgar yüklemesi	66
Şekil 36. Eurocode 1-4 Model A “W _y (+)” rüzgar yüklemesi	66
Şekil 37. Eurocode 1-4 Model C “W _x (+)” rüzgar yüklemesi.....	67
Şekil 38. Eurocode 1-4 Model A “W _y (+)” rüzgar yüklemesi	67
Şekil 39. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve +W _x , GC _{pi} = +0.18 durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²)	72
Şekil 40. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve +W _x , GC _{pi} = +0.18 durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²).....	72
Şekil 41. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve +W _x , GC _{pi} = -0.18 durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²)	73
Şekil 42. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve +W _x , GC _{pi} = -0.18 durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²).....	73
Şekil 43. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve +W _y , GC _{pi} = +0.18 durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²)	73
Şekil 44. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve +W _y , GC _{pi} = +0.18 durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²).....	74
Şekil 45. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve +W _y , GC _{pi} = -0.18 durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²)	74
Şekil 46. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve +W _y , GC _{pi} = -0.18 durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²).....	74
Şekil 47. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve +W _x , GC _{pi} = +0.18 durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²)	75
Şekil 48. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve +W _x , GC _{pi} = +0.18 durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²).....	75
Şekil 49. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve +W _x , GC _{pi} = -0.18 durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m ²)	75

Şekil 50. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2).....	76
Şekil 51. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)	76
Şekil 52. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2).....	76
Şekil 53. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)	77
Şekil 54. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2).....	77
Şekil 55. Model A “ $+W_x(+0.18)$ ” rüzgar yüklemesi	78
Şekil 56. Model A “ $+W_x(-0.18)$ ” rüzgar yüklemesi	78
Şekil 57. Model A “ $+W_y(+0.18)$ ” rüzgar yüklemesi.....	79
Şekil 58. Model A “ $+W_y(-0.18)$ ” rüzgar yüklemesi.....	79
Şekil 59. Model C “ $+W_x(+0.18)$ ” rüzgar yüklemesi	80
Şekil 60. Model C “ $+W_x(-0.18)$ ” rüzgar yüklemesi	80
Şekil 61. Model C “ $+W_y(+0.18)$ ” rüzgar yüklemesi	81
Şekil 62. Model C “ $+W_y(-0.18)$ ” rüzgar yüklemesi	81
Şekil 63. Model A için x ve y doğrultusunda kütle katılım oranları	82
Şekil 64. Model B için x ve y doğrultusunda kütle katılım oranları	83
Şekil 65. Model C için x ve y doğrultusunda kütle katılım oranları	83
Şekil 66. Model A düşey çaprazlarda gerilme kontrolü	84
Şekil 67. Düşey çapraz için sap2000 hesap detayı.....	86
Şekil 68. Model A yatay çaprazlarda gerilme kontrolü.....	88
Şekil 69. Yatay çapraz için sap2000 hesap detayı.....	88
Şekil 70. Model A için düşey yer değiştirme kontrolü.....	89
Şekil 71. Model A Düşey çaprazlar için yer değiştirme kontrolü, $1.0 \cdot \beta \cdot S_x + 0.3 \cdot \beta \cdot S_y$ yükleme durumunda.....	90
Şekil 72. Model A Düşey çaprazlar için yer değiştirme kontrolü, $1.0 \cdot \beta \cdot S_y + 0.3 \cdot \beta \cdot S_x$ yükleme durumunda.....	90
Şekil 73. Model A yatay çaprazlar için yer değiştirme kontrolü.....	91
Şekil 74. Model A kolonlar için görelî kat ötelenmesi kontrolleri.....	92
Şekil 75. $1.0 \cdot \beta \cdot S_x + 0.3 \cdot \beta \cdot S_y$ deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirme ..	92

Şekil 76. X deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri.....	93
Şekil 77. Y deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri	94
Şekil 78. Model A (G+0.5S) kombinasyonu için düşey deplasman değerleri	95
Şekil 79. Model A (S) yüklemesi için düşey deplasman değeri.....	95
Şekil 80. Model A (G+0.5Q+W _x +) kombinasyonu için yatay deplasman değerleri	96
Şekil 81. Model A (G+0.5Q+W _y +) kombinasyonu için yatay deplasman değerleri	96
Şekil 82. G+0.5Q+W(+x) rüzgar deplasman kontrolü.....	97
Şekil 83. 1.2G+1.Q+0.2S+1.0β·S _x +0.3β·S _y deplasman kontrolü	97
Şekil 84. G+0.5Q+W(+y) rüzgar deplasman kontrolü.....	98
Şekil 85. 1.2G+1.Q+0.2S+1.0β·S _y +0.3β·S _x deplasman kontrolü	98
Şekil 86. Model A AISC 360-16 Eurocode 1-4 standardına uygun seçilen kesitler	100
Şekil 87. Model A Elemanların AISC 360-16 Eurocode 1-4'e göre etkileşim oranları	101
Şekil 88. Model A AISC 360-16 TS 498 standardına uygun seçilen kesitler	101
Şekil 89. Model A Elemanların AISC 360-16 TS 498'e göre etkileşim oranları.....	102
Şekil 90. Model A AISC 360-16 ASCE 7-10 standardına uygun seçilen kesitler.....	102
Şekil 91. Model A Elemanların AISC 360-16 ASCE 7-10'a göre etkileşim oranları.....	103
Şekil 92. Model B AISC 360-16 Eurocode 1-4 standardına uygun seçilen kesitler	103
Şekil 93. Model B Elemanların AISC 360-16 Eurocode 1-4'e göre etkileşim oranları	104
Şekil 94. Model B AISC 360-16 TS 498 standardına uygun seçilen kesitler	104
Şekil 95. Model B Elemanların AISC 360-16 TS 498'e göre etkileşim oranları	105
Şekil 96. Model B AISC 360-16 ASCE 7-10 standardına uygun seçilen kesitler	105
Şekil 97. Model B Elemanların AISC 360-16 ASCE 7-10'a göre etkileşim oranları.....	106
Şekil 98. Model C AISC 360-16 Eurocode 1-4 standardına uygun seçilen kesitler	106
Şekil 99. Model C Elemanların AISC 360-16 Eurocode 1-4'e göre etkileşim oranları	107
Şekil 100. Model C AISC 360-16 TS 498 standardına uygun seçilen kesitler	107
Şekil 101. Model C Elemanların AISC 360-16 TS 498'e göre etkileşim oranları	108
Şekil 102. Model C AISC 360-16 ASCE 7-10 standardına uygun seçilen kesitler	108
Şekil 103. Model C Elemanların AISC 360-16 ASCE 7-10'a göre etkileşim oranları.....	109
Şekil 104. Yapı ağırlıkları	111
Şekil 105. Model A için ilgili standartlara göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri (kN)....	113
Şekil 106. Model B için ilgili standartlara göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri (kN)....	113
Şekil 107. Model A için ilgili standartlara göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri (kN)....	114
Şekil 108. G+0.5S yüklemesi için düşey yer değiştirme değerleri	115
Şekil 109. Eurocode 1-4 rüzgar deplasman değerleri	115

Şekil 110. Model A'nın deprem ve rüzgar deplasman değerleri	116
Şekil 111. Model B'nin deprem ve rüzgar deplasman değerleri	116
Şekil 112. Model C'nin deprem ve rüzgar deplasman değerleri.....	117



SİMGELER LİSTESİ

C_{dir}	Doğrultu katsayısı
C_e	Maruz kalma katsayısı
C_p	Dış basınç katsayısı
$C_r(Z)$	Engebelik katsayısı
C_{season}	Mevsim Katsayısı
C_t	Isı katsayısı
$C_0(Z)$	Orografi katsayısı
$DD - 1$	50 yılda aşılma olasılığı %2 (tekrarlanma periyodu 2475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
$DD - 2$	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
$DD - 3$	50 yılda aşılma olasılığı %50 (tekrarlanma periyodu 72 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
$DD - 4$	50 yılda aşılma olasılığı %68 (tekrarlanma periyodu 43 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
E	Çelik elastisite modülü
E	Deprem etkisi
F_e	Elastik burkulma gerilmesi
F_y	Akma gerilmesi
F_u	Çekme dayanımı
F_e	Kritik burkulma kuvveti
G	Sabit yük
G	Fırtına etki faktörü
g	Yerçekimi İvmesi
GC_{pi}	İç basınç katsayısı
H_N	Bina yüksekliği
I	Bina Önem Katsayısı
$I_v(Z)$	Rüzgar türbülans şiddeti
i_c	Dönme yarıçapı

K_d	Rüzgar doğrultu faktörü
k_l	Türbülans katsayısı
k_r	Arazi katsayısı
K_z	Maruz kalma katsayısı
K_{zt}	Topoğrafik faktör
L_c	Burkulma boyu
L_e	Elemanın burkulma uzunluğu
m	Metre
M_d	Tasarım eğilme moment dayanımı
mm	Milimetre
M_n	Karakteristik eğilme momenti dayanımı
p_n	karakteristik basınç kuvvet dayanımı
q	Rüzgar basıncı
q_i	Ortalama çatı yüksekliğinde hesaplanan rüzgar hız basıncı
q_p	Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı
q_z	Rüzgar Hız Basıncı
Q	Hareketli yük
Q_r	Çatı hareketli yükü
R	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
R_a	GKT yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli dayanım
R_n	Karakteristik dayanım
R_u	YDKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanım
S	Kar yükü
S_{D1}	1.0 Saniye Periyot İçin Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
S_{aR}	Azaltılmış Tasarım Spektral İvmesi
S_{ae}	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
S_k	Karakteristik zemin kar yükü değeri
S_s	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	Doğal titreşim periyodu
V_b	Esas rüzgâr hızı
V_{b0}	Esas rüzgâr hızının temel değeri

V_m	Ortalama rüzgâr hızı
W	Rüzgar yükü
Z_0	Engbelik uzunluğu
μ_i	Kar yükü şekil katsayısı
$\delta_{i,maks}^x$	i. kattaki maksimum yatay deplasman
ϕ	Dayanım katsayısı
ρ	Rakıma bağlı hava yoğunluğu



KISALTMALAR LİSTESİ

ASCE	: American Society of Civil Engineers
BKS	: Bina Kullanım Sınıfı
BYS	: Bina Yükseklik Sınıfı
ÇYTHYE	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
GKT	: Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
SAP	: Structural Analysis Program
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standardı
TS 498	: Yapı Elemanların Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS EN 1991-1-3	: Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-3: Genel Etkiler- Kar Yükleri
TS EN 1991-1-4	: Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Yükleri
YDKT	: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

GİRİŞ

Çelik, birim ağırlık başına yüksek mukavemeti nedeniyle, betonarme gibi geleneksel yapı malzemelerine kıyasla daha hafif ve dayanıklı bir seçenek sunmakta olup, bu özelliği sayesinde mimari açıdan daha esnek ve karmaşık tasarımların hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirilmesine olanak tanımaktadır. Fabrikalar, spor tesisleri ve depolar gibi çeşitli yapı türlerinde çelik yapılar, hızlı inşa edilebilmeleri ve yüksek taşıma kapasitesi sunmaları nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir.

Endüstriyel çelik yapılar, dünya genelinde nüfus artışıyla birlikte artan insan gücü ve üretim ihtiyacını karşılamak amacıyla giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu yapılar, teknolojik makinelerle insan emeğinin bir arada uyum içinde çalışabileceği, doğal afetlere karşı güvenli ve büyük yapılar olarak öne çıkmaktadır. (Azıtepe & Sözen, 2022). Çoğunlukla şehir dışındaki geniş arazilerde inşa edilen endüstriyel çelik yapılar, sağlamlıkları ve dayanıklılıklarıyla tanınmakta ve farklı sektörlerde çeşitli işlevlerle kullanılmaktadır. Modern inşaat teknolojileriyle entegre edilen bu yapılar, hem insan yaşam kalitesini artırmak hem de ekonomik kalkınmaya katkıda bulunmak amacıyla tasarlanmaktadır.

Çelik endüstri yapılarının açık alanlarda yaygın olarak tercih edilmeleri nedeniyle rüzgar yüklerine maruziyeti artmakta, bu da yapısal tasarım sürecinde rüzgar etkisinin detaylı bir şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Endüstriyel çelik yapılar, özellikle rüzgarın hızına bağlı olarak yatay yüzeylere doğrudan etki eden rüzgar yüklerinden etkilenir. Bu etkiler, yapının rüzgar yüklerine karşı gösterdiği tepkilerle doğrudan ilişkilidir. Rüzgarın şiddetinin arttığı durumlarda, yapının stabilitesi büyük bir tehdit altına girebilir. Yüksek rüzgar hızları, yapının devrilmesine, çökmesine veya önemli ölçüde hasar görmesine yol açabilecek potansiyele sahiptir. Rüzgarın etkisi, özellikle büyük açıklıklara sahip çelik yapılar gibi yapı türlerinde daha belirgin hale gelir. Bu tür yapılarda, rüzgar yüklerinin oluşturduğu kuvvetler, yapı elemanları üzerinde yüksek gerilmeler meydana getirebilir ve bu gerilmeler, yapı elemanlarının deformasyonuna veya yapısal zayıflıklara yol açabilir. Bu nedenle, rüzgar yüklerinin doğru bir şekilde hesaplanması ve yapıların bu yükler karşısında tasarlanması, yapıların güvenliğini sağlamak için kritik bir öneme sahiptir.

1.1. Rüzgarın Oluşumu ve Etkileri

Rüzgar, atmosferdeki çeşitli dinamik süreçler sonucu oluşan yatay hava hareketidir ve farklı türleri (samyeli, poyraz, meltem, fön vb.) bulunmaktadır. Bu türler, sıcaklık farkları, topoğrafik yapılar ve Dünya'nın kendi eksenini etrafındaki dönüşünden kaynaklanan Coriolis kuvveti gibi çeşitli faktörlerden etkilenir. Rüzgarın oluşumundaki en temel faktör ise atmosferdeki basınç farklılıklarıdır. Hava kütleleri, atmosferdeki basınç farklılıklarından kaynaklanan kuvvetin etkisiyle, yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına doğru hareket eder. Bu hareket, basınç farklılıklarını dengelemeye yönelik bir hava akımı oluşturur ve oluşan bu hava akımına rüzgar adı verilir. Rüzgarın yönü ve şiddeti, basınç farkının büyüklüğüne ve atmosferik koşullara bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Dünya atmosferinde üç boyutlu hareketler bulunur. Düzensiz ısınma ve soğuma süreçlerini sonucunda ortaya çıkan bu hava hareket ölçekleri 100 km'den büyük olduğunda, büyük ölçeklerde yatay hız bileşeni (V), düşey hız bileşeninden (w) çok daha büyüktür. Bu nedenle, bu ölçeklerde "rüzgar" terimi, genellikle yatay hız bileşenini ifade etmek için kullanılır (Wallace & Hobbs, 2006).

Rüzgar, doğal bir atmosferik olgu olarak hem faydalı hem de yıkıcı etkilere sahiptir. Kontrollü ve verimli bir şekilde kullanıldığında, ulaşım ve enerji üretimi gibi alanlarda önemli avantajlar sunarak insan yaşamına çeşitli kolaylıklar sağlamaktadır. Ancak, rüzgarlar özellikle inşaat alanında değerlendirildiğinde yapılar üzerinde hasar verici ve yıkıcı etkileri oluşturmaktadır. Bu hasarlar, hem ekonomik kayıplara yol açabilmekte hem de insanlar için ciddi güvenlik riskleri oluşturabilmektedir. Bu hasarı en aza indirmek için mühendislerin, rüzgar yüklerinin etkilerini dikkate alarak, bu etkileri karşılayacak şekilde yapıların tasarlanması gerekmektedir.

Aşağıda, Şekil 1'de Palo, Leyte'deki Leyte Kongre Merkezi'ne ait çökmüş çelik çatı çerçevelerini göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere rüzgar yönündeki duvarda çok sayıda havalandırma açıklığı bulunmaktadır. Bu açıklıklardan giren hava akışından kaynaklı yapının içinde iç basınç oluşturarak çatıya etki eden kaldırma kuvveti artmıştır. Bu süreç sonucunda çatı kirişlerinin rüzgar yönündeki uçları yukarı kalkmış ve kiriş mesnetlerinden ayrılarak düşmüştür. (Yang et al., 2018)



Şekil 1. Leyte Kongre Merkezi'nin Hasarı, Palo, Leyte, Filipinler (Haiyan Tayfunu, 2013; Yang et al., 2018).

Aşağıda, Şekil 2'de Haiyan Tayfunu'nun etkisiyle Filipinler'in Leyte bölgesinde yer alan Tanauan Okulu'nda meydana gelen çatı hasarı gösterilmektedir.



Şekil 2. Rüzgar etkisiyle meydana gelen çatı hasarı, Tanauan Okulu, Leyte, Filipinler. (Haiyan Tayfunu, 2013; Yang et al., 2018)

Şekil 3'te, Çin'in güneydoğusunda meydana gelen Caihong Tayfunu sırasında ana taşıyıcı çerçevenin çöktüğü gözlemlenmiştir. Yapılan analizler, çerçeveyi oluşturan kirişlerin burkulma nedeniyle taşıma kapasitesini kaybettiğini ve bu durumun ana çerçevenin çökmesine yol açtığını ortaya koymaktadır. (Yang & Bai, 2017)



Şekil 3. Çin'in güneydoğusunda meydana gelen Caihong Tayfunu (Yang & Bai, 2017).

Yapılan incelemelerde, rüzgar yüklerinin yapısal tasarım ve güvenlik açısından büyük bir öneme sahip olduğu açık bir şekilde ortaya konulmuştur. Rüzgar yüklerinin, özellikle yüksek hızlara ulaştığı durumlarda, yapılar üzerinde ciddi basınçlar oluşturarak yapısal elemanlarda burkulma ve çökme gibi hasarlara yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, rüzgar yüklerinin doğru bir şekilde hesaplanıp yapıların bu yüklere karşı tasarlanması, can ve mal kayıplarını önlemek için büyük bir önem taşımaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Bu tez çalışmasında, üç farklı endüstriyel çelik yapı modeli tasarlanarak bu modellere üç ayrı rüzgar standardı (TS 498, Eurocode 1-4 ve ASCE 7-10) uygulanmıştır. Çalışmanın temel amacı, bu standartların rüzgar yükü hesaplama yöntemleri arasındaki farkları ortaya koymak, bu yöntemlerin yapısal davranış üzerindeki etkilerini incelemek ve elde edilen sonuçları karşılaştırmaktır. Çalışma kapsamında, SAP2000 gibi tüm dünyada kabul görmüş bir yapısal analiz programı kullanılarak modellenen endüstriyel çelik yapılara rüzgar yüklerinin yanı sıra deprem yükleri, kar yükleri (TS EN 1991-1-3 (Yapılar üzerindeki etkiler – Bölüm 1-3: Genel etkiler, kar yükleri), ölü yükler ve sıcaklık yüklemeleri etki ettirilmiştir. Deprem yükleri, yapının bulunduğu lokasyonu göz önüne alınarak Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndaki deprem verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Taşıyıcı sistem olarak üç farklı endüstriyel yapı modeli seçilerek, farklı taşıyıcı sisteme sahip yapıların farklı rüzgar yüklemeleri etkisindeki yapısal performansları değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında ele alınan yapı modelleri aşağıdaki gibidir:

- Çift eğimli düzlem (trapez) kafes sistem
- Dolu gövdeli/profil kiriş sistemi
- Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem

Bu çalışma, mevcut yönetmeliklerdeki farkların mühendislik pratiklerine etkisini değerlendirerek, yapı tasarımında hangi yönetmeliğin daha avantajlı olduğu konusunda mühendislik literatürüne katkı sağlamayı hedeflemektedir.

1.3. Literatür Taraması

Polat (2010), Rüzgarın meteorojik özelliklerini, rüzgar türbülansını, rüzgar yük hesaplamalarını ve hareketlerini incelemiştir. ASCE 7-05, Eurocode 1-4 ve TS 498 standartlarını kullanarak rüzgar basınçlarının bulunması hakkında yöntemleri örnekler üzerinde açıklamıştır. Çalışma kapsamında yapılan hesaplamalar sonucunda Eurocode 1-4'ün genel olarak ASCE 7-05'e göre daha etkin olduğu öne sürülmüştür.

Demir (2012), Geniş açıklıklara sahip çelik bir alışveriş merkezi yapısının, Avrupa standartları ve Türk standartları çerçevesinde farklı yük türleri için hesap yöntemlerini incelemiştir. Rüzgâr yükü, kar yükü, hareketli yük ve deprem yükü gibi etkileri, her iki standardın şartlarına uygun olarak analizlerini yapmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında, yapılan hesaplamalar ve tasarım sonucunda yapının toplam ağırlıkları, ilgili standartlara göre hesaplamıştır.

Gürses (2012), Eurocode 1-4 ve ASCE 7-05 yönetmeliğini çok katlı ve az katlı üç farklı örnek model üzerinde (kırık çatılı bir endüstri yapısı, tonoz çatılı bir endüstri yapısı ve çok katlı bir yapı üzerinde) incelemiştir. Son bölümde TS 498 yönetmeliği için ayrıca bir hesap yapılmış ve yapılar üzerindeki rüzgar basınçlarının hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. TS 498'in, Eurocode 1-4 ve ASCE 7-05'e göre yetersiz kaldığı ve Eurocode 1-4'ün, ASCE 7-05'ten daha yüksek sonuçların hesaplandığını açıklamıştır.

Haberdar (2015), TS-498, Eurocode 1-3 ve ASCE 7-10 yönetmeliklerinin kar yükleri hakkında bilgilendirmeler sağlamış olup farklı eğimlere sahip şed tipi çatılarda kar yükü için analizler yapıp sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Özlek (2015), ASCE 7-10, Eurocode 1-4 ve TS 498 standartları, iki farklı yapı türü üzerinde incelenmiştir. Araştırmada, 100 metre yüksekliğinde bir yüksek katlı yapı ile 20 metre mahya yüksekliğine sahip bir sanayi yapısı seçilmiş olup, bu yapılara ilgili yönetmeliklerin rüzgar yükü hesaplamaları yapılmış ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Yapılan örnekler üzerinde bulunan değerler karşılaştırıldığında Eurocode 1-4'ün daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Uzun ve Çöğür (2018), Depremlerin prefabrike sanayi yapılarında oluşturduğu ciddi hasarlar ele alınmış olup ve rüzgâr yükü etkisi altında, montaj ve işçilik hataları nedeniyle yıkılmış bir prefabrike sanayi yapısını incelemiştir. TS 498, Eurocode 1-4 ve ASCE 7-05 yönetmeliklerin hesaplama yöntemlerine değinmiş ve

yapıların çeşitli yükler altında sadece hesaplamaların yapı tasarımında yeterli olmadığını yapım aşamasında da dikkatli olunması gerektiğini açıklamıştır.

Çelik (2019), Örnek olarak modellenen bir sanayi yapısında, 2007 ve 2018 deprem yönetmeliklerinin çelik yapıların maliyetleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada DBYBHY 2007 yönetmeliği ÇYTHYE 2016 yönetmeliğiyle ve TDY 2007 yönetmeliği TBDY 2018 yönetmeliğiyle karşılaştırılmıştır. Yenilenen deprem yönetmeliklerinin ve değişen tasarım kurallarının çelik yapıların maliyetleri üzerindeki etkilerini Güvenlik Katsayılarına Göre Tasarım yaklaşımını esas alarak araştırma sağlanmıştır.

Zararsız (2021), yaptığı çalışmada SAP2000 programı yardımıyla farklı geometrik şekillerdeki çok katlı çelik binalar modellemiştir. TÇY-2016 yönetmeliğine göre Yük ve Dayanım Katsayıları ile tasarım (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile tasarım (GKT) yaklaşımlarını uygulayarak binaların yapısal analizini icra etmiş ve sonuçları karşılaştırmıştır.

Aghaei (2022), SAP2000 bilgisayar programını kullanarak Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları- 2016 (ÇYTHYE 2016) esaslarını dikkate alarak çelik yapı modelleri oluşturmuştur. TBDY-2018 esaslarına göre hesap yaparak yapı bölgesi, arazi kategorisi ve zemin sınıflarının yapı üzerindeki etkilerini kıyaslamıştır. Kırk sekiz adet çelik sisteminin analizini gerçekleştiren bu çalışmada ZC zemin sınıfına sahip olan yapıların ZB sınıfına sahip olan yapılara göre deprem deplasmanlarının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ele alınan her bir yapı modellerinin ağırlık karşılaştırmaları detaylıca yapılmıştır.

Sever (2022), Yüksekliği 80 metre olan ve parapetli örnek bir bina modeli üzerinde rüzgârın meteorolojik oluşumu, sınıflandırılması ve Türkiye'de rüzgâr yükü hesaplamalarına yönelik kullanılan standartlar açıklanmıştır. ASCE 7-16 ve TS 498 standartlarının hesaplama yöntemlerini ve sonuçlarını karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, ortaya çıkan farklılıkların tek bir nedene bağlı olmadığını, aksine birden fazla parametrenin etkili olduğu görülmüştür.

Dikiciaşık, Sen ve Çarbaş (2023), Sabit bir lokasyonda, aynı boyutlara sahip toplamda 24 farklı endüstriyel hangar tipi çelik yapıyı, üç farklı makas ve altı farklı çapraz konfigürasyonunu incelemişlerdir. Elde edilen verileri taban kesme kuvveti, yapı ağırlığı, maksimum deplasman gibi parametreler üzerinden karşılaştırılmıştır ve endüstriyel çelik yapıların tasarımında en uygun yapının bulunmasını hedeflemişlerdir.

İçen (2023), TBDY 2019 ve ÇYTHYE 2016 yönetmelikleri kapsamında çelik yapıların tasarımı ve hesaplarına yönelik sanayi tipi çelik yapı tasarlamış olup çalışmada, StaSteel, İdeCad Statik ve ProtaStructure programlarını kullanarak yapıların analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır. Ayrıca bu programların analiz sonuçları genel amaçlı bir mühendislik programı olan SAP2000 programının sonuçları ile karşılaştırarak yapılan hesaplamaların doğruluğunu teyit ettirmek hedeflemiştir.

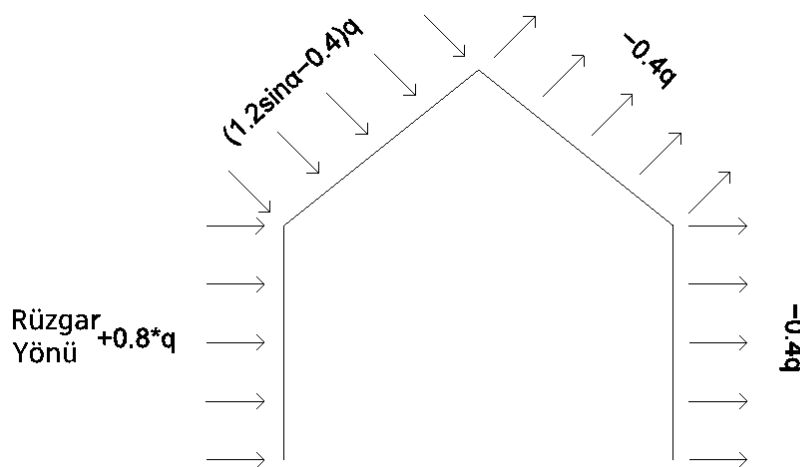
Yaşar (2023), TS648 (1980) ve DBYBHY (2007) yönetmeliklerine göre tasarımı yapılmış endüstri yapılarını ÇYTHYE (2016) ve TBDY (2018) yönetmeliklerine göre tekrar tasarımını yapmıştır. Endüstri yapıların tasarım adımları, çizim ve hesap yöntemleri detaylı bir şekilde açıklanmıştır

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, Türkiye, Avrupa ve Amerika'da rüzgar yüklerinin hesabı için kullanılan sırasıyla TS 498, Eurocode 1-4 ve ASCE 7-10 standartlarında rüzgar yüklerinin hesabı ile ilgili adımlar detaylı bir şekilde sunulacaktır.

2.1. TS 498 Rüzgar Yük Hesaplamaları

Türk Standardı TS 498, yapıların rüzgar yüklerine karşı dayanıklı olmalarını sağlamak amacıyla hesap yöntemleri sunmaktadır. TS 498, rüzgar yüklerinin belirlenmesinde, yapının yükseklik faktörleri göz önünde bulundurulur. Yapının yüksekliği, rüzgarın yapıya etkisini doğrudan belirleyen önemli bir parametre olup, rüzgar yükü hesapları bu yüksekliğe bağlı olarak yapılır. TS 498'e göre rüzgar yükü hesabı, aşağıda belirtilen hesaplamalarla yapılmaktadır. Şekil 4'te, TS 498'e göre ana taşıyıcı sistemde rüzgar yükünün dağılımı gösterilmiştir. Bu dağılım TS 498 standardına göre rüzgar yüklerinin yapı yüzeylerine nasıl etki ettiğini göstermektedir. Rüzgarın estiği yönde $0.8 q$ değerinde bir basınç uygular. Çatı yüzeyinde rüzgar yükü eğime bağlı olarak değişmektedir ve rüzgarın estiği yöndeki çatı yüzeyinde çatı eğimi (α) arttıkça, rüzgar yükü artmaktadır. Küçük açılarda yük emme olurken, büyük açılarda basınca dönüşebilmektedir.



Şekil 4. TS498 Rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistemde dağılımı

2.1.1. Rüzgar basıncı

TS 498 standardı için rüzgar basıncı Denklem (2.1) 'de verilen formül ile hesaplanır.

$$w = C_p \cdot q \quad kN/m^2 \quad (2.1)$$

C_p : Emme katsayısı,

q : Emme basıncı

TS 498 standardına göre, emme basıncı bir yüzeye dik olarak etki eder ve yapı elemanlarının rüzgar etkisi altındaki davranışlarını belirlemede önemlidir.

2.1.2. Emme basıncı

TS 498 standardına göre rüzgar yükü, rüzgar hızına bağlıdır ve aynı zamanda yapının bulunduğu yükseklikle de doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, rüzgar basıncı yüksekliğe bağlı olarak değişkenlik gösterir ve yükseklik etkisini rüzgar yükü hesaplamalarında kritik bir parametre olarak değerlendirir. Emme basıncı Denklem (2.2) 'de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$q = \frac{\rho V^2}{2g} \quad kN/m^2 \quad (2.2)$$

Havanın birim hacim kütlesi $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ alınıp rüzgar hızı (V) m/s cinsinden yerine konulduğunda Denklem (2.3)'te görüldüğü gibi denklem daha sade bir yapıya geçer.

$$q = \frac{V^2}{1600} \quad kN/m^2 \quad (2.3)$$

TS 498 standardına göre, zeminden yüksekliğin ve rüzgar hızının emme basıncı üzerindeki etkisi Çizelge 1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Yüksekliğe bağlı rüzgar hızı ve emme basıncı (TS 498, 2020)

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

2.2. Eurocode 1-4 Rüzgar Yük Hesaplamaları

Eurocode 1-4’e göre, yapı üzerindeki rüzgar etkisi, yapının boyutuna, şekline ve dinamik özelliklerine bağlı olduğunu belirtir. Eurocode 1-4, yapı üzerindeki rüzgar etkileri sırasıyla şu şekilde açıklanır, rüzgar basıncının yapının yüksekliği ile doğrudan ilişkili olduğunu vurgular. Yüksekliğin artması durumunda rüzgar hızının da artış gösterdiğini ve bunun sonucunda rüzgar basıncının yükseklikle birlikte arttığını ifade eder. Ayrıca, Eurocode 1-4 için yapının genişliği de önemli bir parametredir. Genişlik arttıkça, yapı daha büyük bir yüzey alanıyla rüzgara maruz kalır ve bu durum rüzgar yükünün büyüklüğünü etkiler. Yapının rüzgar basınç hesapları, rüzgarın temel özellikleri (temel rüzgar hızı ve türbülans), arazinin engebелiliği, orografik etkiler ve referans yüksekliği gibi faktörlere bağlı olarak belirlenmektedir. Aşağıda, Eurocode 1-4 standardına göre rüzgar hesabı adım adım gösterilmiştir.

2.2.1. Rüzgar basıncı hesabı

Eurocode 1-4 standardına göre rüzgar hesabı, rüzgar hızı, arazi engebелiliği, rüzgar türbilansı gibi parametreler göz önünde bulundurularak yapılır. Bu bölümde, rüzgar yüklerinin hesaplanmasına yönelik yöntemler ve ilgili formüller sunulmuş ve her bir adım detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

2.2.1.1. Esas temel rüzgar hızı değeri

Burada esas rüzgar hızını yılın herhangi bir döneminde ve rüzgar yönünden bağımsız olarak, çayır gibi az bitki örtüsüne sahip ve aralarındaki mesafe en az engel yüksekliğinin 20 katı olan engellerin bulunduğu açık kırsal alanda, yer seviyesinden 10 metre yükseklikteki karakteristik 10 dakikalık ortalama rüzgar hızıdır. Esas rüzgar hızının temel değeri TS EN 1991-1-4 bölüm 4.2 'de detaylıca yer verilmiştir. Esas rüzgar hızı Denklem (2.4) 'te ifade edildiği şekilde hesaplanır.

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} \quad (2.4)$$

v_b : Arazi kategorisi II'de, yer seviyesinden 10 metre yükseklikte, yılın herhangi bir döneminin ve rüzgar yönünün bir fonksiyonu olarak tanımlanan temel rüzgar hızıdır,

$v_{b,0}$: Esas rüzgâr hızının temel değeri,

C_{dir} : Doğrultu katsayısı,

C_{season} : Mevsim katsayısı

Doğrultu katsayısı ve mevsim katsayısı 1,0 olarak alınır.

2.2.1.2. Ortalama rüzgar hızı

Ortalama rüzgar hızı $v_m(Z)$, yapının zemin seviyesinden Z metre yüksekliğindeki ortalama rüzgar hızıdır. Denklem (2.5) 'teki gibi hesaplanır.

$$v_m(Z) = c_r(Z) \cdot c_o(Z) \cdot v_b \quad (2.5)$$

$c_r(Z)$: Engebililik katsayısı,

$c_o(Z)$: Orografi katsayısı

Orografi katsayısı 1,0 alınması önerilir. Arazi engebililiği $c_r(Z)$, TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3 'te hesaplama yöntemi açıklanmıştır.

2.2.1.2.1. Arazi engebililik katsayısı

Yapının zeminden yüksekliği ve arazi parçasının engebililiği durumlarına bağlı olarak engebililik katsayısı $c_r(Z)$, ortalama rüzgar hızı değişkenliği hesabı yapılır. Denklem (2.6) 'da detayları gösterilmiştir.

$$c_r(Z) = k_r(Z) \cdot \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right) \quad (2.6)$$
$$Z_{min} \leq Z \leq Z_{max}$$

Z_0 : Engebilik uzunluğu,

k_r : Arazi katsayısı

Arazi katsayısı k_r Denklem (2.7) ile hesaplanır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{Z_0}{Z_{0,u}} \right)^{0,07} \quad (2.7)$$

Burada;

$Z_{0,u}$: 0,05 (TS EN 1991-1-4 Çizelge 4.1)

Z_{min} : en düşük yükseklik (TS EN 1991-1-4 Çizelge 4.1)

Z_{max} : 200 m alınır.

Arazi kategorileri, TS EN 1991-1-4 Çizelge 4.1'e göre belirlenir ve aşağıda Çizelge 2'de sunulmuştur.

Çizelge 2. Arazi kategorileri ve arazi parametreleri (TS EN 1991-1-4 , 2007)

Arazi kategorisi	z_0 m	z_{en} küçük m
0 Açık deniz etkisine maruz deniz veya kıyı alanı	0,003	1
I Göller veya ihmal edilebilecek seviyede bitki örtüsü olan ve engebeli olmayan düz ve yatay alan	0,01	1
II Çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere (ağaçlar, binalar) sahip alan	0,05	2
III Düzgün yayılı şekilde bir bitki örtüsüne veya binalara veya aralarında en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip alan (kasabalar, yörekent, ormanlık alan gibi)	0,3	5
IV Yüzeyinin en az % 15'i, yükseklik ortalaması 15 m'yi aşan binalarla kaplı alan	1,0	10
Not: Arazi kategorileri Madde A.1'de şekiller ile gösterilmiştir.		

2.2.1.3. Rüzgar türbülansı

Rüzgar türbülans şiddeti $I_v(Z)$, türbülansın standart sapmasının ortalama rüzgar hızına oranıdır. Rüzgâr hızının türbülans bileşeninin ortalama değeri 0, standart sapması ise σ_v 'dir. Standart sapma Denklem (2.8) ile hesaplanır.

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l \quad (2.8)$$

k_r : Arazi katsayısı,

v_b : Esas rüzgar hızı,

k_l : Türbülans katsayısı

$I_v(Z)$ 'nin hesaplanması için yönetmeliğin tavsiye ettiği işlem Denklem (2.9)'da gösterilmiştir.

$$I_v(Z) = \frac{\sigma_v}{v_m(Z)} = \frac{k_l}{co(Z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad Z_{min} \leq Z \leq Z_{max} \quad (2.9)$$

2.2.1.4. Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı

Yapı yüksekliğine bağlı olan tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı $q_p z$ 'nin belirlenmesi gereklidir. Rüzgar basıncı için tavsiye edilen hesap yöntemi Denklem (2.10) 'da gösterilmiştir.

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) \quad (2.10)$$

$$= c_e(z) \cdot q_b$$

ρ : Rakıma bağlı hava yoğunluğu $1,25 \text{ kg/m}^3$ alınabilir,

$c_e(z)$: Maruz kalma katsayısı, aşağıdaki Denklem (2.11) ile hesaplanır.

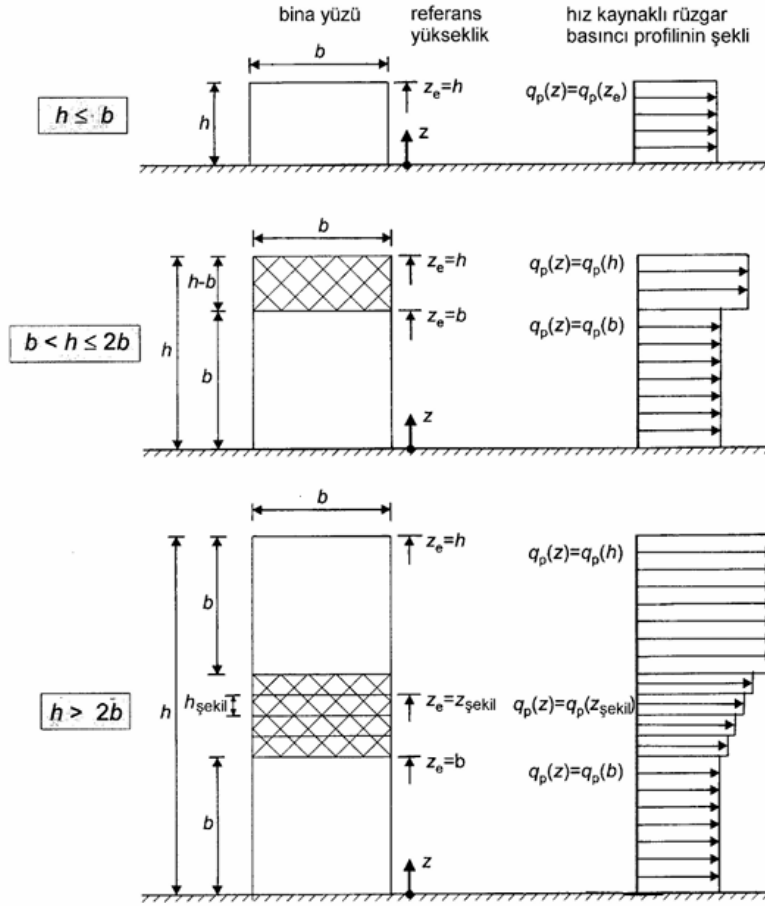
$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_p} \quad (2.11)$$

Son olarak esas hız kaynaklı rüzgar basıncı Denklem (2.12) ile hesaplanır.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (2.12)$$

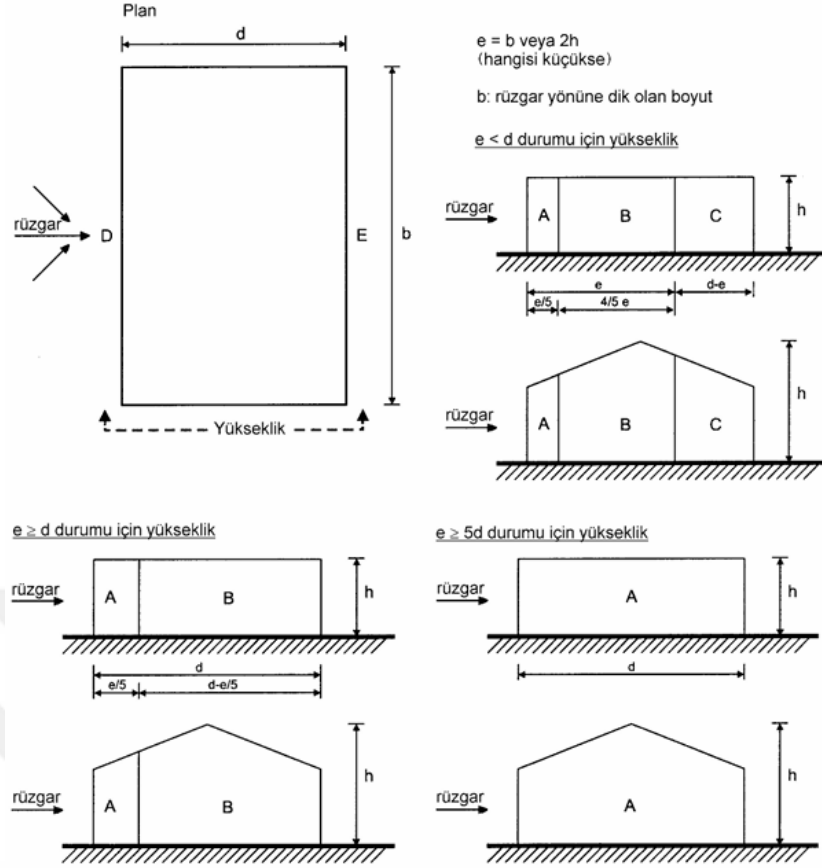
2.2.2. Duvarlara etki eden rüzgâr yükünün şematik gösterimi

Dikdörtgen planlı yapılarda, rüzgârın etki ettiği cephe D Bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölgede, yapı yüksekliği (h) ve genişliği (b) değerleri Z_e ile ilişkilidir. Ayrıca, bu ilişki, h/b oranına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Rüzgarın uzaklaştığı yöndeki duvar E bölgesi ve yan duvarlar A,B,C olarak tanımlanırlar. h ve b 'ye bağlı olarak duvarlara etki eden rüzgar basıncının şematiki aşağıda Şekil 5'te gösterilmiştir. Burada duvarlara etki eden rüzgar basıncının düzgün yayılı yük olarak etki etmelidir.



Şekil 5. h ve b değerlerine bağlı olarak Ze referans yüksekliği ve buna karşılık gelen hız kaynaklı rüzgar basıncı (TS EN 1991-1-4 , 2007)

A,B,C,D ve E bölgeleri için dış basınç katsayıları $c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Şekil 6'da gösterildiği üzere, rüzgârın estiği yönde hesaplamalarda e değeri, b (rüzgar yönüne dik olan boyut) veya 2h (yapının iki kat yüksekliği) değerlerinden küçük olan esas alınarak kullanılmaktadır. Bölgelere göre tanımlanan dış basınç katsayıları, her bir bölge için uygun interpolasyon yöntemleri kullanılarak hesaplanır ve bu doğrultuda bölgelerin dış basınç katsayıları elde edilir.



Şekil 6. Düşey duvarlar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 , 2007)

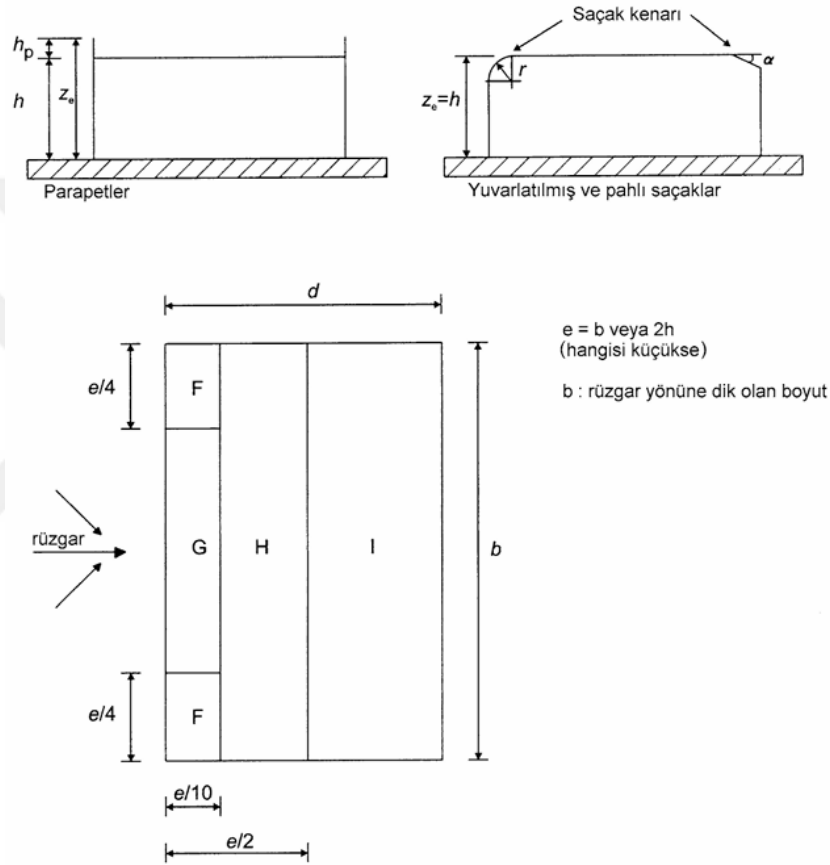
$c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ değerleri h/d oranına bağlıdır. Ara değerlerde interpolasyon işlemi uygulanarak uygun katsayı değeri bulunur. Çizelge 3'te tavsiye edilen değerler gösterilmiştir.

Çizelge 3. Dikdörtgen planlı binaların düşey duvarları için önerilen dış basınç katsayısı değerleri (TS EN 1991-1-4 , 2007)

Bölge	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

2.2.3. Düz çatılarda rüzgar

Eğimi -5° ile 5° arasında olan çatılar için geçerlidir. Keskin kenarlı saçaklar, parapetli, kenarları yuvarlatılmış saçaklı ve kenarları pahlı saçaklı olmak üzere çatı tipleri mevcuttur. Düz çatılarda çatı dört farklı bölgeye ayrılır bu bölgeler Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7. Düz çatılar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 , 2007)

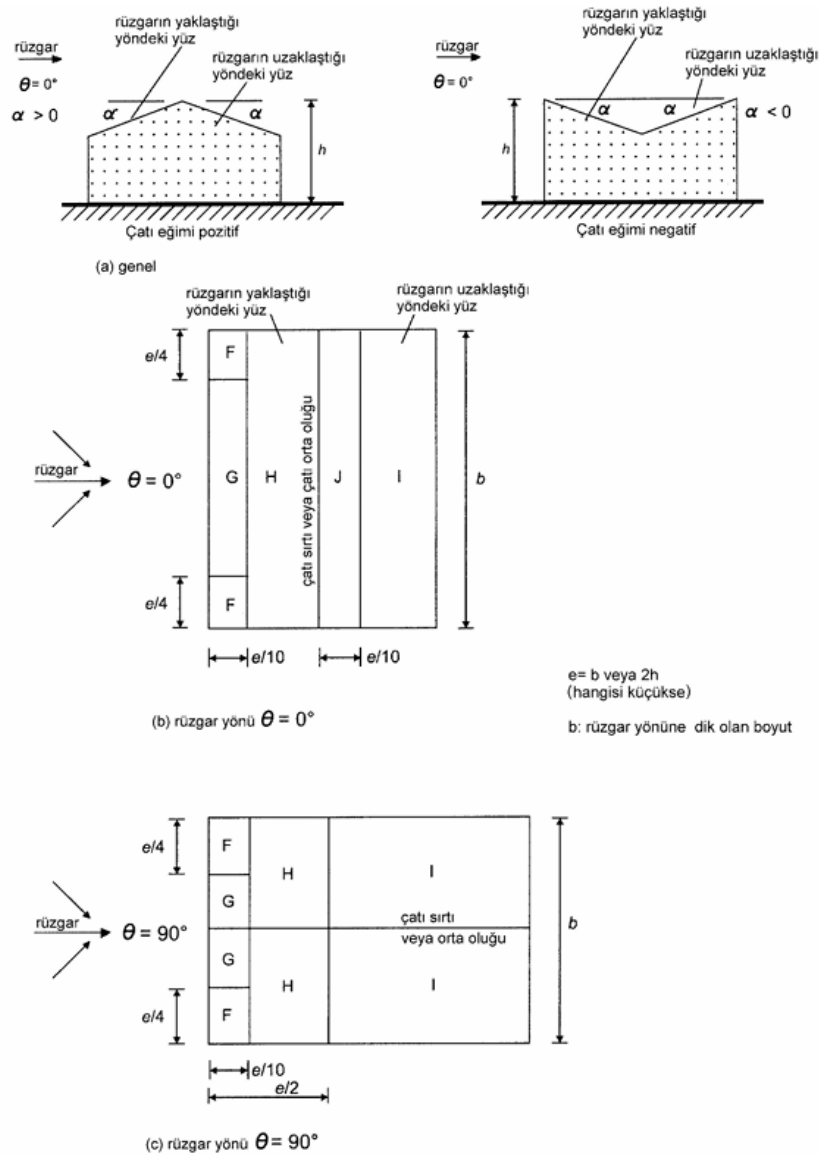
Düz çatılarda farklı çatı tipleri için dış basınç katsayıları mevcuttur. Çizelge 4'te düz çatılarda her tip çatı modeli için dış basınç katsayıları gösterilmiştir. Burada ara değerler için interpolasyon yöntemi uygulanır.

Çizelge 4. Düz çatılar için dış basınç katsayıları (TS EN 1991-1-4 , 2007)

Çatı Tipi		Bölge							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Keskin kenarlı saçaklar		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Parapetli	$h_p/h = 0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h = 0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
	$h_p/h = 0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	
								-0,2	
Kenarları yuvarlatılmış saçaklı	$r/h = 0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$r/h = 0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$r/h = 0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3		+0,2	
								-0,2	
Kenarları pahlı saçaklı	$\alpha = 30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4		+0,2	
								-0,2	
	$\alpha = 60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5		+0,2	
								-0,2	

2.2.4. Çift eğimli çatılarda rüzgar

Çift eğimli çatılarda rüzgarın geliş yönüne bağlı olarak çatı farklı bölgelere ayrılır. e değeri, b (rüzgar yönüne dik olan boyut) veya $2h$ (yapının iki kat yüksekliği) değerlerinden küçük olan esas alınır ve bölgelerin boyutlandırılması belirlenen e değerine göre hesaplanarak gerçekleştirilir. Şekil 8’de çift eğimli çatılar için gerekli açıklamalar mevcuttur.



Şekil 8. Çift eğimli çatılar için açıklamalar (TS EN 1991-1-4 , 2007)

Çift eğimli çatılarda rüzgar yönüne bağlı olarak dış basınç katsayıları değişmektedir. Çizelge 5 ve Çizelge 6’da rüzgar yönüne bağlı olarak çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları gösterilmiştir.

Çizelge 5. $\theta = 0^\circ$ Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (TS EN 1991-1-4 , 2007)

Eğim açısı α	Rüzgar yönü $\theta = 0^\circ$ için bölgeler									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		-0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Çizelge 6. $\theta = 90^\circ$ Çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları (TS EN 1991-1-4 , 2007)

Eğim açısı	Rüzgar yönü $\theta = 90^\circ$ için bölgeler							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Yukarıda, Eurocode 1-4 kapsamında rüzgar yüklemelerinde yapıyı farklı bölgelere ayırdığı incelenmiştir. Bu süreçte, yapı türüne bağlı olarak dış basınç katsayıları belirlenmektedir. Çatı eğimleri, tabloda verilen değerlerin arasında bir değer olması durumunda interpolasyon yöntemi uygulanarak gerekli dış basınç katsayıları hesaplanır. Elde edilen dış basınç katsayıları, tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı değeri ile çarpılarak hesaplamalar gerçekleştirilir ve yapı için uygun rüzgar yükleri belirlenir.

2.3. ASCE 7-10 Rüzgar Yük Hesaplamaları

ASCE 7-10 standardı, farklı yapı kategorileri için temel rüzgar hızlarını belirlemeye yönelik ayrıntılı rüzgar hızı haritaları sunmaktadır. Bu haritalar, yapının kullanım kategorisine bağlı olarak temel rüzgar hızının belirlenmesini sağlar. Örnek modellerde yapının konumu Şırnak Üniversitesi Mehmet Emin Acar Kampüsü olarak belirlenmiştir ve yapı Türkiye de olduğundan ASCE 7-10 standardında Türkiye için rüzgar hız haritası belirtilmemiştir. ASCE 7-10 standardı, rüzgar yükü hesaplamalarını sistematik bir şekilde ele alarak adım adım ve her bir adımın düzenli bir sırayla takip edilmesini sağlayarak hesaplama yöntemi sunar. Hesaplama süreci yapının risk kategorisinin belirlenmesi ile başlar. Risk kategorisinin belirlenmesine yönelik gerekli haritalar ve kategoriler, ASCE 7-10 standardında Bölüm 26.5.1 altında detaylı olarak sunulmaktadır. Daha sonraki adımda, yüzey engebelilik kategorisi belirlenir. Üç yüzey engebelilik kategorisi bulunmaktadır ve bu kategoriler sırasıyla aşağıdaki gibidir:

Yüzey engebelilik kategorisi B: Kent ve banliyö alanları, yoğun ağaçlık alanlar, sık engebeli arazi veya büyük boyutlu konutlara sahip araziler.

Yüzey engebelilik kategorisi C: Yükseklikleri genellikle 9,1 m altında olan sık engellerin bulunduğu açık araziler.

Yüzey engebelilik kategorisi D: Düz engelsiz araziler ve su yüzeyleri, yumuşak çayırlı ovalar ve kırılmamış buz bölgeleri.

Yüzey engebelilik kategorisi belirlendikten sonra maruz kalma kategorisi belirlenir. Üç maruz kalma kategorisi vardır ve bunlar aşağıdaki gibidir:

Maruz kalma kategorisi B: Ortalama çatı yüksekliği 9,1 metre veya daha düşük olan yapılar için kullanılır. Rüzgâr yönünde en az 457 metre mesafede Yüzey Engebeliği B koşullarının hâkim olduğu durumlarda, Maruz Kalma B uygulanır. Çatı yüksekliği 9,1 metreden büyük olan yapılarda ise, Maruz Kalma B'nin geçerli olması için Yüzey Engebeliği B'nin rüzgâr yönünde en az 792 metre veya binanın yüksekliğinin 20 katı kadar bir mesafede bulunması gerekir; bu iki değerden büyük olanı esas alınır.

Maruz kalma kategorisi C: Maruz Kalma B veya D'nin uygulanmadığı tüm durumlarda, Maruz Kalma C uygulanır.

Maruz kalma kategorisi D: Maruz Kalma D yüzey engebeliğinin, rüzgar yönünde 1.524 metre veya binanın yüksekliğinin 20 katı kadar bir mesafede hâkim olduğu durumlarda, bu iki değerden büyük olan değer esas alınır.

2.3.1. Rüzgar hız basıncı

Rüzgar hız basıncı q_z , aşağıdaki Denklem (2.13) ile hesaplanır:

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (N/m^2) \quad (2.13)$$

K_d : Rüzgar doğrultu faktörü,

K_z : Hız basıncı maruz kalma katsayısı,

K_{zt} : Topoğrafik faktör,

V : Temel rüzgar hızı

2.3.1.1. Rüzgar doğrultu faktörü K_d

Rüzgar doğrultu faktörü K_d , yapının geometrisini dikkate alarak gerçekçi bir yük tahmini yapılmasını sağlar. Çizelge 7 ile belirlenir ve burada yapı tipine uygun olan katsayı seçilir.

Çizelge 7. Rüzgar doğrultu faktörü (ASCE 7-10, 2010)

Yapı Türü	Rüzgar doğrultu faktörü (K_d)
Binalar	0.85
Kemerli Çatılar	0.85
Duman Bacaları, Depolar ve Benzer Yapılar	
Kare	0.90
Altıgen	0.95
Yuvarlak	0.95
Serbest duvar, serbest ve bağlı levhalar	0.85
Açık Levhalar ve Kafes Çerçevesi	0.85
Çelik Kafes Kuleler	
Üçgen, kare, dikdörtgen	0.85
Tüm diğer kesitler	0.95

2.3.1.2. Maruz kalma katsayısı K_z

Yapıyla ilgili bilgiler ışığında belirlenen maruz kalma kategorisine göre, yapının yüksekliği ile ilişkilendirilen maruz kalma katsayısı Çizelge 8 'de ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

Çizelge 8. Maruz kalma katsayıları (ASCE 7-10, 2010)

Zemin seviyesinden yükseklik (m)	Maruz kalma kategorisi		
	B	C	D
0-4.6	0.57	0.85	1.03
6.1	0.62	0.90	1.08
7.6	0.66	0.94	1.12
9.1	0.70	0.98	1.16
12.2	0.76	1.04	1.22
15.2	0.81	1.09	1.27
18.0	0.85	1.13	1.31
21.3	0.89	1.17	1.34
24.4	0.93	1.21	1.38
27.4	0.96	1.24	1.40
30.5	0.99	1.26	1.43
36.6	1.04	1.31	1.48
42.7	1.09	1.36	1.52
48.8	1.13	1.39	1.55
54.9	1.17	1.43	1.58
61.0	1.20	1.46	1.61
76.2	1.28	1.53	1.68
91.4	1.35	1.59	1.73
106.7	1.41	1.64	1.78
121.9	1.47	1.69	1.82
137.2	1.52	1.73	1.86
152.4	1.56	1.77	1.89

2.3.1.3. Topoğrafik faktör

İzole tepeler, sırtlar ve ani topoğrafik değişiklikler oluşturan engebeler üzerindeki rüzgar hız artışı etkileri, herhangi bir maruz kalma kategorisinde yer alan bu tür alanlarda yapıların yerleşim yerleri aşağıdaki tüm koşulları sağladığında tasarıma dahil edilmelidir:

- 1- Tepe, sırt veya engebe, rüzgar yönünde aynı yükseklikten benzer topoğrafik özelliklerle engellenmemiş ve izole bir konumda olmalıdır. Bu özellik, topoğrafik özelliğin yüksekliğinin 100 katı kadar bir mesafede veya 3,22 km içinde sağlanmalıdır, hangisi daha kısa ise o esas alınmalıdır.

- 2- Tepe, sırt veya engebe, rüzgar yönündeki arazi özelliklerinin 3,22 km uzaklığında, herhangi bir yönde, yüksekliğinden iki kat veya daha fazla bir yükseklikle çıkıntı yapmalıdır.
- 3- Bir tepenin veya sırtın üst kısmında veya bir engebenin zirvesine yakın bir konumda yer almaktadır.

K_{zt} Denklem (2.14) ile hesaplanır.

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.14)$$

Burada;

K_1 , topoğrafik özelliğin şekli ve maksimum hız artışı etkisini dikkate alan faktör, K_2 , zirve etrafında rüzgar yönünde veya ters yönde mesafe arttıkça hız artışı azalmayı hesaba katan faktör ve K_3 , yerel araziye göre yükseklik arttıkça hız artışı azalmayı dikkate alan faktördür.

Eğer yapının yerleşim yeri bu koşulları sağlamıyorsa bu durumda K_{zt} 1.0 olarak alınır.

2.3.2. Rüzgar basıncı

Tüm yükseklikteki binalar için rüzgar basıncı Denklem (2.15) ile hesaplanır.

$$p = qG C_p - q_i (G C_{pi}) \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (2.15)$$

Burada;

G: Fırtına etki faktörü,

C_p : Dış basınç katsayısı,

q_i : Ortalama çatı yüksekliğinde hesaplanan rüzgar hız basıncı,

$G C_{pi}$: İç basınç katsayısı

2.3.2.1. Fırtına etki faktörü

Fırtına etki faktörü (G), Yapının rüzgâr yüküne verdiği dinamik tepkiyi ve rüzgârın ani değişimlerinin etkisini dikkate almak için kullanılır.

2.3.2.2. İç basınç katsayısı

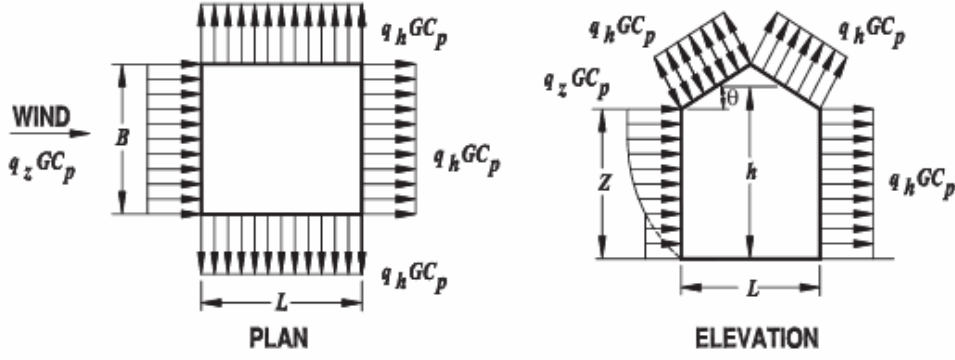
İç basınç katsayısı, yapının içindeki hava basıncının dış basınca etkisini ifade eder. ASCE 7-10 yönetmeliğine göre, açık binalar, kısmen kapalı binalar ve kapalı binalar için iç basınç katsayıları Çizelge 9'da gösterilmiştir.

Çizelge 9. İç basınç katsayıları (ASCE 7-10, 2010)

Kaplama Sınıflandırılması	($G C_{pi}$)
Açık binalar	0.00
Kısmen kapalı binalar	+0.55 -0.55
Kapalı binalar	+0.18 -0.18

2.3.2.3. Dış basınç katsayısı

ASCE 7-10 standardına göre dış basınç katsayısı, rüzgar yükü hesaplamalarında önemli bir parametredir. Hesaplamalar, duvarlar ve çatılar için farklı basınç katsayıları kullanılarak yapılır. Duvarlar için katsayı, rüzgar yönüne bağlı olarak yapının x ve y boyutlarının oranı (L/B) üzerinden belirlenir. Çatılar için ise katsayı, yapının ortalama yüksekliğinin ve rüzgar yönüne bağlı olarak duvar uzunluğuna oranı (h/L) ile ilişkilidir. Bu ilişki aşağıda Şekil 9 'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Rüzgar yük dağılımı (ASCE 7-10, 2010)

Duvarlar için dış basınç katsayılarına ilişkin değerler, Çizelge 10'da detaylı bir şekilde sunulmuştur. Bu değerler uygun dış basınç katsayılarının belirlenmesini ve doğru bir net basınç değerinin hesaplanması için önemlidir. Çatı için dış basınç katsayılarına ilişkin değerler ise, Çizelge 11 'de gösterilmiştir.

Çizelge 10. Duvar dış basınç katsayıları (ASCE 7-10, 2010)

Yüzey	L/B	C_p	Basınç
Rüzgara dik duvar	Tüm değerler	0.8	q_z
Rüzgar arkası duvar	0-1	-0.5	q_h
	2	-0.3	
	≥ 4	-0.2	
Çapraz duvarlar	Tüm değerler	-0.7	q_h

Çizelge 11. Çatı için dış basınç katsayıları (ASCE 7-10, 2010)

Rüzgara dik duvar													Arka Duvar			
Rüzgar Yönü	h/L	10	15	20	25	30	35	45	≥60	θ	10	15	≥20			
Mahya doğrultusuna dik olarak, θ ≥ 10° durumunda	≤0.25	- 0.7 - 0.18	- 0.5 0.0*	- 0.3 0.2	- 0.2 0.3	- 0.2 0.3	0.0* 0.4	0.4	0.01	θ	-0.3	-0.5	-0.6			
	0.5	- 0.9 - 0.18	- 0.7 - 0.18	- 0.4 0.0*	- 0.3 0.2	- 0.2 0.2	- 0.2 - 0.3	0.0* 0.4	0.01	θ	-0.5	-0.5	-0.6			
	≥1.0	- 1.3** - 0.18	- 1.0 - 0.18	- 0.7 - 0.18	- 0.5 0.0*	- 0.3 - 0.2	- 0.2 0.2	0.0* 0.3	0.01	θ	-0.7	-0.6	-0.6			
θ < 10 için mahyaya dik, tüm θ değerleri için ise mahyaya paralel	Rüzgar yönündeki kenardan yatay mesafe			C _p												
	≤ 0.5	0 - h/2			-0.9 , -0.18											
		h/2 - h			-0.9 , -0.18											
		h – 2h			-0.5 , -0.18											
		> 2h			-0.3 , -0.18											
	≥1.0	0 - h/2			-1.3** , -0.18											
		> h/2			-0.7 , -0.18											

2.4. Çelik Yapı Tasarım Yöntemleri ve Çalışma Kapsamı

Bu projede yapılan çalışmalar, SAP2000 programı kullanılarak üç farklı endüstri tipi model tasarlanmıştır. Çizilen modeller, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları - 2016 (ÇYTHYE) yönetmelik doğrultusunda yapılmıştır. Bu bölümde, ilgili yönetmelik kısaca incelenecek ve yapılan çalışmaya dair bilgilendirmeler sunulacaktır.

ÇYTHYE 2016 yönetmeliği, çelik ve çelik-betonarme gibi kompozit yapı elemanlarından oluşan bina taşıyıcı sistemlerinin, depreme dayanıklı bir şekilde tasarlanmasına ilişkin esasları belirlemektedir. Bu yönetmelikteki koşullara ek olarak Deprem Yönetmeliği koşulları'da yerine getirilmelidir.

2.4.1. Malzeme özellikleri

ÇYTHYE 2016 Bölüm 2’de yapısal çeliklerle ilgili olarak malzeme özellikleri belirtilmiştir. Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerde ve yapısal kutu ile boru profillerdeki karakteristik akma gerilmesi (F_y) ve çekme dayanımı (F_u) Çizelge 12 ve Çizelge 13 'te gösterilmektedir.

Çizelge 12. Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerde karakteristik akma gerilmesi, F_y ve çekme dayanımı, F_u (ÇYTHYE, 2016)

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	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 13. Yapısal kutu ve boru profillerde karakteristik akma gerilmesi, F_y ve çekme dayanımı, F_u (ÇYTHYE, 2016)

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	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		

2.4.2. Tasarım prensipleri

Çelik yapıların tasarım prensiplerinde, Çelik yapı elemanlarının tasarımı Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) veya Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımlarından birinin uygulanmasıyla sağlanabilir. YDKT ve GKT yaklaşımlarına aşağıda değinilmiştir. Bu çalışma, Yük ve Dayanım Katsayısı ile Tasarım (YDKT) yöntemi esas alınarak yürütülmüştür.

2.4.2.1. Yük ve dayanım katsayıları ile tasarım (YDKT)

Tüm yapısal elemanlar için tasarım dayanımı ϕR_n nin, YDKT yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli dayanım R_u değerine eşit veya daha büyük olması gerekmektedir. Denklem (2.16)'de bu koşul gösterilmiştir.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.16)$$

Burada;

R_u : YDKT yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli dayanım,

R_n : Karakteristik dayanım,

ϕ : Dayanım katsayısı,

ϕR_n : Tasarım dayanımı.

Gerekli dayanım R_u , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenir.

- (1) $1.4G$
- (2) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (3) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$
- (4) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$
- (5) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$
- (6) $0.9G + 1.6W$
- (7) $0.9G + 1.0E$

2.4.2.2. Güvenlik katsayıları ile tasarım (GKT)

Tüm yapısal elemanlar için güvenli dayanım R_n / Ω , GKT yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli dayanım R_a değerine eşit veya daha büyük olması gerekmektedir. Denklem (2.17)'de bu koşul gösterilmiştir.

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (2.17)$$

Burada;

R_a : GKT yük birleşimleri ile hesaplanan gerekli dayanım,

R_n : Karakteristik dayanım,

Ω : Güvenlik katsayısı,

R_n / Ω : Güvenli dayanım.

Gerekli dayanım R_a , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenir.

- (1) G
- (2) $G + Q$
- (3) $G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (4) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (5a) $G + 1.0W$
- (5b) $G + 0.7E$
- (6a) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(W)$
- (6b) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(0.7E)$
- (7) $0.6G + W$
- (8) $0.6G + 0.7E$

2.5. SAP2000 Programı

SAP2000 programı mühendislik dalı için önemli bir değere sahiptir. İki boyutlu, üç boyutlu ve kompleks yapıların tasarım ve analizleri için tercih edilen, geniş kullanım alanına sahip, sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir ticari bir yazılımdır. Bu tez çalışmasında, tüm tasarımlar SAP2000 yazılımının 2022 versiyonu kullanılarak modellenmiştir (SAP2000, 2022). Bu bölümde tez kapsamında ele alınan üç farklı endüstri tipi yapı sisteminin modellenmesi ve analizi ile ilgili bilgiler verilecektir.

2.5.1. Endüstri tipi çelik yapı modelleri

Bu çalışmada ele alınan örnekler, Siamak AGHAEI 'nin tez çalışmasında kullandığı yapı modellerinden yararlanılarak oluşturulmuştur (AGHAEI, 2022).

2.5.1.1. Modellerin genel özellikleri

Bu tez çalışmasında, 20 metre uzunluğa, 42 metre genişliğe ve 8 metre yüksekliğe sahip Endüstri tipi çelik yapı modelleri ele alınmıştır. Ele alınan çatı sistemleri;

- Çift eğimli düzlem (trapez) kafes sistemi,
- Dolu gövdeli/profil kiriş sistemi,
- Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem

Sistem modelleri ele alınmıştır. Kar yükleri (TS EN 1991-1-3 (Yapılar üzerindeki etkiler – Bölüm 1-3: Genel etkiler, kar yükleri) standardına uygun olarak kar yükü hesaplamaları yapıp üç farklı endüstri tipi çelik yapı modellerine etki ettirilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018 (TBDY 2018) yönetmeliğinin belirlediği esaslara uygun olarak gerekli yükler uygulanmış ve kontroller sağlanmıştır.

Modellerin tasarımları, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları – 2016 (ÇYTHYE 2016) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Rüzgar yükleri, Türk Standardı Tasarısı TS 498, TS EN 1991-1-4 (Yapılar Üzerindeki etkiler – Bölüm 1-4: Genel etkiler, rüzgar etkileri (Eurocode 1)) ve ASCE 7-10 standartları esas alınarak belirlenen modellere ilgili rüzgar yükü uygulanmıştır.

Modellerde baz alınan yapı konumu 37.50° enleminde ve 42.42° boylamında Şırnak Üniversitesi Mehmet Emin Acar Kampüsü içerisinde yer almaktadır.

İlgili rüzgar yönetmeliklerinin ve diğer yönetmeliklerin belirlediği esaslara uygun olarak endüstri tipi çelik yapı modelleri tasarlanmış olup Tablo 1’de modellere ilişkin genel bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Modellere ilişkin genel bilgiler

	Model A	Model B	Model C
Yapı Bölgesi	Şırnak Üniversitesi Mehmet Emin Acar Kampüsü	Şırnak Üniversitesi Mehmet Emin Acar Kampüsü	Şırnak Üniversitesi Mehmet Emin Acar Kampüsü
Enlem	37.505107°	37.505107°	37.505107°
Boylam	42.427409°	42.427409°	42.427409°
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	ZB	ZB
SDS	$0.50 \leq \text{SDS} < 0.75$	$0.50 \leq \text{SDS} < 0.75$	$0.50 \leq \text{SDS} < 0.75$
Yapı Uzunluğu	42 m	42 m	42 m
Yapı Genişliği	20 m	20 m	20 m
Yapı Yüksekliği	8 m	8 m	8 m
Kolon Yüksekliği	6 m	6,7,8 m	6 m
Çatı Eğimi (α)	11.31°	11.31°	0.0°

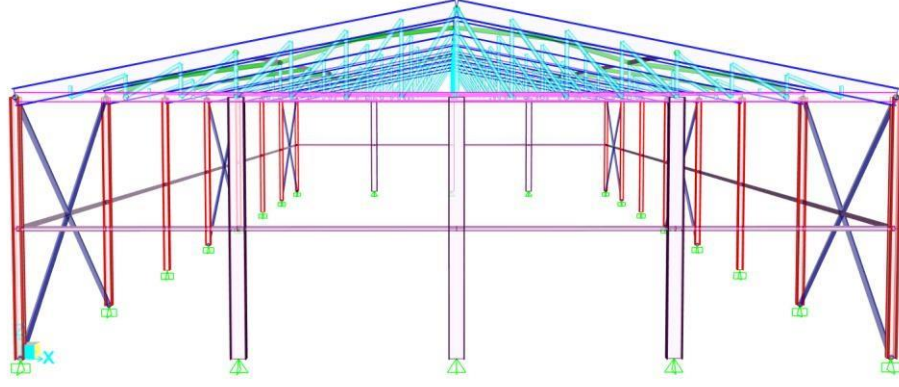
Bu çalışmada, zemin sınıfının ZB (az ayrışmış, orta sağlam kayalar) olduğu kabul edilerek analiz ve tasarım süreçleri bu varsayım doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

2.5.1.2. Model bilgileri

Bu bölümde, tez çalışmasında ele alınan Çift eğimli düzlem (trapez) kafes sistemli çelik yapı, Dolu gövdeli/profil kiriş sistemli çelik yapı ve Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemli çelik yapı olmak üzere üç farklı endüstri tipi çelik yapı modellerine ait bilgiler verilecektir.

2.5.1.2.1. Çift eğimli düzlem (trapez) kafes sistemi (Model A)

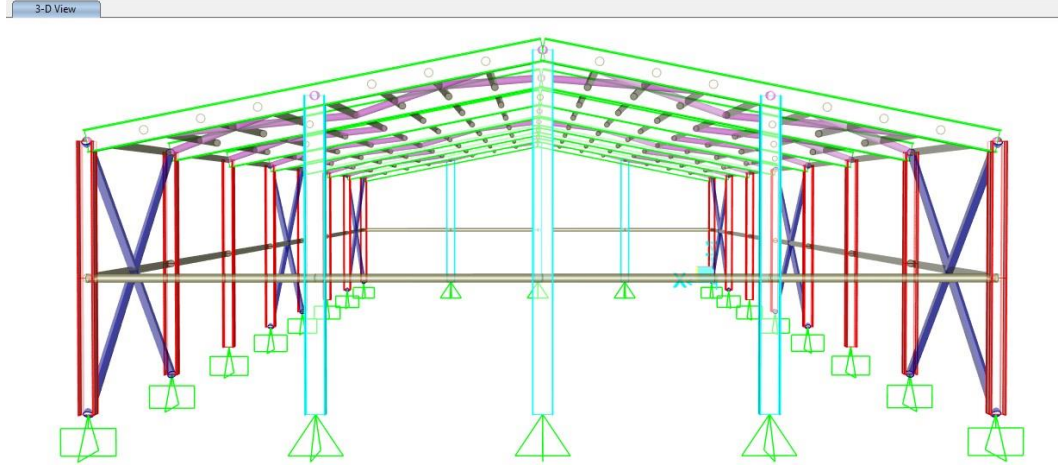
Trapez kafes sistemi, taşıyıcı kirişlerin kafes elemanlardan oluştuu bir yapı sistemidir. Büyük açıklıkların geçilmesi açısından diğer modellere göre daha avantajlı olduğu için sıkça tercih edilen bir sistem modelidir. Bu çalışma kapsamında kullanılan ilk yapı örneği Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Çift Eğimli Düzlem (Trapez) Kafes Sitemi (Model A)

2.5.1.2.2. Dolu gövdeli/profil kiriş sistemi (Model B)

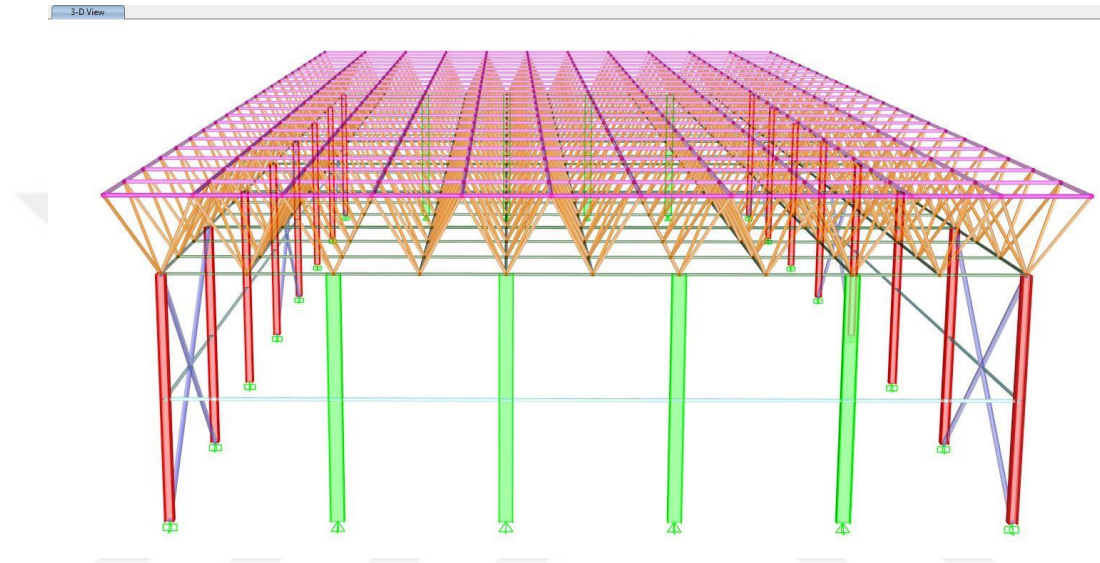
Dolu gövdeli profiller, yükleri doğrudan kolonlara ileten ve geniş açıklıklı çelik sistemlerinde kullanılan bir taşıyıcı sistem modelidir. Bu çalışma kapsamında kullanılan dolu gövdeli profil kiriş sistemi örneği Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11. Dolu gövdeli/profil kiriş sistemi (Model B)

2.5.1.2.3. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem (Model C)

Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemi mimari açıdan estetik bir görünüme sahiptir. Günümüzde estetik açıdan ve diğer yapı modellerine göre daha hafif olma özelliklerinden dolayı tercih edilen bir sistem modelidir. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem örneği Şekil 12’da gösterilmiştir.



Şekil 12. Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistem (Model C)

2.5.2. Yapıya Etki Eden Yükler

Yapılara etki eden yüklerin doğru hesaplanması, yapıya doğru bir şekilde tanımlanması yapının güvenliği için önemlidir. Bu kısımda rüzgar yükü dışında yapıya etki eden diğer yüklere değinilecektir. Rüzgar yüklemeleri ise Bölüm 3’te detaylı bir şekilde irdelenecektir.

2.5.2.1. Ölü yükler

Ölü yükler zaman içerisinde değişmeyen yapı üzerine her zaman etki eden yüklerdir. Yapı sistemlerinin eleman ağırlıklıkları SAP2000 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Aşıklar yapıda modellenmediği için aşık yükü ayrı olarak hesaplanıp

modele etki ettirilmiştir. Aşık yükü 0,10 kN/m², Kaplama yükü 0,15 kN/m² ve Kuşak yükü 0,30 kN/m² olarak hesaba katılmıştır.

2.5.2.2. Hareketli yük

Hareketli yükler yapının kullanım türüne ve insan hareketliliğine göre değişebilen yüklerdir. Tasarlanan modellerde hareketli yükün (Q) alınmasına gerek duyulmamıştır.

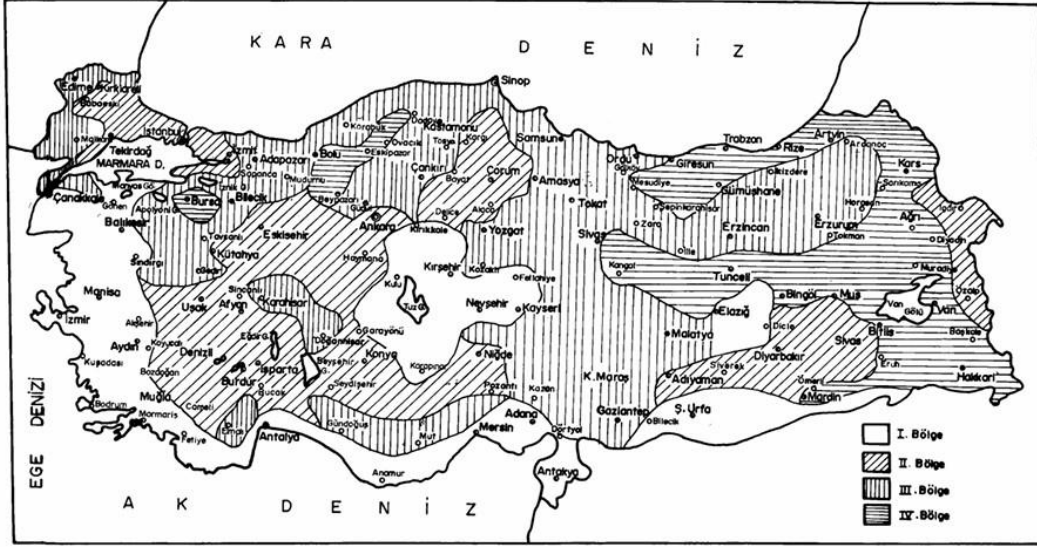
2.5.2.3. Kar yükü

Modellenen endüstri yapıları, Şırnak bölgesinde yer aldığından dolayı kar yükleri önemli bir etkiye sahiptir. Kar yükleri, tüm modellerde Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-3: Genel Etkiler – Kar Yükleri (EUROCODE 1) yönetmeliğine uygun olarak hesaplanmıştır. Kar yükü hesabı, Denklem (2.18) 'de sunulmuştur.

$$S = \mu_i C_e C_t S_k \quad (2.18)$$

μ_i	Kar yükü şekil katsayısı,
S_k	Karakteristik zemin kar yükü değeri,
C_e	Maruz kalma katsayısı,
C_t	Isı katsayısı.

Şırnak bölgesi Türkiye kar haritasında IV. Bölgede yer almaktadır. Türkiye için kar haritası Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13. Türkiye kar haritası (TS EN 1991-1-3, 2007)

Modellerdeki çatı eğimi (α) 0° ve 11.31° olduğundan dolayı, aşağıda Çizelge 14'te gösterildiği üzere μ_1 0.8 olarak alınmıştır.

Çizelge 14. Kar yükü şekil katsayıları

Çatı eğim açısı, α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 (60-\alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8+0,8 \alpha/30$	1,6	--

Şırnak, Türkiye kar haritasında IV. Bölgede 1400 metre rakımda yer aldığından, S_k değeri, Çizelge 15 'te gösterildiği gibi %10 artırılarak 1,76 olarak alınmıştır.

Çizelge 15. Karakteristik zemin kar yükü (S_k) değerleri kN/m^2 (TS EN 1991-1-3, 2007)

	1	2	3	4	5
1	Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER			
	m	I	II	III	IV
	≤ 200	0,75	0,75	0,75	0,75
2	300	0,75	0,75	0,75	0,80
	400	0,75	0,75	0,75	0,80
	500	0,75	0,75	0,75	0,85
3	600	0,75	0,75	0,80	0,90
	700	0,75	0,75	0,85	0,95
	800	0,80	0,85	1,25	1,40
4	900	0,80	0,95	1,30	1,50
	1000	0,80	1,05	1,35	1,60
5	>1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar % 10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde % 15 artırılır.			
Kar yağmayan yerlerde kar yükü hesap değeri sıfır alınır.					

Genel olarak ısı katsayısı C_t 1,0 olarak alınır. Maruz kalma katsayısı C_e çatı kar yükünün belirlenmesinde kullanılır. Özel değerler ifade edilmedikçe C_e değeri 1,0 olarak alınır. Çizelge 16'da tavsiye edilen C_e değerleri verilmiştir.

Çizelge 16. Farklı topografik alanlar için tavsiye edilen C_e değerleri (TS EN 1991-1-3, 2007)

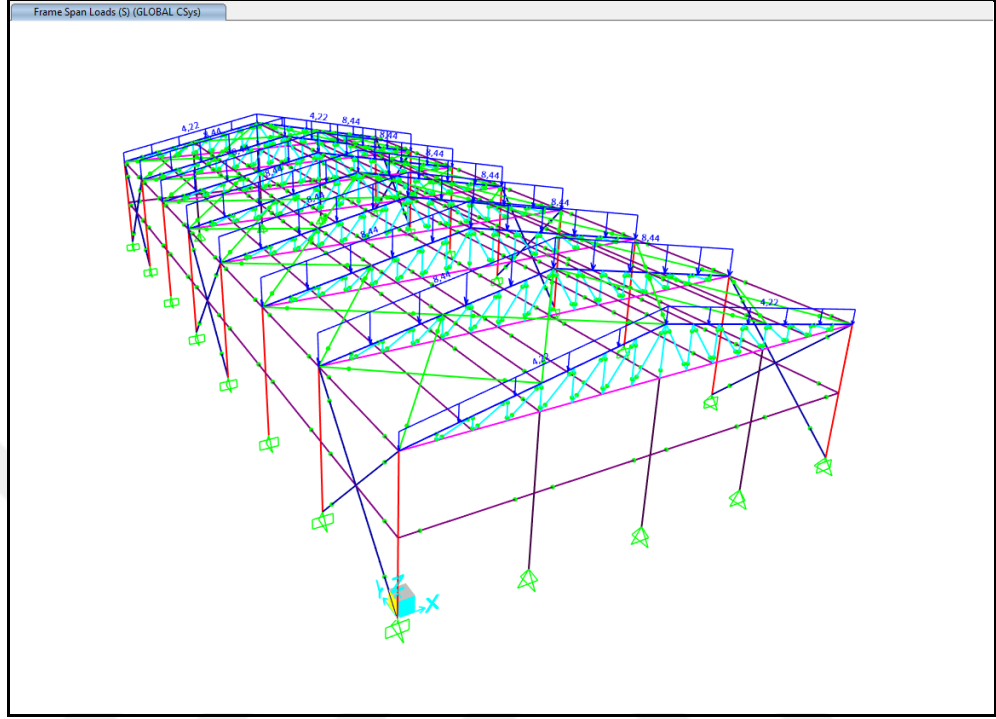
Topografik bölge	C_e
Rüzgara açık	0,8
Normal	1
Korunmuş	1,2

$$S = \mu_i C_e C_t S_k$$

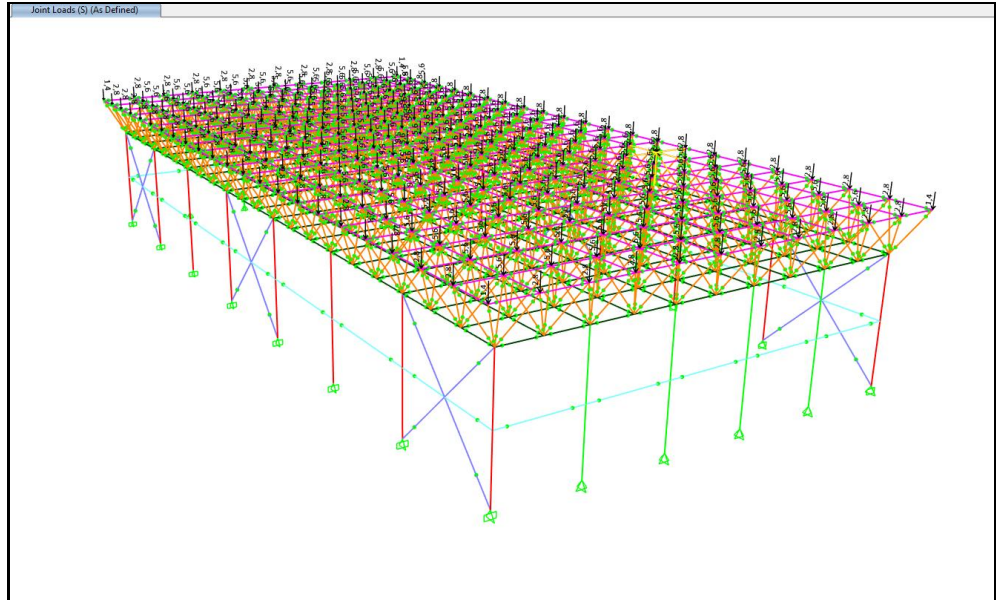
$$= 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,76$$

$$= 1.408 \text{ kN/m}^2$$

Örnek modellere etki eden kar yükleri, Şekil 14 ve Şekil 15'te görsel olarak verilmiştir.



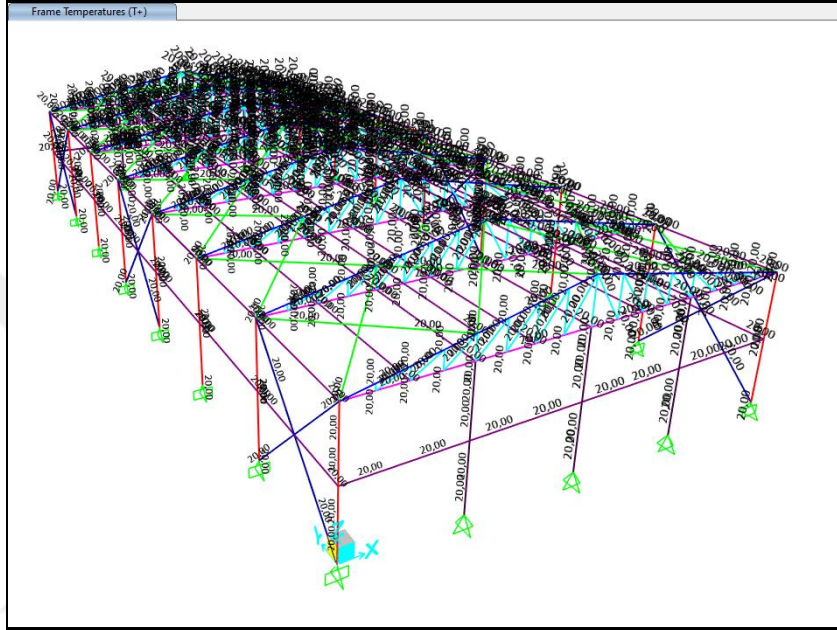
Şekil 14. Model A - kar yüklemesi (kN/m²)



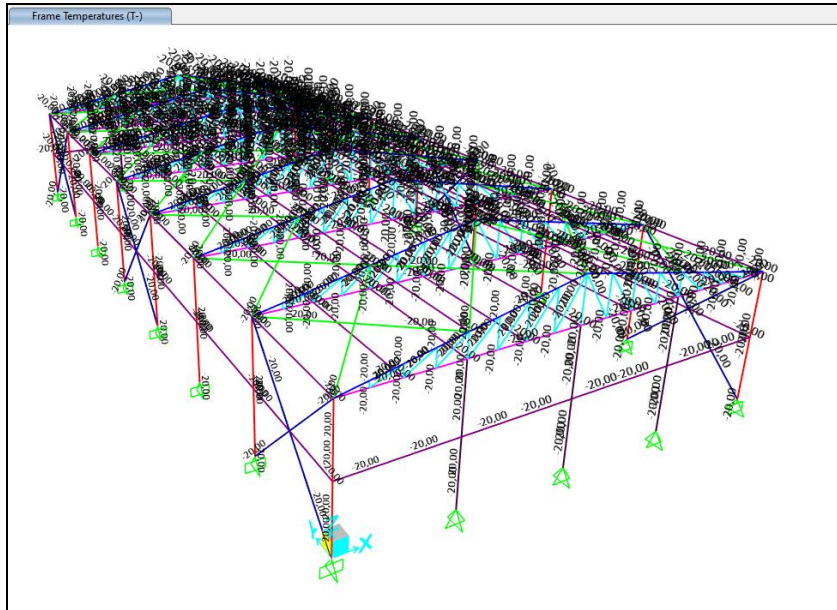
Şekil 15. Model C - kar yüklemesi (kN/m²)

2.5.2.4. Sıcaklık yüklemeleri

Sıcaklık yüklemesi yapının dayanıklılığı ve güvenliği için önemlidir. Yapıya +20,00 °C ve -20,00 °C sıcaklık yüklemesi yapılmıştır. Şekil 16 ve Şekil 17'de modellere uygulanan sıcaklık yüklemeleri gösterilmiştir.



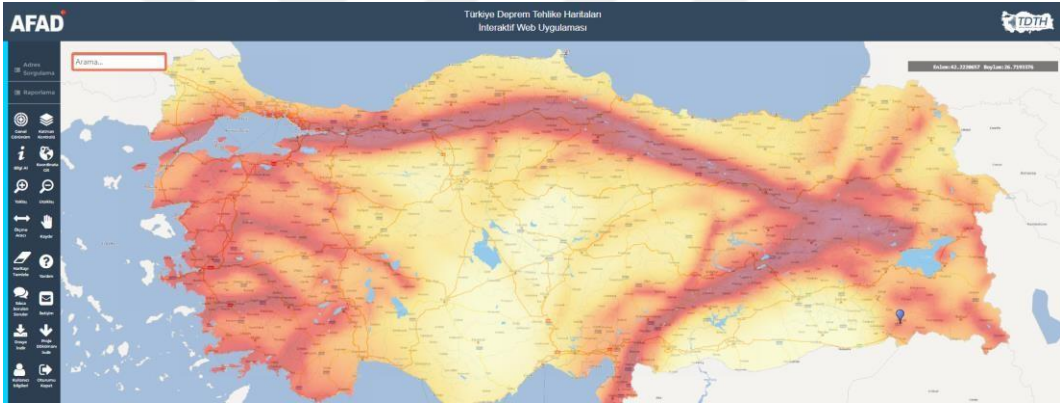
Şekil 16. Model A “T(+20°C)” Yükleme



Şekil 17. Model A “T(-20°C)” Yükleme

2.5.2.5. Sismik yüklemeler

Yapılar, deprem anında yatay ve düşey kuvvetlere maruz kalırlar. Sismik yüklemeler, yapının deprem anında maruz kaldığı kuvveti ifade eder. Bu bölümde, yapının sismik değerleri, Yapıların bulunduğu konuma ait sismik parametreler, AFAD'ın web sitesinde sunulan Türkiye Deprem Tehlike Haritası kullanılarak elde edilecektir. Bu sismik parametreler ile birlikte yapı zemin sınıf ve tasarım depremi bilgileriyle TBDY2018'de verilen bağıntılar ile yapılara etki eden deprem kuvvetleri belirlenecektir. Bu sayede yapıya deprem kuvveti uygulanacak ve yapının güvenliği bu doğrultuda sağlanacaktır. Modelde uygulanan konum koordinatları 37.50° enleminde ve 42.42° boylamındadır. Aşağıda Şekil 18'de yapının konumu gösterilmiştir.



Şekil 18. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2025)

DD-2: 50 yıl içerisinde aşılma olasılığı %10 olan deprem yer hareketi düzeyi (tekrarlanma periyodu 475 yıl) ve yerel zemin sınıfı ZB (az ayrışmış, orta sağlam kayalar) seçilmiştir.

2.5.2.5.1. Bina kullanım sınıfı (BKS)

Bina kullanım amaçlarına bağlı olarak, Bina Kullanım Sınıfı (BKS) TBDY 2018'de yer alan Tablo 3.1, aşağıda Çizelge 17'de gösterilmiştir. Endüstri yapıları, BKS 3 kategorisinde yer aldığından, Bina Önem Katsayısı (I) 1.0 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 17. Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları (TBDY, 2018)

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (<i>I</i>)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kıışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

2.5.2.5.2. Deprem tasarım sınıfı (DTS)

Deprem tasarım sınıfı (DTS), Bina kullanım sınıfına (BKS) ve Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı S_{DS} değerine bağlıdır. S_{DS} değeri 0.719 hesaplandığından ve BKS 3 olduğundan $0.50 \leq S_{DS} < 0.75$ aralığına denk gelen DTS 2 olarak elde edilmiştir. TBDY 2018’de yer alan Tablo 3.2, aşağıda Çizelge 18’de gösterilmiştir.

Çizelge 18. Deprem tasarım sınıfları (DTS), (TBDY, 2018)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2,3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

2.5.2.5.3. Bina yükseklik sınıfı (BYS)

Bina yüksekliği (H_N) 8 metre olup, DTS değeri 2 olarak belirlendiğinden, bu bina için $7,00 \leq H_N < 10,5$ aralığında yer almaktadır. Bu durumda, Bina yükseklik sınıfı (BYS) 7 olarak kabul edilmiştir. BYS, Deprem Tasarım Sınıfına bağlı olarak Çizelge 19’da verilmiştir.

Çizelge 19. Bina yükseklik sınıfları ve deprem tasarım sınıflarına göre tanımlanan bina yükseklik aralıkları (TBDY, 2018)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

2.5.2.5.4. Bina taşıyıcı sistemleri

Çelik taşıyıcı sistemler, süneklik düzeyine göre üç kategoriye ayrılmaktadır: yüksek süneklik düzeyine sahip taşıyıcı sistemler, sınırlı süneklik düzeyine sahip taşıyıcı sistemler ve karma süneklik düzeyine sahip taşıyıcı sistemler. Çelik bina taşıyıcı sistemleri, taşıyıcı sistemlere ve Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) koşullarını sağlamasına göre belirlenir. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D), taşıyıcı sistemin süneklik düzeyine bağlı olarak tanımlanmaktadır.

X yönünde çelik bina taşıyıcı sistemleri Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar sınıfına girdiği için C11 ve Y yönündeki çelik bina taşıyıcı sistemleri, Deprem etkilerinin tamamının

süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar sınıfına girdiği için C13 olarak seçilmiştir.

Çizelge 20, bina taşıyıcı sistemine ait bilgileri içermekte olup, bu bilgiler TBDY 2018 yönetmeliğinin Tablo 4.1'inden alınmıştır.

Çizelge 20. Bina Taşıyıcı Sistemleri için Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, Dayanım Fazlalığı Katsayısı ve İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları (TBDY, 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	$BYS \geq 3$
C12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5	$BYS \geq 2$
C13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2	$BYS \geq 4$
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	3	$BYS \geq 2$
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	6	2.5	$BYS \geq 2$
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2	–
C2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
C21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	$BYS \geq 4$
C22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2	$BYS \geq 4$
C3. Süneklik Düzeyi Sınırlı Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.7)			
C31. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	4	2.5	$BYS \geq 7$
C32. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	$BYS = 8$
C33. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> çelik çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	$BYS \geq 7$

Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulamasından alınan Şırnak Bölgesi Mehmet Emin Acar Kampüsü için çıktı bilgileri Şekil 19'da gösterilmiştir.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	uni	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar
Enlem:	37.505107°	
Boylam	42.427409°	

Çıktılar

$S_s = 0.799$ $S_1 = 0.180$ $PGA=0.341$ $PGV=17.457$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

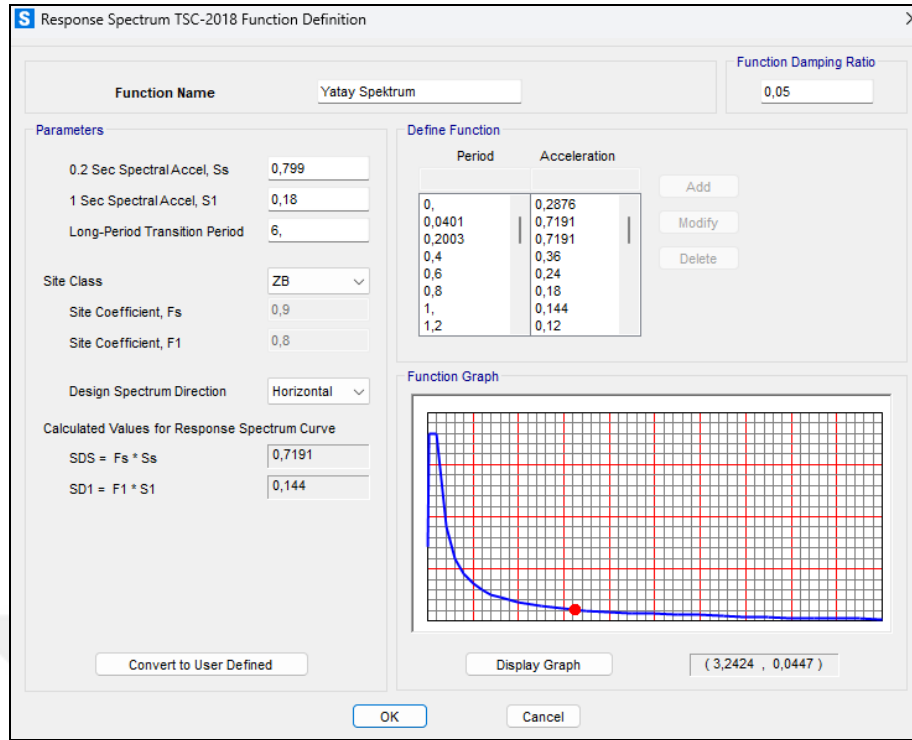
PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

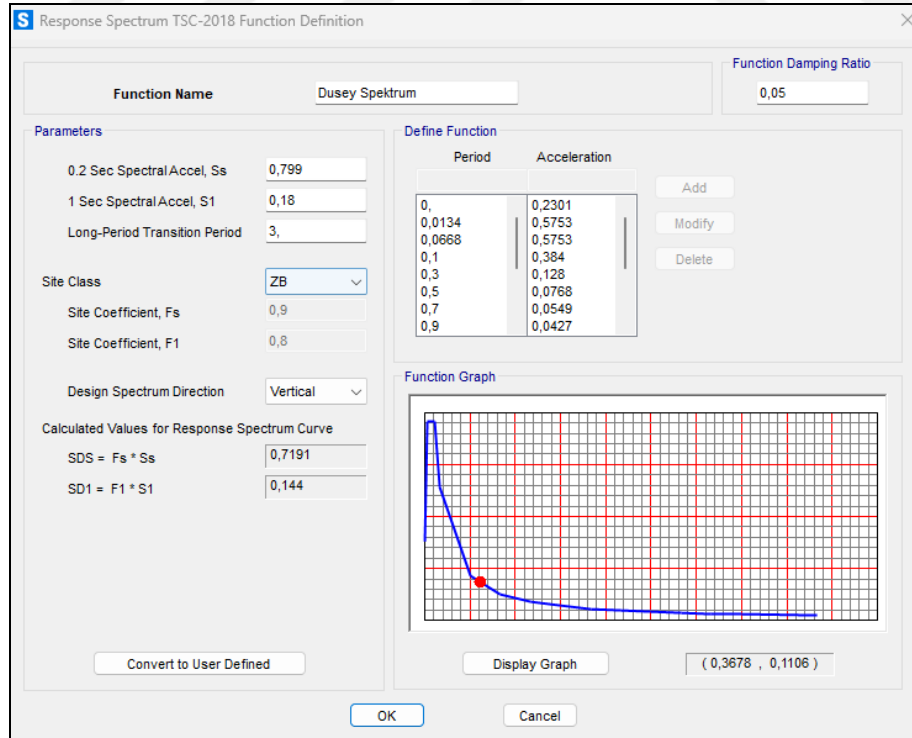
Şekil 19. Sismik veri değerleri (AFAD, 2025)

2.5.3. SAP 2000 tasarım spektrum girdileri

Tasarlanan modellerin sismik girdileri, SAP2000 programında ilgili modellere uygulanmış olup, bu değerler aşağıda Şekil 20 - 25'te detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 20. SAP2000 Sismik Model Girdileri 1



Şekil 21. SAP2000 Sismik Model Girdileri 2

Mass Source Data

Mass Source Name:

Mass Source

☐ Element Self Mass and Additional Mass

☒ Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1,
DEAD	1,
C	1,
S	0,3
Qr	0,3
Q	0,3

Add Modify Delete

OK Cancel

Şekil 22. SAP2000 Sismik Model Girdileri 3

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: Set Def Name Modify/Show...

Modal Combination

☒ CQC ☐ SRSS ☐ Absolute ☐ GMC ☐ NRC 10 Percent ☐ Double Sum

GMC f1: GMC f2: Periodic + Rigid Type:

Modal Load Case

Use Modes from this Modal Load Case:

☒ Standard - Acceleration Loading ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	Yatay Spekti	1,2263
Accel	U1	Yatay Spektrum	1,2263

Add Modify Delete

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters

Modal Damping: Modify/Show...

Load Case Type

Response Spectrum Design...

Directional Combination

☒ SRSS ☐ CQC3 ☐ Absolute

Scale Factor:

Mass Source

Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity

Eccentricity Ratio:

Override Eccentricities:

OK Cancel

Şekil 23. SAP2000 Sismik Model Girdileri 4

S Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name
Sy

Modal Combination
☒ CQC ☐ SRSS ☐ Absolute ☐ GMC ☐ NRC 10 Percent ☐ Double Sum
 GMC f1 1, GMC f2 0,
 Periodic + Rigid Type SRSS

Modal Load Case
 Use Modes from this Modal Load Case MODAL
☒ Standard - Acceleration Loading ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	Yatay Spektr	1,962
Accel	U2	Yatay Spektrum	1,962

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters
 Modal Damping Constant at 0,05

Load Case Type
 Response Spectrum

Directional Combination
☒ SRSS ☐ CQC3 ☐ Absolute
 Scale Factor

Mass Source
 Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity
 Eccentricity Ratio 0,05

Şekil 24. SAP2000 Sismik Model Girdileri 5

S Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name
Sz

Modal Combination
☒ CQC ☐ SRSS ☐ Absolute ☐ GMC ☐ NRC 10 Percent ☐ Double Sum
 GMC f1 1, GMC f2 0,
 Periodic + Rigid Type SRSS

Modal Load Case
 Use Modes from this Modal Load Case MODAL
☒ Standard - Acceleration Loading ☐ Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U3	Dusey Spekt	9,81
Accel	U3	Dusey Spektrum	9,81

☐ Show Advanced Load Parameters

Other Parameters
 Modal Damping Constant at 0,05

Load Case Type
 Response Spectrum

Directional Combination
☒ SRSS ☐ CQC3 ☐ Absolute
 Scale Factor

Mass Source
 Previous (MSSSRC1)

Diaphragm Eccentricity
 Eccentricity Ratio 0,05

Şekil 25. SAP2000 Sismik Model Girdileri 6

Yapının sismik yüklemelerinden elde edilen değerler ve tanımlardan aşağıda bahsedilmiştir.

DD-2 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareket düzeyi.

Yerel Zemin Sınıfı: ZB (az ayrılmış orta sağlam kayalar)

$$\begin{array}{llll}
 S_s & 0.799 & F_s & 0.900 & T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} & 0.2 \frac{0.144}{0.719} = 0.04 \\
 S_1 & 0.180 & F_1 & 0.800 & T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} & \frac{0.144}{0.719} = 0.2 \\
 S_{DS} & 0.719 & S_{DS} = S_s F_s & & T_L = 6s & \\
 S_{D1} & 0.144 & S_{D1} = S_1 F_1 & & &
 \end{array}$$

X yönündeki Çelik Bina Taşıyıcı Sistemleri C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar.

Y yönündeki Çelik Bina Taşıyıcı Sistemleri C13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar

Bina Yüksekliği H_N : 8 metre

X yönü :

Bina Yükseklik Sınıfı BYS : 7

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 8$

Bina Önem Katsayısı $I : 1$

Dayanım fazlalığı katsayısı $D = 3$

Bina Kullanım Sınıfı BKS : 3

Y yönü:

Deprem Tasarım Sınıfı DTS : 2

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R = 5$

Dayanım fazlalığı katsayısı $D = 2$

Scale Factor g/R

Hareketli yük azaltma katsayısı $= 0.3$

X yönü Scale Factor $g/R : 9.81/8$
 $= 1.226$

Kar yükü azaltma katsayısı $= 0.3$

Kütle $W = G + 0.3S = G + 0.3Q$

Y yönü Scale Factor $g/R : 9.81/5$
 $= 1.962$

$= 903,129 + 0.3 \times 1182,089 = 1257.76 \text{ kN}$

Depremde etkin kütle hesabı (W) örnek Model A üzerinden Eurocode 1-4 için yapılmıştır.

Yük	Global Fx kN	Global Fy kN	Global Fz kN
G	-	-	903,129
S	-	-	1182,089
Q	-	-	0,00

2.5.4. Yük Birleşimleri

Türkiye’de yapıların güvenli ve ekonomik tasarımı için kullanılan ÇYTHYE 2016, yük birleşimlerinin modellenmesi ve analizi konusunda kapsamlı bir rehber sunmaktadır. ÇYTHYE 2016 yönetmeliğine göre yük birleşimleri modellere etki edilmiştir. Deprem etkisi, E için yürürlükteki TBDY 2018 koşulları esas alınmıştır.

- (1) $1.4G$
- (2) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (3) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$
- (4) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$
- (5) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$
- (6) $0.9G + 1.6W$
- (7) $0.9G + 1.0E$

G : sabit yük

Q : hareketli yük

Q_r : çatı hareketli yükü

S : kar yükü

W : rüzgar yükü

E : deprem etkisi

Bu çalışmadaki yük kombinasyonları, Siamak AGHAEI ‘nin çalışmasında yer alan kombinasyonlardan faydalanılarak uygulanmıştır. Uygulanan yük kombinasyonları Çizelge 20’de gösterilmiştir. (AGHAEI, 2022)

Çizelge 20. Uygulanan yük kombinasyonları (AGHAEI, 2022)

1	1.4G
2	1.4G+1.0T(+)
3	1.4G+1.0T(-)
4	1.4G+1.4NG _x +1.0T(+)
5	1.4G+1.4NG _x +1.0T(-)
6	1.4G+1.4NG _y +1.0T(+)
7	1.4G+1.4NG _y +1.0T(-)
8	1.2G+1.6Q _r
9	1.2.G+1.6.Q _r +1.0.T(+)
10	1.2.G+1.6.Q _r +1.0.T(-)
11	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.Q _r +1.6.NQ _{rx} +1.0.T(+)
12	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.Q _r +1.6.NQ _{rx} +1.0.T(-)
13	1.2.G+1.2.NG _y +1.6.Q _r +1.6.NQ _{ry} +1.0.T(+)
14	1.2.G+1.2.NG _y +1.6.Q _r +1.6.NQ _{ry} +1.0.T(-)
15	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.S+1.0.T(+)
16	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.S+1.0.T(-)
17	1.2.G+1.2.NG _y +1.6.S+1.0.T(+)
18	1.2.G+1.2.NG _y +1.6.S+1.0.T(-)
19	1.2.G+1.6.Q+0.5.Q _r
20	1.2.G+1.6.Q+0.5.Q _r +1.0.T(+)
21	1.2.G+1.6.Q+0.5.Q _r +1.0.T(-)
22	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.Q+0.5.Q _r +0.5.NQ _{rx} +1.0.T(+)
23	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.Q+0.5.Q _r +0.5.NQ _{rx} +1.0.T(-)
24	1.2.G+1.2.NG _y +1.6.Q+0.5.Q _r +0.5.NQ _{ry} +1.0T(+)
25	1.2.G+1.2.NG _y +1.6.Q+0.5.Q _r +0.5.NQ _{ry} +1.0T(-)
26	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.Q+0.5.S _x +1.0.T(+)
27	1.2.G+1.2.NG _x +1.6.Q+0.5.S _x +1.0.T(-)
28	1.2.G+1.2.NG _y +1.6.Q+0.5.S _y +1.0.T(+)

29	$1.2.G+1.2.NGy+1.6.Q+0.5.Sy+1.0.T(-)$
30	$1.2.G+1.6.Qr+1.0.Q$
31	$1.2.G+1.6.Qr+1.0.Q+1.0T(+)$
32	$1.2.G+1.6.Qr+1.0.Q+1.0T(-)$
33	$1.2.G+1.6.Sx+0.8.WL(+x)+1.0T(+)$
34	$1.2.G+1.6.Sx+0.8.WL(+x)+1.0T(-)$
35	$1.2.G+1.6.Sy+0.8.WL(+y)+1.0T(+)$
36	$1.2.G+1.6.Sy+0.8.WL(+y)+1.0T(-)$
37	$1.2.G+1.6.Sx+0.8.WL(-x)+1.0T(+)$
38	$1.2.G+1.6.Sx+0.8.WL(-x)+1.0T(-)$
39	$1.2.G+1.6.Sy+0.8.WL(-y)+1.0T(+)$
40	$1.2.G+1.6.Sy+0.8.WL(-y)+1.0T(-)$
41	$1.2.G+1.0.Q+0.5.Qr+1.6.WL(+x)$
42	$1.2.G+1.0.Q+0.5.Qr+1.6.WL(+y)$
43	$1.2.G+1.0.Q+0.5.Qr+1.6.WL(-x)$
44	$1.2.G+1.0.Q+0.5.Qr+1.6.WL(-y)$
45	$1.2.G+1.0.Q+0.5.S(x)+1.6.WL(+x)$
46	$1.2.G+1.0.Q+0.5.S(x)+1.6.WL(-x)$
47	$1.2.G+1.0.Q+0.5.S(y)+1.6.WL(+y)$
48	$1.2.G+1.0.Q+0.5.S(y)+1.6.WL(-y)$
49	$0.9.G+1.6.WL.(+x)$
50	$0.9.G+1.6.WL.(-x)$
51	$0.9.G+1.6.WL.(+y)$
52	$0.9.G+1.6.WL.(-y)$
53	$G+Q$ (SEHIM)
54	$G+0.5S$ (SEHIM)
55	$G+0.5Q$ (SEHIM)
56	$G + 0.5.Q + WL(+x)$ (SEHIM)
57	$G + 0.5.Q + WL(-x)$ (SEHIM)
58	$G + 0.5.Q + WL(+y)$ (SEHIM)
59	$G + 0.5.Q + WL(-y)$ (SEHIM)
60	$1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.\beta \cdot Sx+0.3.\beta \cdot Sy$
61	$1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.\beta \cdot Sy+0.3.\beta \cdot Sx$

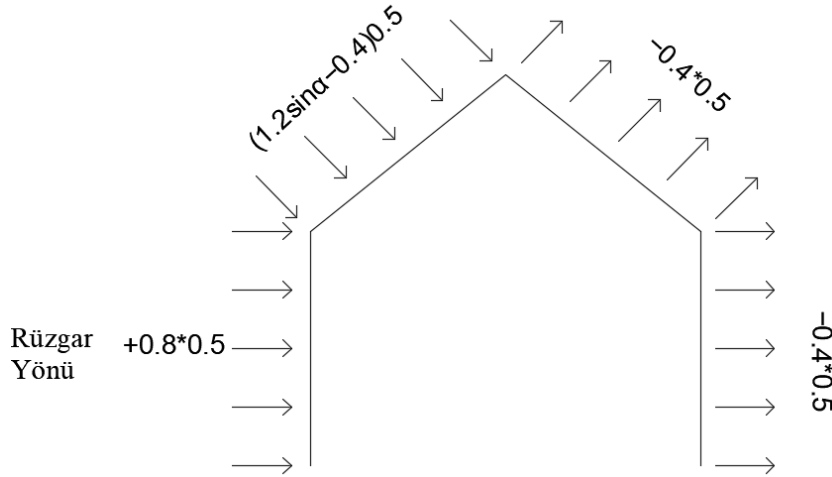
3. MODELLERDE İLGİLİ STANDARTLARA GÖRE RÜZGAR YÜK HESAPLAMALARI

Bu bölümde, tasarlanan modeller için rüzgar yük hesaplamaları, ilgili standartlara uygun olarak yapılmıştır ve bu hesaplamalar detaylı bir şekilde gösterilmiş olup şekiller ve tablolar aracılığıyla sunulmuştur.

Duvarlara yönelik rüzgar yükü hesaplama aşamaları, örnek olarak Model A üzerinde incelenecektir. Çatılar için çift eğimli ve düz çatılara ilişkin rüzgar yükü hesap aşamaları ele alınacaktır.

3.1. TS 498 Standardına Göre Çözüm

Yapı yüksekliği 8 metre olduğundan yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı ve emme basıncı tablosu dikkate alınarak, 0-8 metre aralığı için rüzgâr hızı 28 m/s olarak ve emme basıncı $q = 0,5 \text{ kN/m}^2$ alınmıştır. Şekil 26'da, TS 498'e göre ana taşıyıcı sistemde rüzgar yükünün dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 26. TS498 Rüzgar yükünün ana taşıyıcı sistemde dağılımı

3.1.1. Wx yönünde (0° açıyla) rüzgar yük hesabı

Rüzgarın 0° açıyla esmesi durumunda rüzgar yük hesabı aşağıda yapılmıştır.

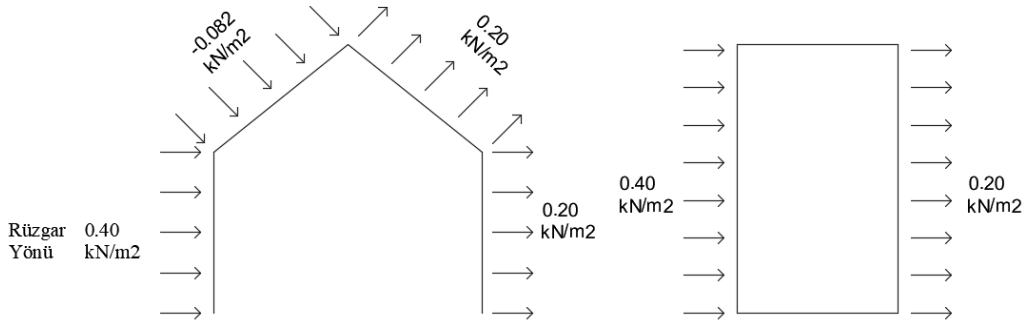
$$F1 = 0.5 \cdot 0.8 = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

$$F2 = (1.2 \sin \alpha - 0.4) \cdot 0.5 = -0.082 \text{ kN/m}^2 \text{ kN/m}^2$$

$$F3 = 0.5 \cdot 0.4 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

$$F4 = 0.5 \cdot 0.4 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

Şekil 27’de, Wx yönünde hesaplanan rüzgar yükünün yapı üzerinde yüklerin dağılımı görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 27. Wx yönünde (0° açıyla) etkiyen rüzgar yükü

3.1.2. Wy yönünde (90° açıyla) rüzgar yük hesabı

Rüzgarın 90° açıyla esmesi durumunda rüzgar yük hesabı aşağıda yapılmıştır.

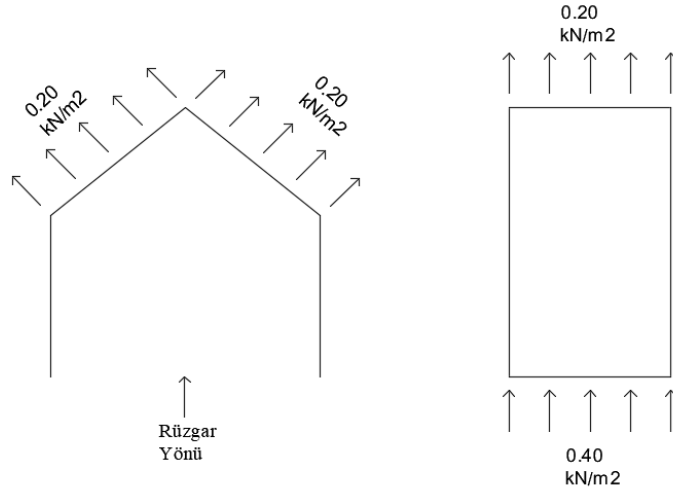
$$F1 = 0.5 \cdot 0.8 = 0.4 \text{ kN/m}^2$$

$$F2 = 0.5 \cdot 0.4 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

$$F3 = 0.5 \cdot 0.4 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

$$F4 = 0.5 \cdot 0.4 = 0.2 \text{ kN/m}^2$$

Şekil 28’de, Wy yönünde hesaplanan rüzgar yükünün yapı üzerinde yüklerin dağılımı görsel olarak sunulmuştur.

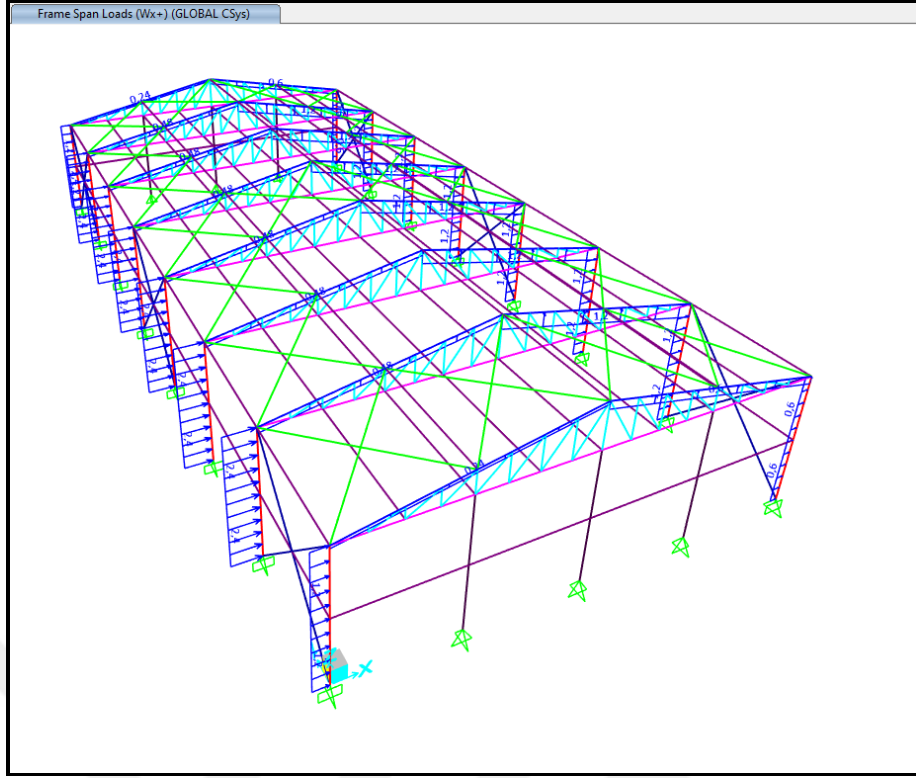


Şekil 28. Wy yönünde (90° açıyla) etkiyen rüzgar yükü

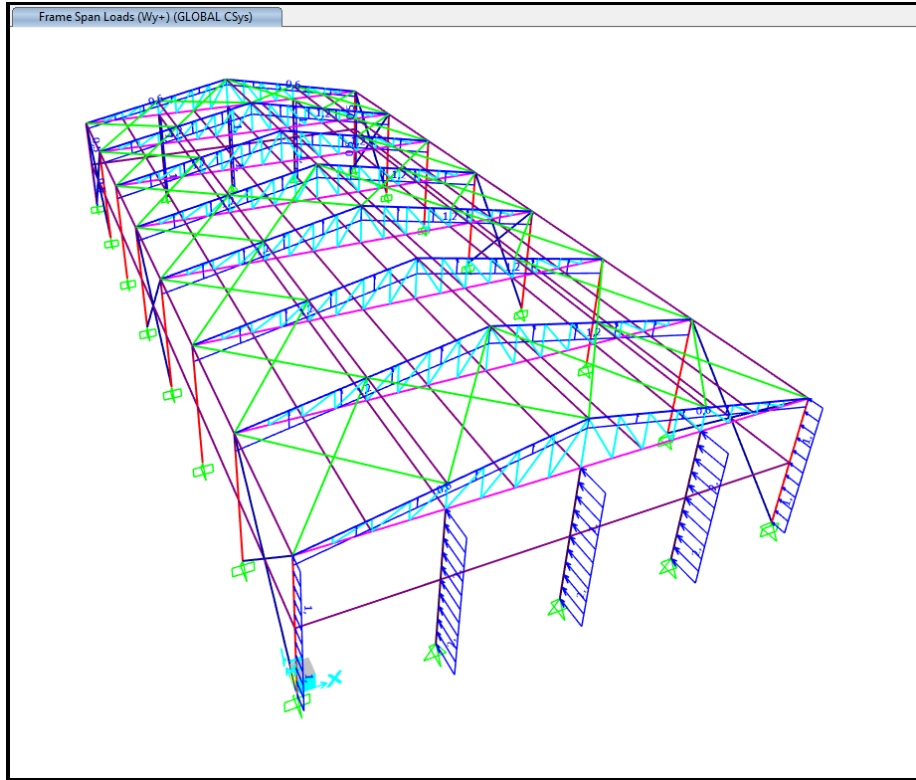
3.1.3. Düz çatılar için rüzgar yük hesabı

$\sin 0 = 0$ olduğundan, çatı için elde edilen sonuç $0.4 q$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer, $q = 0.5 \text{ kN/m}^2$ alınarak $0.4 \times 0.5 = 0.2 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur

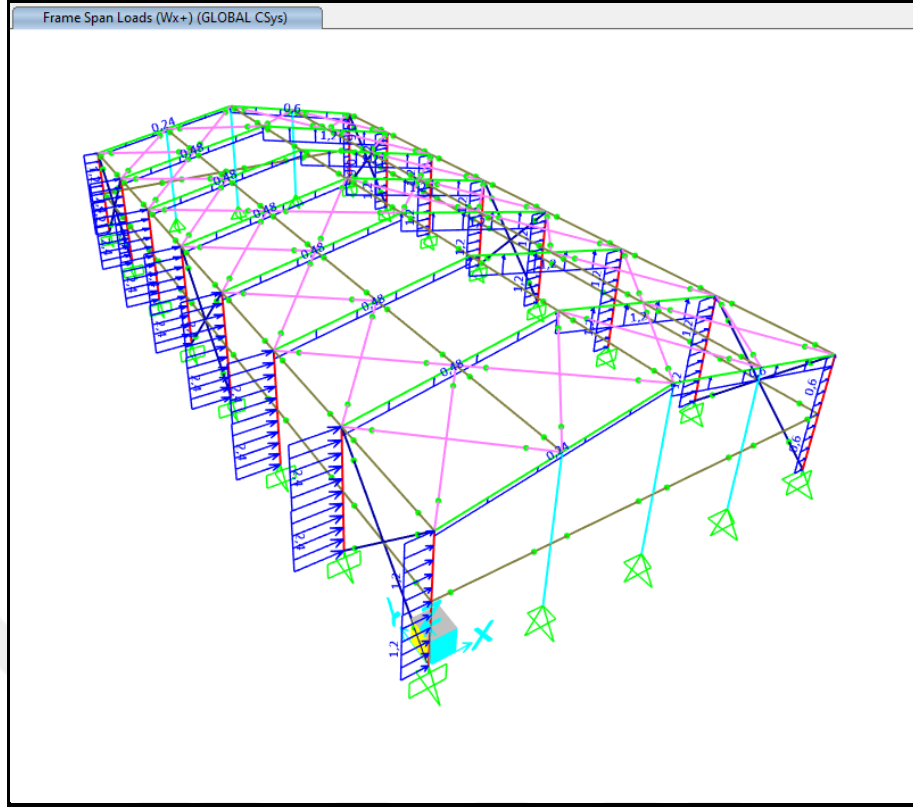
Hesaplanan bu değerler, Model A, B ve C için gerçekleştirilmiş olup, tasarlanan modellere uygulanmıştır. Bu değerlerin modellere uygulanması aşağıda Şekil 29 - 34'te gösterilmiştir.



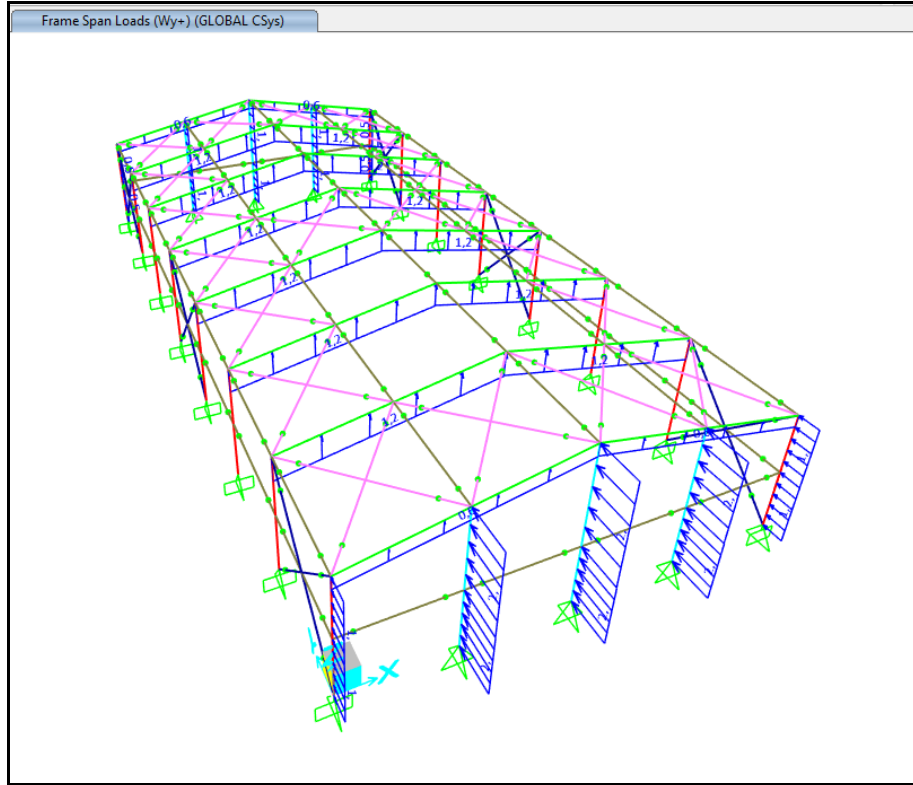
Şekil 29. Model A “Wx(+)” rüzgar yüklemesi



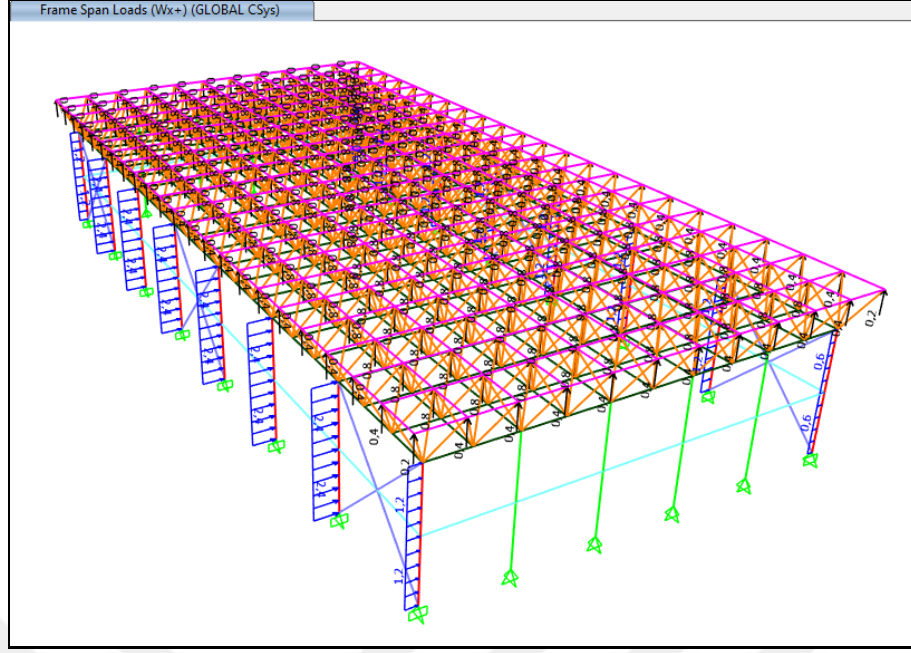
Şekil 30. Model A “Wy(+)” rüzgar yüklemesi



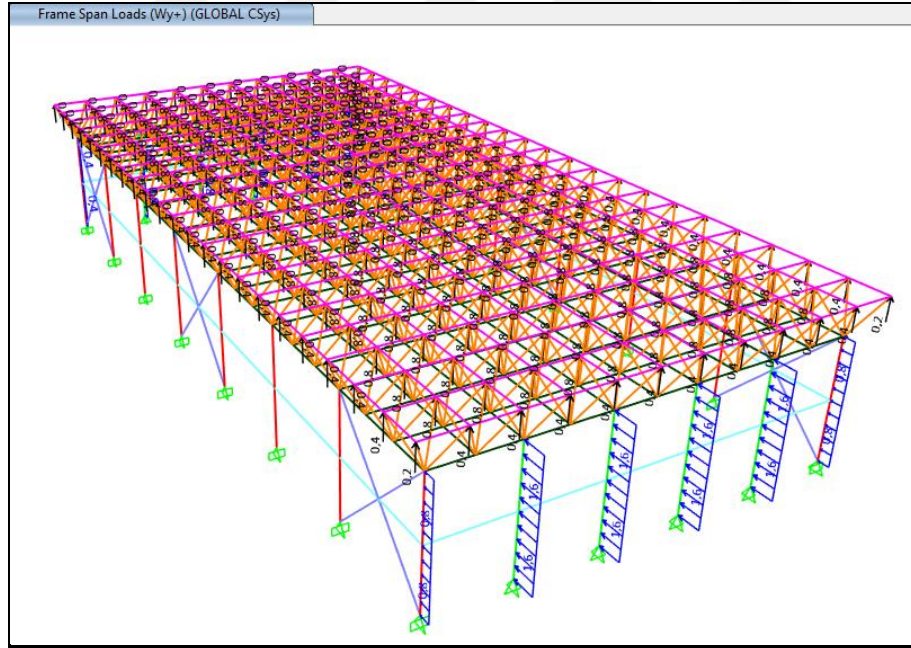
Şekil 31. Model B “Wx(+)” rüzgar yüklemesi



Şekil 32. Model B “Wy(+)” rüzgar yüklemesi



Şekil 33. Model C “Wx(+)” rüzgar yüklemesi



Şekil 34. Model C “Wy(+)” rüzgar yüklemesi

3.2. Eurocode 1-4 Standardına Göre Çözüm

Eurocode 1-4 standardına göre rüzgar hesabı bu bölümde yapılmıştır. Arazi kategorisi olarak, çayır gibi az seviyede bitki örtüsü olan ve aralarından en az engel yüksekliğinin 20 katı kadar mesafe bulunan engellere sahip olan Arazi kategorisi II seçilmiştir.

Temel rüzgar hızı değeri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0}$$

$v_{b,0}$: Esas rüzgar hızının temel değeri 27.78 m/s,

C_{dir} : Doğrultu katsayısı 1,0

C_{season} : Mevsim katsayısı 1,0

olarak alınmıştır.

$$= 1 \cdot 1 \cdot (27.78) = 27.78 \text{ m/s}$$

Esas hız kaynaklı rüzgar basıncı aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

ρ : Rakıma bağlı hava yoğunluğu 1,25 kg/m³ alınmıştır.

$$= \frac{1}{2} \cdot (1,25) \cdot (27.78)^2 = 482.3 \text{ N/m}^2 = 0.48 \text{ kN/m}^2$$

Arazi katsayısı k_r aşağıda hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{Z_0}{Z_{0,u}} \right)^{0,07}$$

$$= 0,19 \cdot (0,05/0,05)^{0,07} = 0,19$$

Arazi engebелilik katsayısı aşağıda hesaplanmıştır. Yapı yüksekliği 8 m olduğundan Z 8 alınmıştır.

$$c_r(Z) = k_r(Z) \cdot \ln \left(\frac{Z}{Z_0} \right)$$

$$= 0,19 \cdot \ln \left(\frac{8,00}{0,05} \right) = 0,96$$

Ortalama rüzgar hızı $v_m(Z)$ aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Orografi katsayısı $c_o(Z)$, 1 olarak alınmıştır.

$$v_m(Z) = c_r(Z) \cdot c_o(Z) \cdot v_b$$

$$= 0,96 \cdot 1 \cdot 27,78 = 26,67 \text{ m/s}$$

Türbülans şiddeti $I_v(Z)$ 'nin hesaplaması aşağıda sunulmuştur. Türbülans katsayısı k_t için tavsiye edilen değer 1,0 dir.

$$I_v(Z) = \frac{\sigma_v}{v_m(Z)} = \frac{k_t}{c_o(Z) \ln\left(\frac{Z}{Z_0}\right)}$$

$$= \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{8,00}{0,05}\right)} = 0.20$$

Tepe hız kaynaklı rüzgar basıncı $q_p(z)$, aşağıda hesaplanmıştır.

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

$$= [1 + 7 (0.20)] \left(\frac{1}{2}\right) \cdot (1.25) \cdot 26.67^2 = 1.07 \text{ kN/m}^2$$

Maruz kalma katsayısı $c_e(z)$, aşağıda hesaplanmıştır.

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_p}$$

$$= 1.07 / 0.48 = 2.23$$

3.2.1. Rüzgarın W_x (0°) yönünde esmesi durumu

Rüzgarın 0° açıyla esmesi ve düşey duvarlara etkimesi durumunda yapılan hesaplamalar aşağıda sunulmuştur.

$$e = b \text{ veya } 2h \text{ (hangisi küçükse) } e < d$$

$$b = 42 \text{ m}$$

$$d = 20 \text{ m}$$

$$e = 16 \text{ m}$$

$$h = 8 \text{ m}$$

$c_{pe,10}$ ve $c_{pe,1}$ değerleri h/d oranına bağlıdır. Ara değerlerde interpolasyon işlemi uygulanarak uygun katsayı değerleri hesaplanır. Çizelge 3'te dūřey duvarları için önerilen dış basınc katsayısı değerleri verilmiş olup aşağıda Tablo 2'de Rūzgarın 0° açıyla esmesi durumunda interpolasyon işlemi uygulanıp dış basınc katsayı değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 2. Rūzgarın 0° açıyla esmesi durumunda dış basınc katsayı değerleri

h/d = 0.4					
Rūzgarın Wx 0° açıyla esmesi durumunda					
8/20					
Bölge	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
$c_{pe,net}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,72	-0,3
$q_p(z)$	1,07 kN/m ²				
$q_p(z) \cdot c_{pe,net}$	-1,28	-0,86	-0,54	0,77	-0,34

3.2.2. Rūzgarın Wy (90°) ynūnde esmesi durumu

Wx için gerçekleştirilen işlemler, Wy için de uygulanmış olup, elde edilen değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Rüzgarın 90° açıyla esmesi durumunda dış basınç katsayı değerleri

h/d = 0.19					
Rüzgarın Wy 90° açıyla esmesi durumunda					
8/42					
Bölge	A	B	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
$c_{pe,net}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,7	-0,3
$q_p(z)$	1,07 kN/m ²				
$q_p(z) \cdot c_{pe,net}$	-1,28	-0,86	-0,54	0,75	-0,32

3.2.3. Çift eğimli çatılarda rüzgar yükü

Eurocode 1-4 çatı için farklı bir etkiye yöntemi belirlemiştir. Çatıyı farklı bölümlere ayırarak her bir bölüme farklı rüzgar basınç katsayılarını etki ettirerek değerlendirir ve bölgelere bu yöntem sayesinde farklı rüzgar yükleri etkimiş olur. Bu projede, 11,31° eğime sahip çift eğimli çatı tasarımı yapılmış ve bu doğrultuda örnek modeller oluşturulmuştur. Tablo 4 ve Tablo 5'te, çift eğimli çatılar için dış basınç katsayıları interpolasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve sunulmuştur.

Tablo 4. Rüzgarın Wx 0° açıyla esmesi durumunda dış basınç katsayıları

Rüzgarın Wx 0° açıyla esmesi durumunda					
Bölge	F	G	H	I	J
5°	-1,7	-1,2	-0,6	-0,6	0,2
11,31°	-1,2	-0,95	-0,41	-0,47	-0,56
15°	-0,9	-0,8	-0,3	-0,4	-1,0
$q_p(z) \cdot c_{pe,net}$	-1,28	-1,01	-0,44	-0,51	-0,6

Tablo 5. Rüzgarın Wy 90° açıyla esmesi durumunda dış basınç katsayıları

Rüzgarın Wy 90° açıyla esmesi durumunda				
Bölge	F	G	H	I
5°	-1,6	-1,3	-0,7	-0,6
11,31°	-1,41	-1,3	-0,64	-0,54
15°	-1,3	-1,3	-0,6	-0,5
$q_p(z) \cdot c_{pe,net}$	-1,51	-1,39	-0,68	-0,58

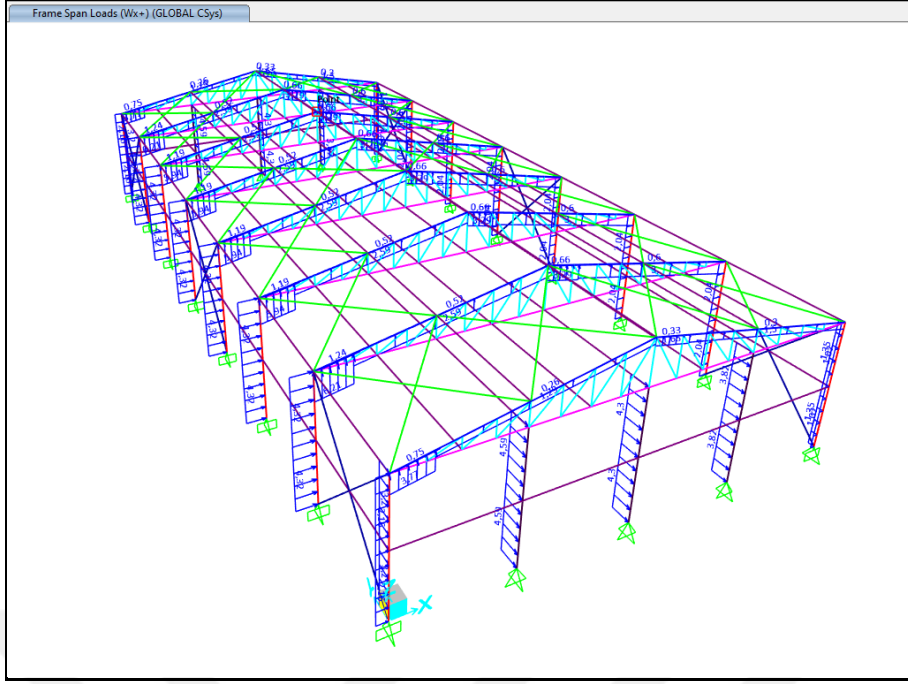
3.2.4. Düz çatılarda rüzgar yükü

Bu projede, düz çatı tipi tasarımı kapsamında keskin kenarlı saçaklar için örnek bir model oluşturulmuştur. Düz çatılar için dış basınç katsayıları Tablo 6’da verilmiştir.

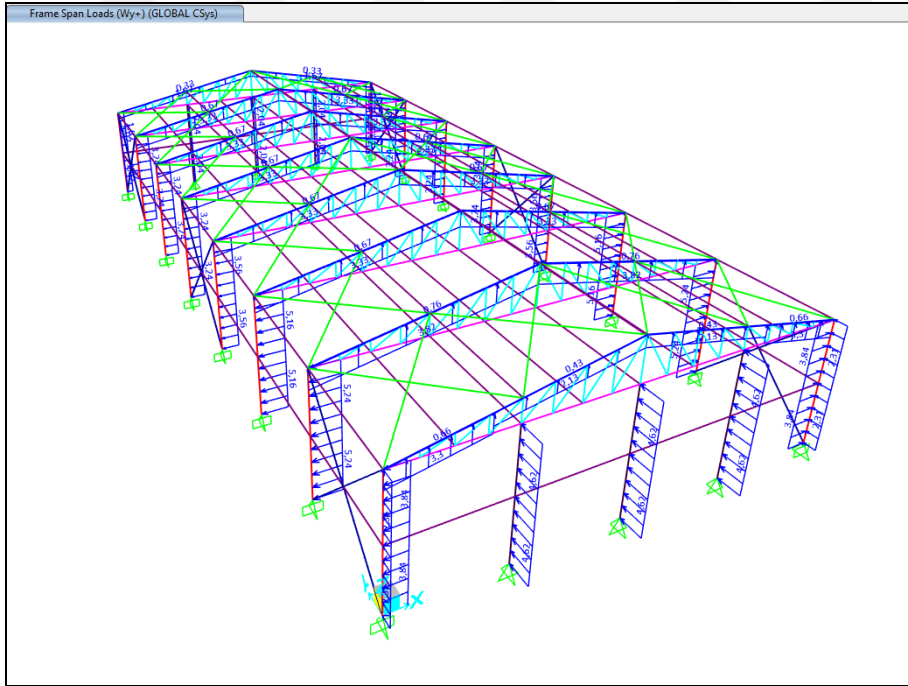
Tablo 6. Düz çatılar için dış basınç katsayıları

Bölge	F	G	H	I
Keskin kenarlı saçaklar	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2
$q_p(z)$	1,07 kN/m ²			
$q_p(z) \cdot c_{pe,net}$	-1,93	-1,28	-0,75	-0,21

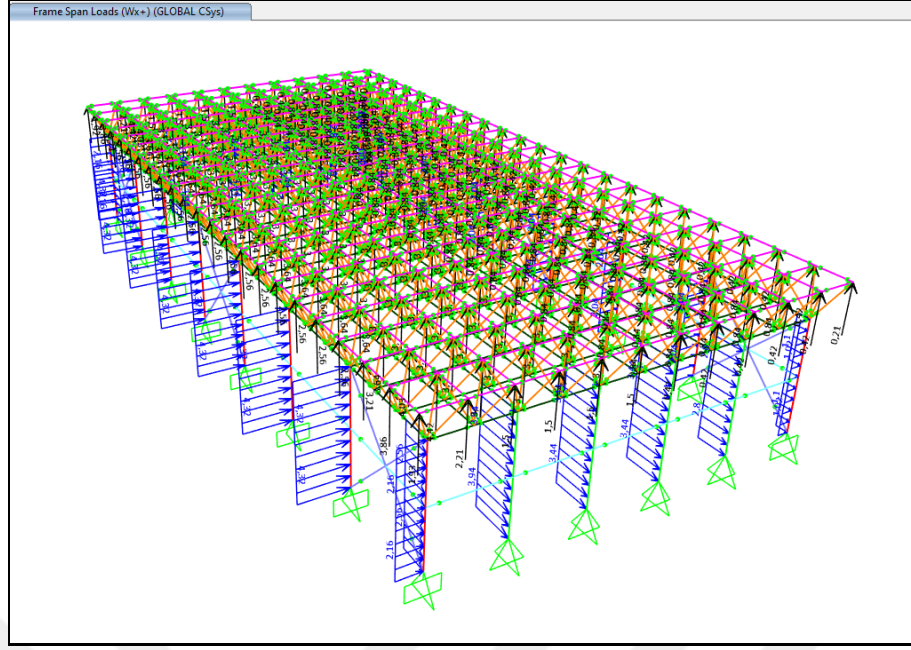
Hesaplanan bu değerler, Model A, B ve C için gerçekleştirilmiş olup, tasarlanan modellere uygulanmıştır. Bu değerlerin modellere uygulanması aşağıda Şekil 35 - 38’de gösterilmiştir.



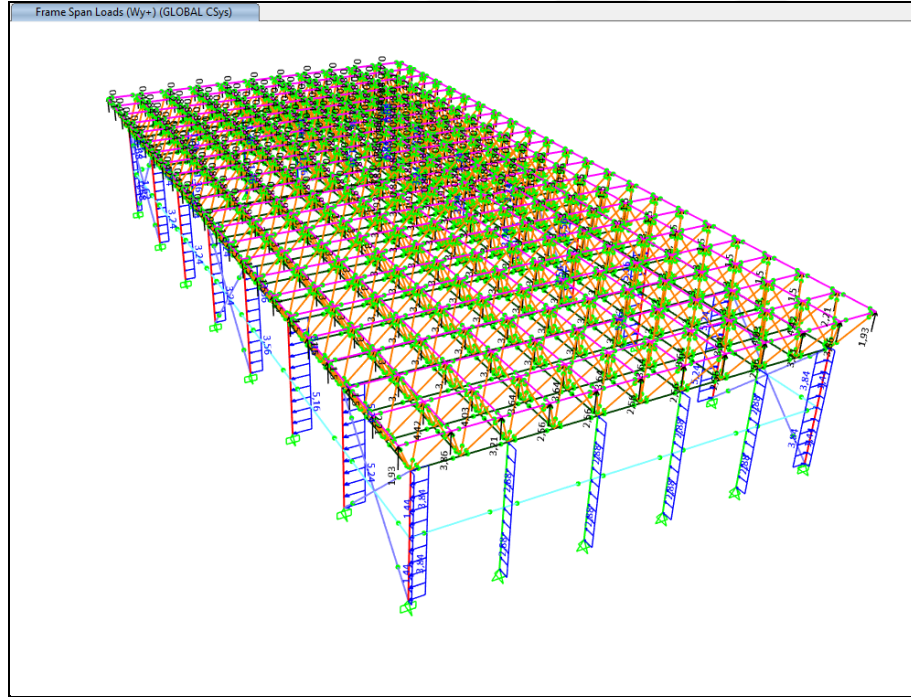
Şekil 35. Eurocode 1-4 Model A “Wx(+)” rüzgar yüklemesi



Şekil 36. Eurocode 1-4 Model A “Wy(+)” rüzgar yüklemesi



Şekil 37. Eurocode 1-4 Model C “Wx(+)” rüzgar yüklemesi



Şekil 38. Eurocode 1-4 Model A “Wy(+)” rüzgar yüklemesi

3.3. ASCE 7-10 Standardına Göre Çözüm

ASCE 7-10 standardına göre rüzgar hesabı bu bölümde yapılmıştır. Yüzey engebelilik kategorisi, yükseklikleri genellikle 9,1 m altında olan seyrek engellerin bulunduğu açık araziler olarak C kategorisi seçilmiştir. Maruz kalma kategorisi, yapı yüksekliğinin 8 m olması dikkate alınarak, ortalama çatı yüksekliği 9,1 m veya daha az olan binalar için Kategori B olarak belirlenmiştir. Rüzgar doğrultu faktörü K_d 0.85 olarak belirlenmiştir. Yapıların yüksekliği 8 m olduğundan Maruz kalma katsayısı K_z 0.674 olarak hesaplanmış ve Topografik faktör K_{zt} 1,0 olarak alınmıştır. ASCE 7-10 standardında Türkiye için bir rüzgar hız haritası bulunmadığından, rüzgar hızı bu yönetmelik kapsamında 28 m/s olarak kabul edilmiştir.

Örnek yapı modellerinin yüksekliği 8 metre olduğundan, rijit bir bina veya diğer yapı türleri için rüzgar etkisi faktörü (G) 0,85 olarak alınabilir. Düşük yükseklikteki binaların rijit olarak kabul edilmesine izin verilmektedir. Örnek yapı modelleri kapalı binalar olduğundan dolayı iç basınç katsayıları pozitif ve negatif olarak +0.18 ve -0.18 olarak alınmıştır. Rüzgar basıncı, tüm modeller için ayrı ayrı hesaplanmış olup, hesaplama sonuçları aşağıdaki tablolarda detaylı olarak Tablo 7 - 12'de verilmiştir.

Model A için;

Tablo 7. Model A Wx (0°) yönünde rüzgar basınç değerleri

MODEL A Wx Yönü (0°)	Yükseklik (m)	B K _z	q _z (N/m ²)	G	C _p	Net Basınç N/m ²	
						GC _{pi} =+0,18	GC _{pi} =-0,18
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	0,57	232,85	0,85	0,8	110,9821603	205,6895203
	6	0,62	253,27	0,85	0,8	124,8712691	219,5786291
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610168	-64,45364584
Çapraz Duvarlar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,7	-203,8839471	-109,1765762
Rüzgar Yönündeki Çatı	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,85	-237,4261449	-142,7187739
					-0,18	-87,60432825	7,103042698
Rüzgar Arkası Çatı	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610168	-64,45364584

Tablo 8. Model A Wy (90°) yönünde rüzgar basınç değerleri

MODEL A Wy Yönü (90°)	Yükseklik (m)	B (kz)	q _z (N/m ²)	G	cp	Net Basınç	
						GC _{pi} =+0,18	GC _{pi} =-0,18
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	0,57	232,85	0,85	0,8	110,9821603	205,6895203
	6	0,62	253,27	0,85	0,8	124,8712691	219,5786291
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,3	-114,4380755	-19,7307155
Çapraz Duvarlar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,7	-203,8839362	-109,1765762
Çatı	0-7m	0,644	263,08	0,85	-0,9	-248,6068665	-153,8995065
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	7-14m	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610058	-64,45364584
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	14-42m	0,644	263,08	0,85	-0,3	-114,4380755	-19,7307155
					-0,18	-87,6043173	7,103042698

Model B için;

Tablo 9. Model B Wx (0°) yönünde rüzgar basınç değerleri

MODEL B Wx Yönü (0°)	Yükseklik (m)	B (K _z)	q _z (N/m ²)	G	C _p	Net Basınç N/m ²	
						G C _{pi} =+0,18	G C _{pi} =-0,18
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	0,57	232,85	0,85	0,8	110,9821603	205,6895203
	6	0,62	253,27	0,85	0,8	124,8712691	219,5786291
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610168	-64,45364584
Çapraz Duvarlar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,7	-203,8839471	-109,1765762
Rüzgar Yönündeki Çatı	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,85	-237,4261449	-142,7187739
					-0,18	-87,60432825	7,103042698
Rüzgar Arkası Çatı	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610168	-64,45364584

Tablo 10. Model B Wy (90°) yönünde rüzgar basınç değerleri

MODEL B Wy Yönü (90°)	Yükseklik (m)	B (K _z)	q _z (N/m ²)	G	C _p	Net Basınç N/m ²	
						G C _{pi} =+0,18	G C _{pi} =-0,18
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	0,57	232,85	0,85	0,8	110,9821603	205,6895203
	6,1	0,62	253,27	0,85	0,8	124,8712691	219,5786291
	7	0,644	263,08	0,85	0,8	131,5380413	226,2454013
	7,6	0,66	269,61	0,85	0,8	135,9825562	230,6899162
	8	0,67	273,70	0,85	0,8	138,7603779	233,4677379
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,3	-114,4380755	-19,7307155
Çapraz Duvarlar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,7	-203,8839362	-109,1765762
Çatı	0-7m	0,644	263,08	0,85	-0,9	-248,6068665	-153,8995065
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	7-14m	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610058	-64,45364584
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	14-42m	0,644	263,08	0,85	-0,3	-114,4380755	-19,7307155
					-0,18	-87,6043173	7,103042698

Model C için;

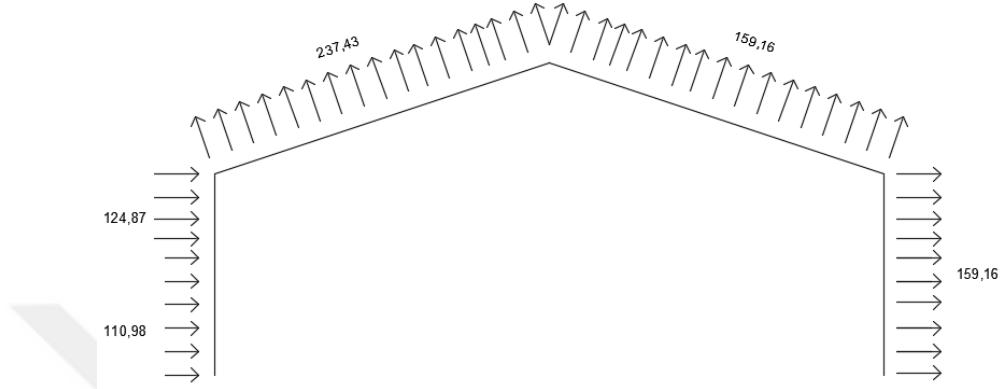
Tablo 11. Model C Wx (0°) yönünde rüzgar basınç değerleri

MODEL C Wx Yönü (0°)	Yükseklik (m)	B (K _z)	q _z (N/m ²)	G	C _p	Net Basınç N/m ²	
						GC _{pi} =+0,18	GC _{pi} =-0,18
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	0,57	232,85	0,85	0,8	110,9821603	205,6895203
	6	0,62	253,27	0,85	0,8	124,8712691	219,5786291
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610058	-64,45364584
Çapraz Duvarlar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,7	-203,8839362	-109,1765762
Çatı	0-8m	0,644	263,08	0,85	-0,9	-248,6068665	-153,8995065
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	8-16m	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610058	-64,45364584
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	16-22m	0,644	263,08	0,85	-0,3	-114,4380755	-19,7307155
					-0,18	-87,6043173	7,103042698

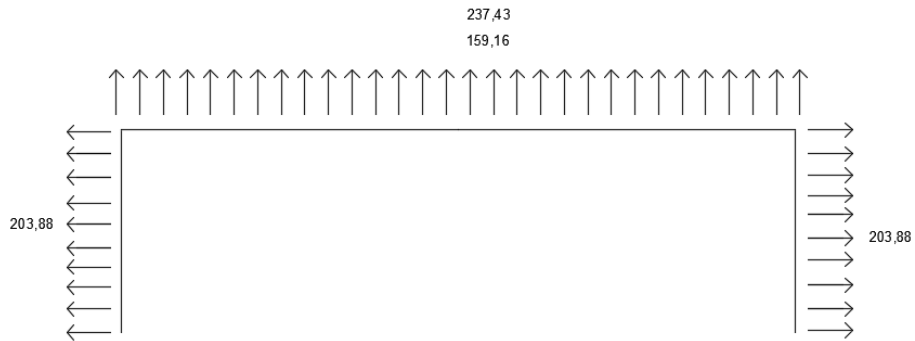
Tablo 12. Model C Wy (90°) yönünde rüzgar basınç değerleri

MODEL C Wy Yönü (90°)	Yükseklik (m)	B (K _z)	q _z (N/m ²)	G	C _p	Net Basınç N/m ²	
						GC _{pi} =+0,18	GC _{pi} =-0,18
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	0,57	232,85	0,85	0,8	110,9821603	205,6895203
	6	0,62	253,27	0,85	0,8	124,8712691	219,5786291
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,3	-114,4380755	-19,7307155
Çapraz Duvarlar	hepsi	0,644	263,08	0,85	-0,7	-203,8839362	-109,1765762
Çatı	0-8m	0,644	263,08	0,85	-0,9	-248,6068665	-153,8995065
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	8-16m	0,644	263,08	0,85	-0,5	-159,1610058	-64,45364584
					-0,18	-87,6043173	7,103042698
	16-42m	0,644	263,08	0,85	-0,3	-114,4380755	-19,7307155
					-0,18	-87,6043173	7,103042698

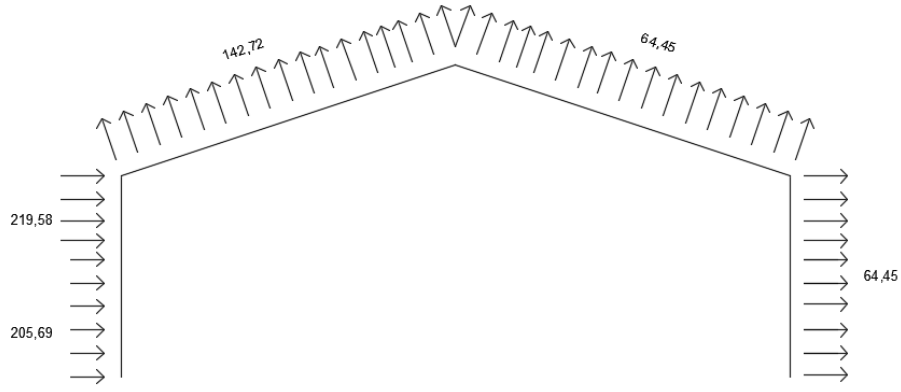
Yukarıdaki tablolarda ASCE 7-10 standardına göre her model için rüzgar basınç değerler hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler rüzgar yönüne göre çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı üç model için uygulanmış olup örnek Model A ve C için Şekil 39 - 54'te gösterilmiştir.



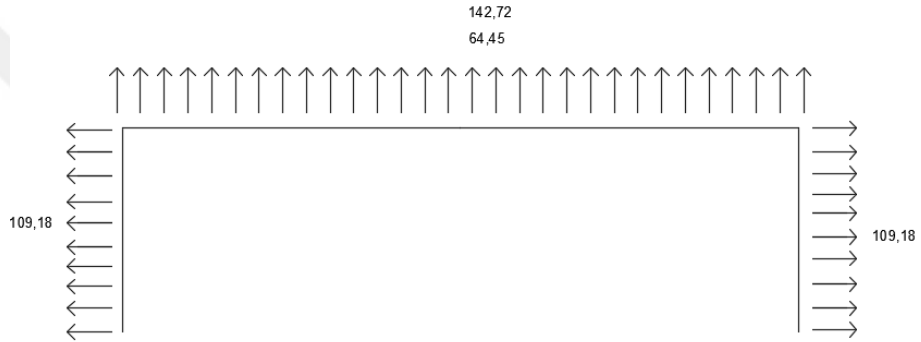
Şekil 39. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



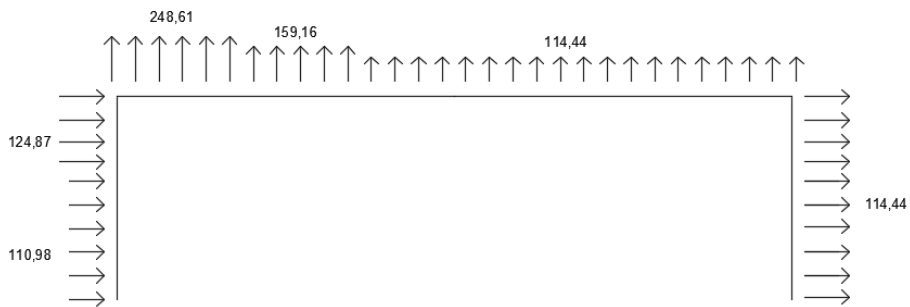
Şekil 40. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



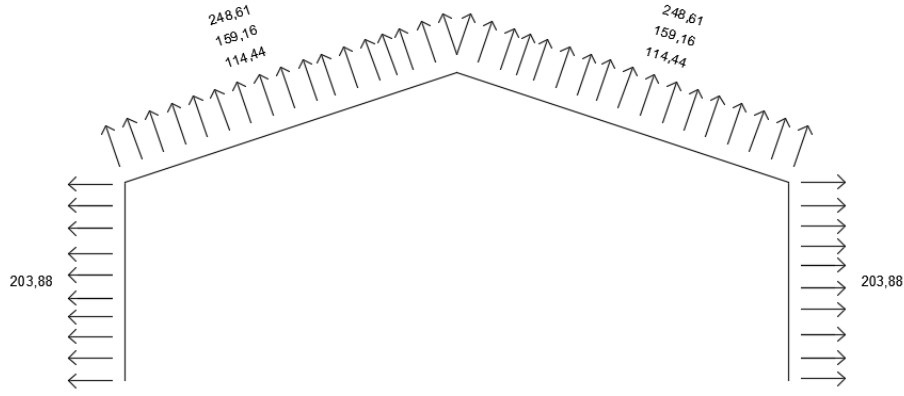
Şekil 41. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



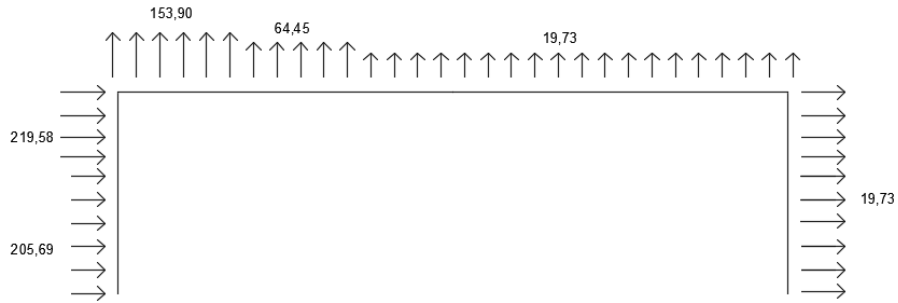
Şekil 42. Model A Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



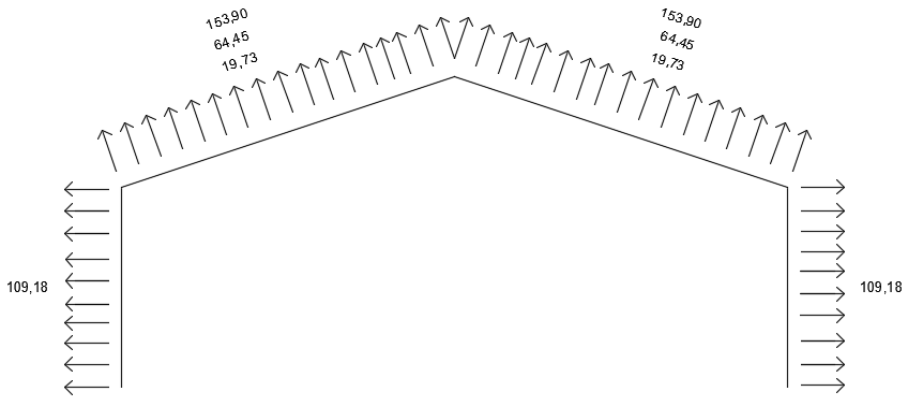
Şekil 43. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



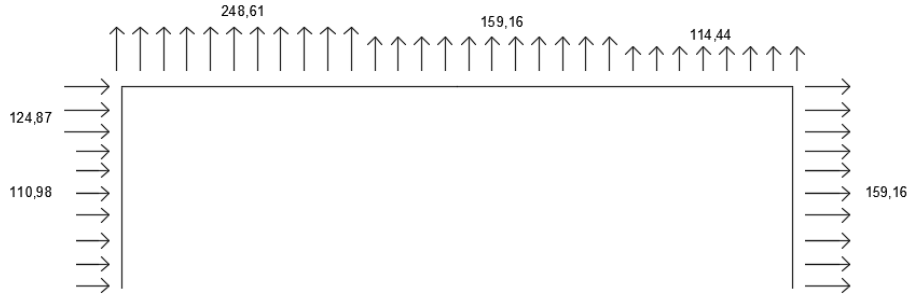
Şekil 44. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve +Wy, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m²)



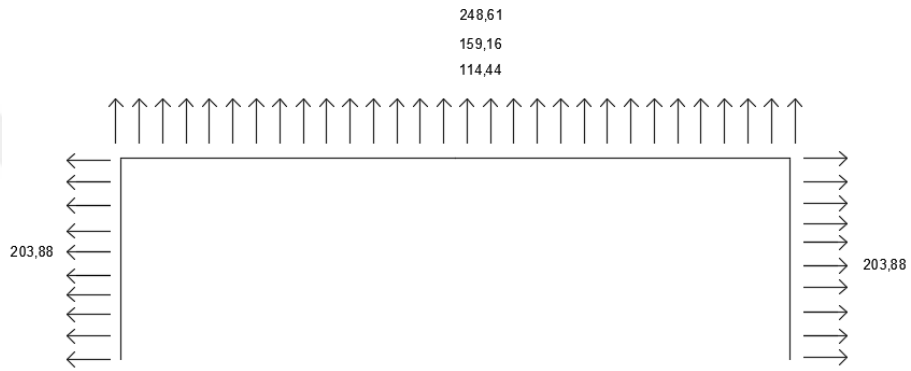
Şekil 45. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve +Wy, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m²)



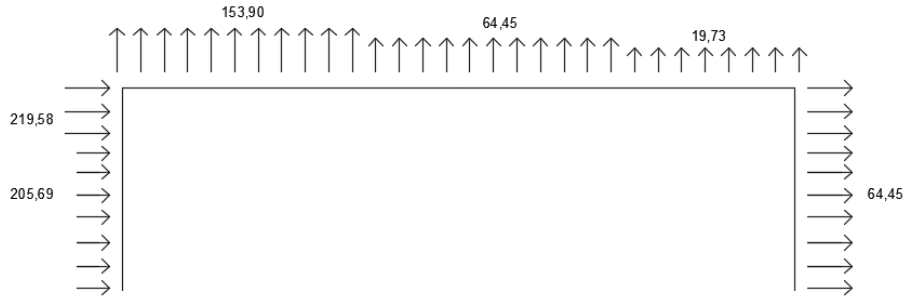
Şekil 46. Model A Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve +Wy, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m²)



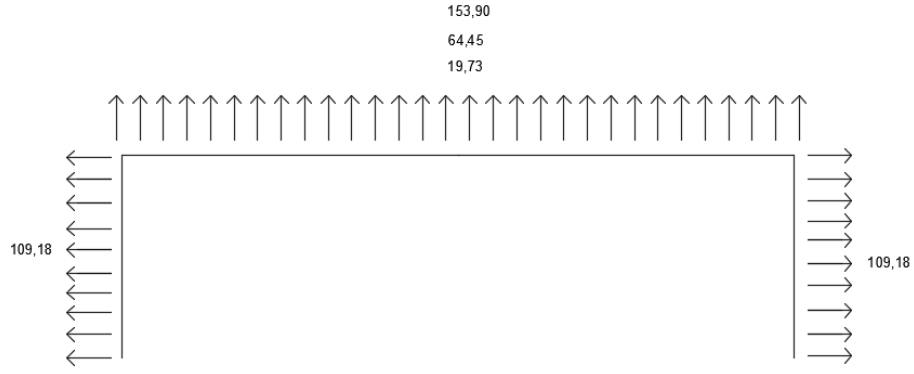
Şekil 47. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



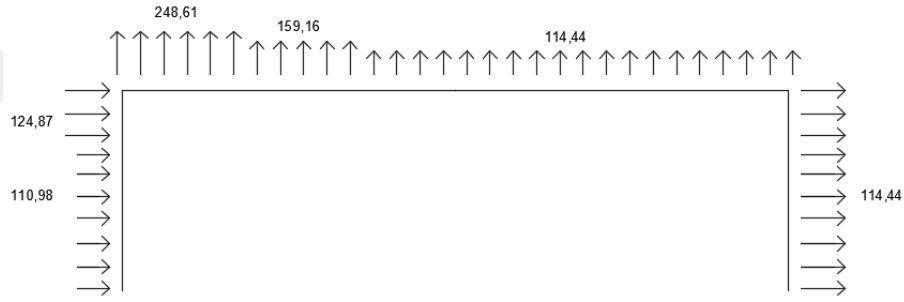
Şekil 48. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



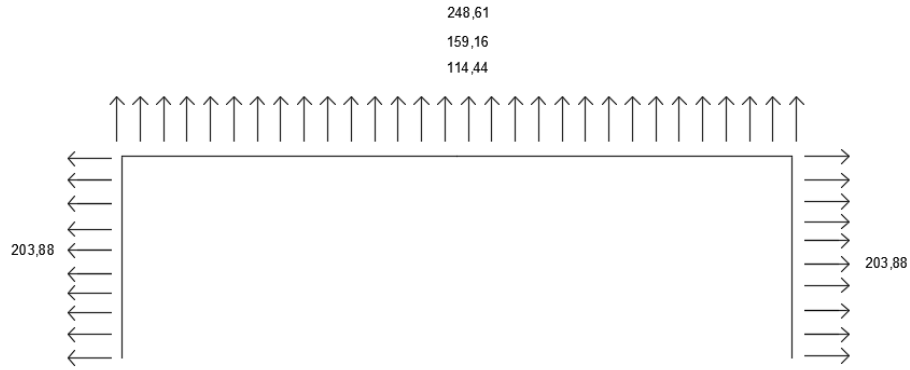
Şekil 49. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



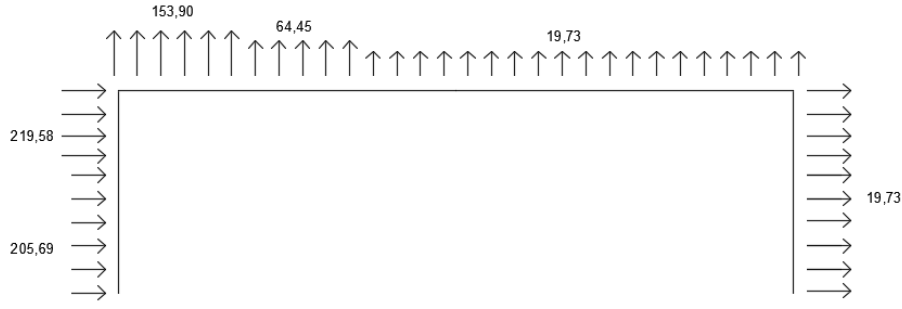
Şekil 50. Model C Rüzgarın çatı mahyasına dik gelme durumu ve $+W_x$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



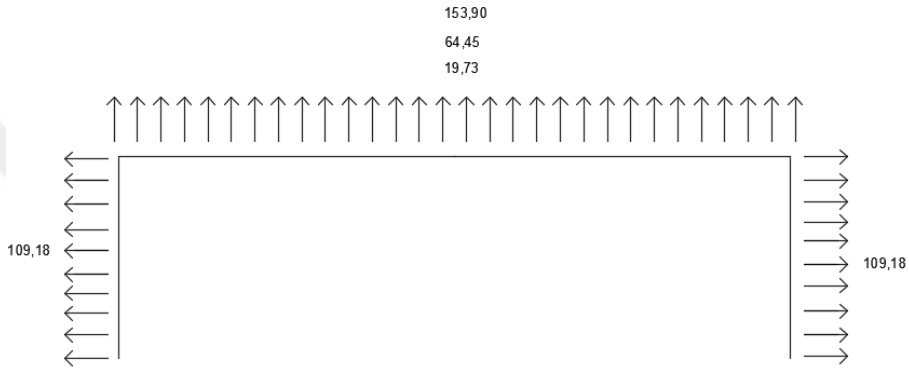
Şekil 51. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)



Şekil 52. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = +0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)

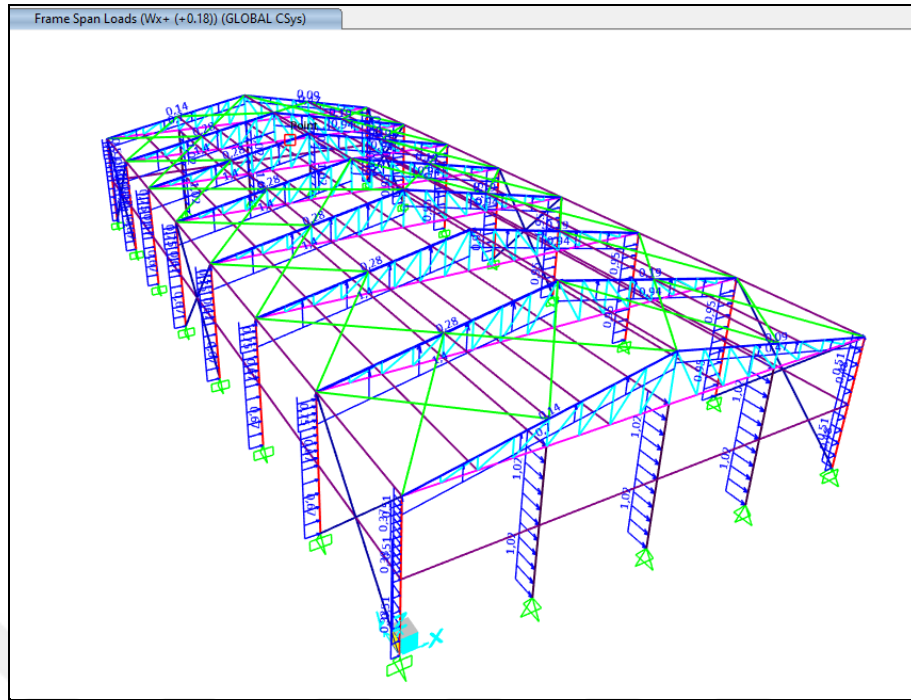


Şekil 53. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)

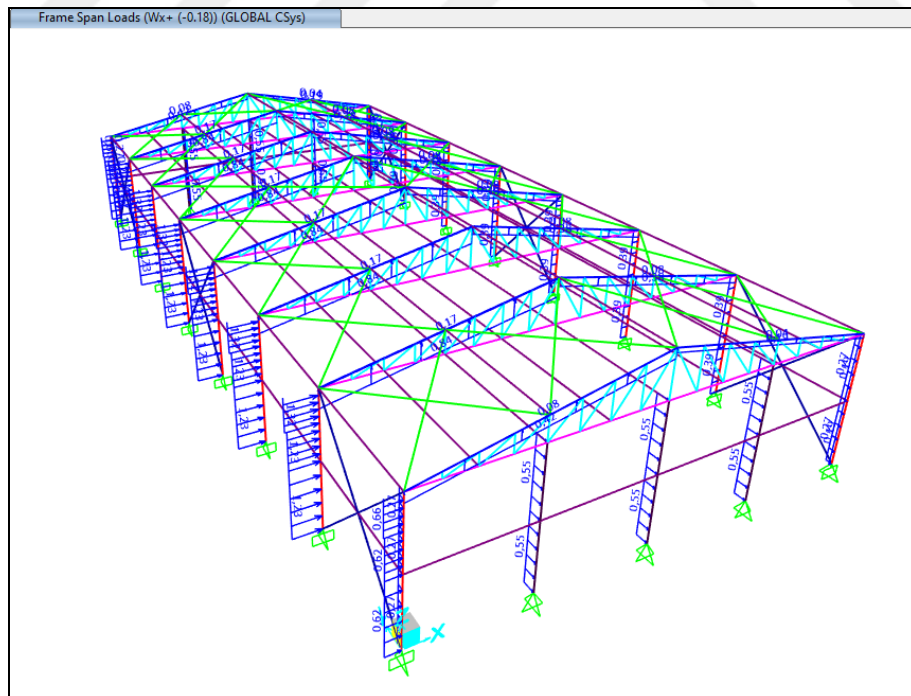


Şekil 54. Model C Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelme durumu ve $+W_y$, $GC_{pi} = -0.18$ durumunda çatı ve çapraz duvarlarda oluşan rüzgar basınç dağılımı (N/m^2)

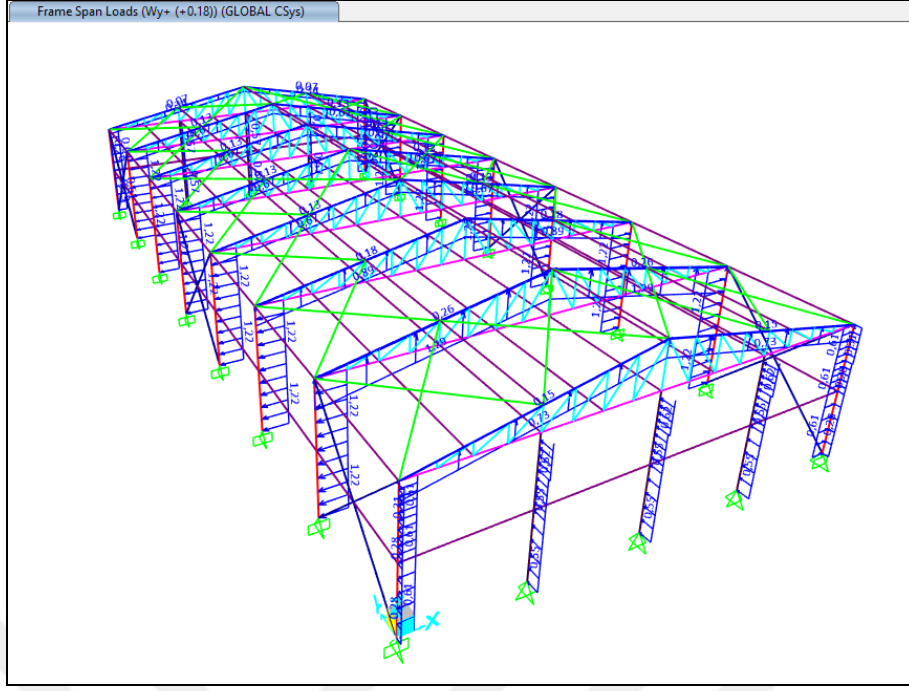
Çatı ve duvarlarda rüzgar yönüne göre oluşan rüzgar basınç dağılımı yukarıdaki şekillerde gösterilmiştir ve bu değerler modellere uygulanmıştır. Örnek olarak Model A ve Model C için duvarlarda ve çatıda oluşan rüzgar yüklemeleri aşağıda Şekil 55 - 62’de gösterilmiştir.



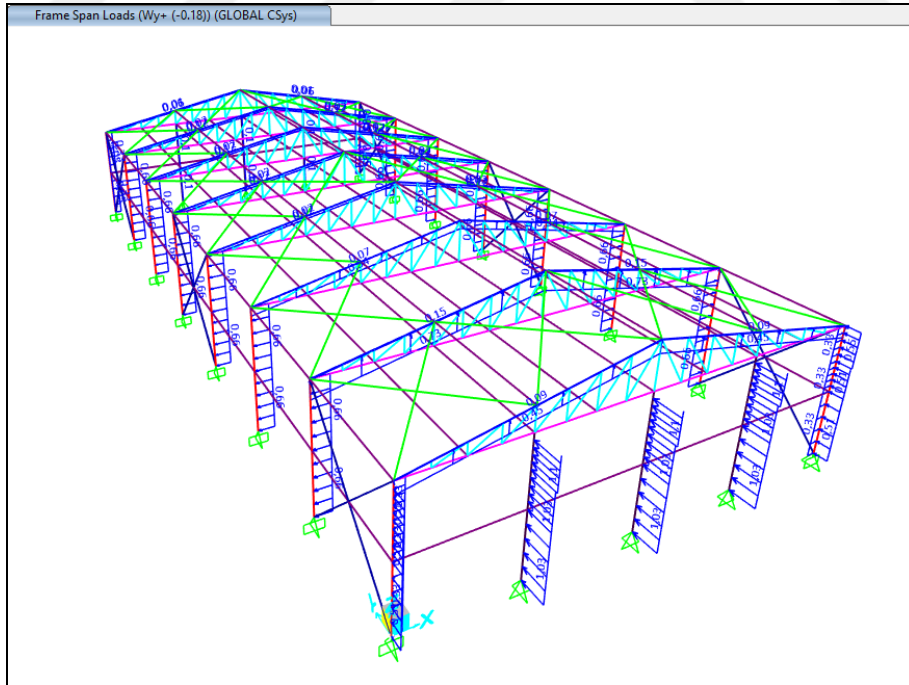
Şekil 55. Model A “+Wx(+0.18)” rüzgar yüklemesi



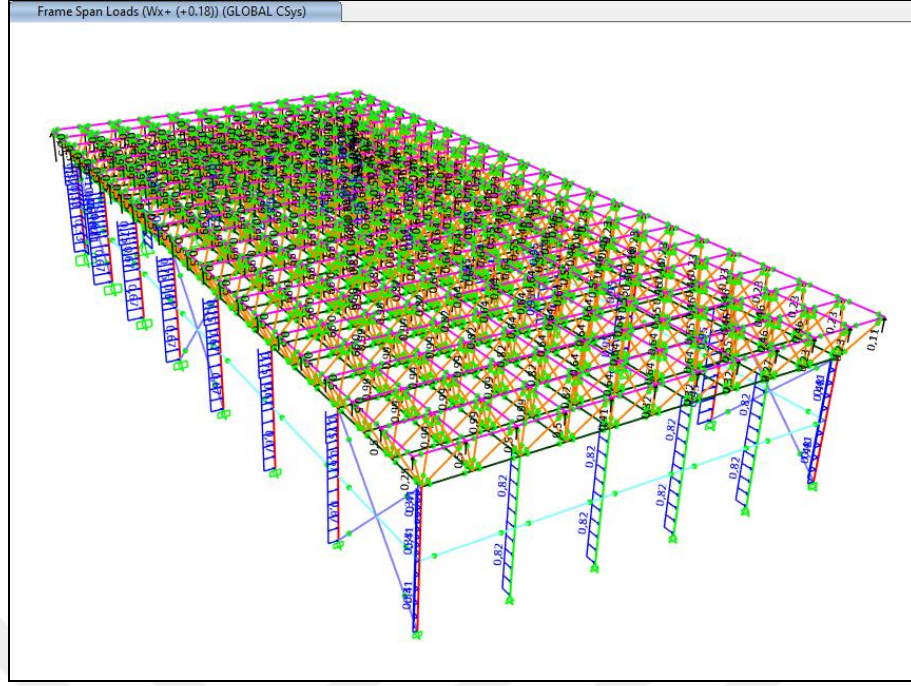
Şekil 56. Model A “+Wx(-0.18)” rüzgar yüklemesi



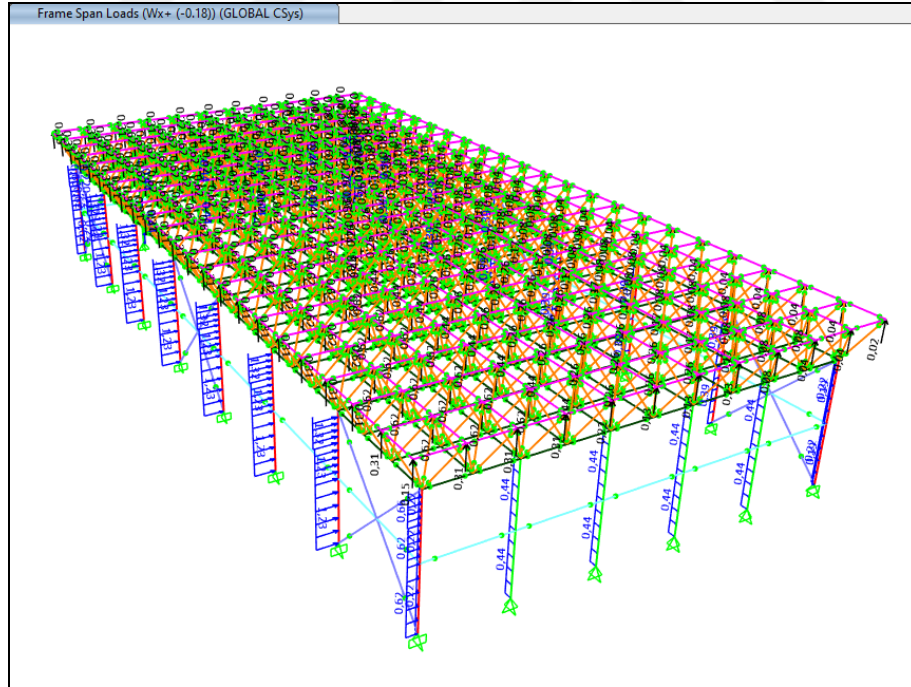
Şekil 57. Model A “+Wy(+0.18)” rüzgar yüklemesi



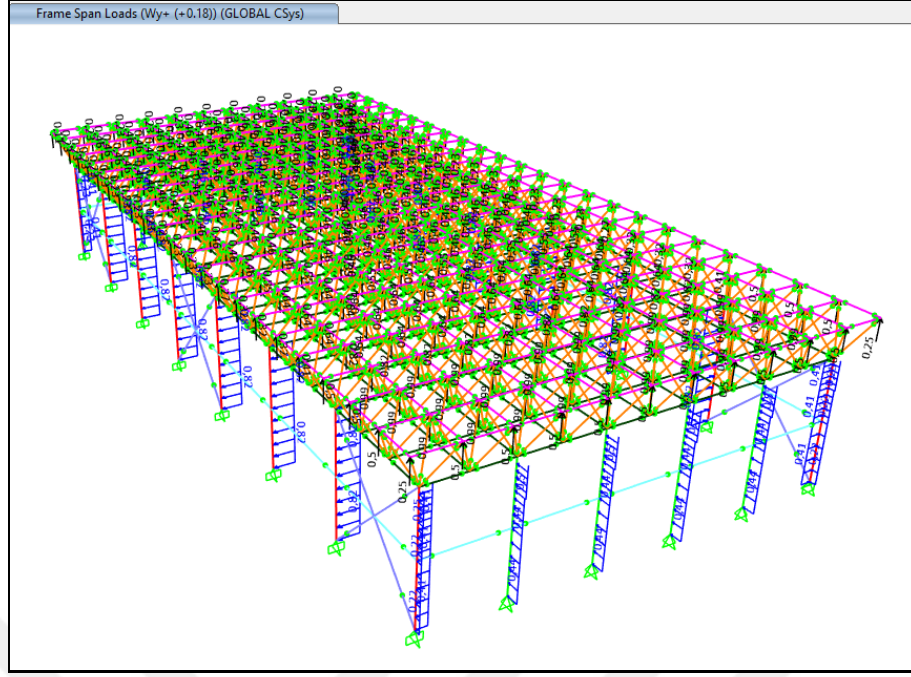
Şekil 58. Model A “+Wy(-0.18)” rüzgar yüklemesi



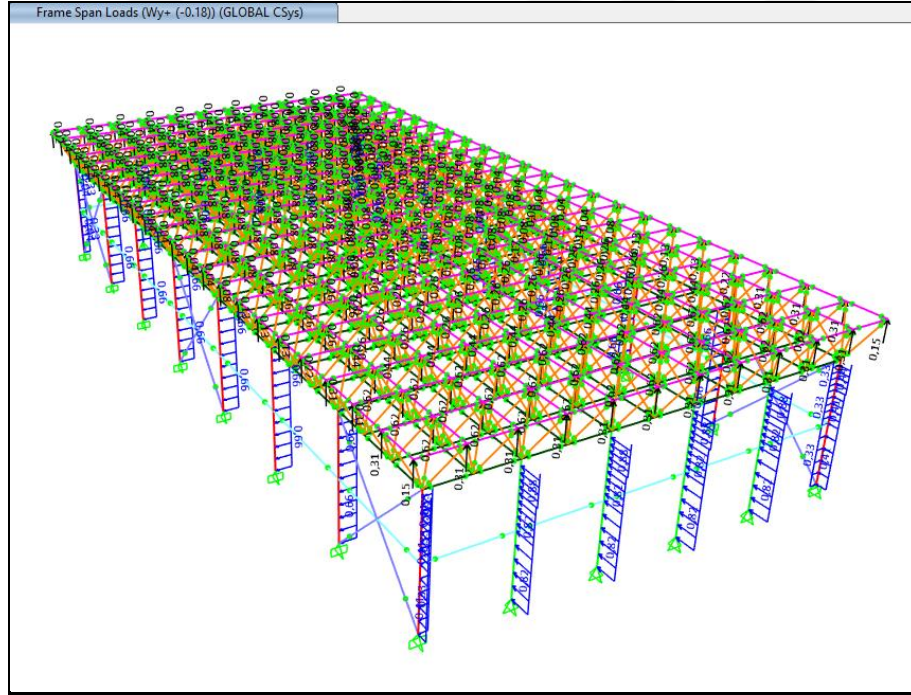
Şekil 59. Model C “+W_x(+0.18)” rüzgar yüklemesi



Şekil 60. Model C “+W_x(-0.18)” rüzgar yüklemesi



Şekil 61. Model C “+Wy(+0.18)” rüzgar yüklemesi



Şekil 62. Model C “+Wy(-0.18)” rüzgar yüklemesi

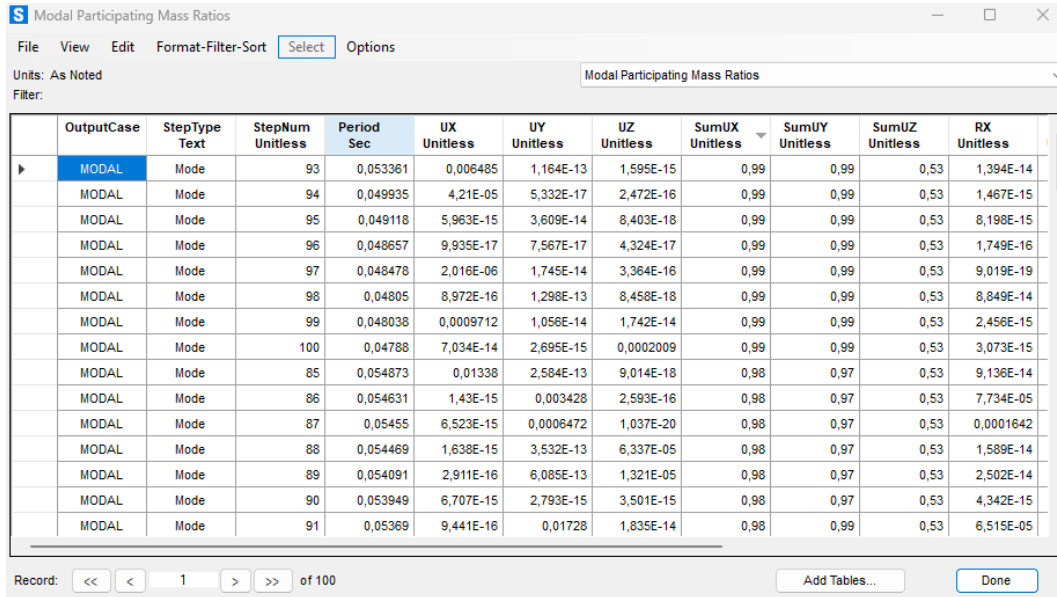
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, SAP 2000 programı kullanılarak yapıların modelleri oluşturulmuş ve analizleri yapılmıştır. Yönetmeliklere uygun olarak değerler hesaplanıp kontrol edilmiş ve elde edilen hesaplar sonucunda da yapının dayanıklılığı ve ekonomik yönü incelenmiştir.

4.1. Kütle Katılım Oranları

Kütle katılım oranı, dikkate alınan deprem yönünde, birinci (hâkim) moda ait etkin kütlelerin toplam yapı kütlelerine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. (Meral & İnel, 2016). Bir binanın kütlesi ve rijitliğine bağlı olarak birçok mod şekli bulunmaktadır. TBDY 2018'e göre modal etkin kütleleri toplamı, yapı toplam kütlesi'nin %95 'inden fazla olmalıdır.

Model A, B ve C için yapılan analizler sonucunda kütle katılım oranları aşağıda Şekil 63, Şekil 64 ve Şekil 65'te verilmiştir.



OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless
MODAL	Mode	93	0,053361	0,006485	1,164E-13	1,595E-15	0,99	0,99	0,53	1,394E-14
MODAL	Mode	94	0,049935	4,21E-05	5,332E-17	2,472E-16	0,99	0,99	0,53	1,467E-15
MODAL	Mode	95	0,049118	5,963E-15	3,609E-14	8,403E-18	0,99	0,99	0,53	8,198E-15
MODAL	Mode	96	0,048657	9,935E-17	7,567E-17	4,324E-17	0,99	0,99	0,53	1,749E-16
MODAL	Mode	97	0,048478	2,016E-06	1,745E-14	3,364E-16	0,99	0,99	0,53	9,019E-19
MODAL	Mode	98	0,04805	8,972E-16	1,298E-13	8,458E-18	0,99	0,99	0,53	8,849E-14
MODAL	Mode	99	0,048038	0,0009712	1,056E-14	1,742E-14	0,99	0,99	0,53	2,456E-15
MODAL	Mode	100	0,04788	7,034E-14	2,695E-15	0,0002009	0,99	0,99	0,53	3,073E-15
MODAL	Mode	85	0,054873	0,01338	2,584E-13	9,014E-18	0,98	0,97	0,53	9,136E-14
MODAL	Mode	86	0,054631	1,43E-15	0,003428	2,593E-16	0,98	0,97	0,53	7,734E-05
MODAL	Mode	87	0,05455	6,523E-15	0,0006472	1,037E-20	0,98	0,97	0,53	0,0001642
MODAL	Mode	88	0,054469	1,638E-15	3,532E-13	6,337E-05	0,98	0,97	0,53	1,589E-14
MODAL	Mode	89	0,054091	2,911E-16	6,085E-13	1,321E-05	0,98	0,97	0,53	2,502E-14
MODAL	Mode	90	0,053949	6,707E-15	2,793E-15	3,501E-15	0,98	0,97	0,53	4,342E-15
MODAL	Mode	91	0,05369	9,441E-16	0,01728	1,835E-14	0,98	0,99	0,53	6,515E-05

Şekil 63. Model A için x ve y doğrultusunda kütle katılım oranları

Modal Participating Mass Ratios											
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options											
Units: As Noted											
Filter:											
	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless
▶	MODAL	Mode	84	0,025247	0,00043	1,176E-15	4,544E-17	0,99993	0,99695	0,43741	2,110E-16
	MODAL	Mode	85	0,024246	2,786E-08	1,754E-13	3,893E-14	0,99993	0,99695	0,43741	2,053E-13
	MODAL	Mode	86	0,024128	2,467E-14	3,489E-09	1,035E-13	0,99993	0,99695	0,43741	1,092E-09
	MODAL	Mode	87	0,024122	1,71E-14	0,00161	8,187E-14	0,99993	0,99856	0,43741	0,0005
	MODAL	Mode	88	0,02394	2,235E-14	4,407E-13	2,311E-05	0,99993	0,99856	0,43743	2,065E-13
	MODAL	Mode	89	0,023657	1,867E-15	6,438E-05	1,293E-12	0,99993	0,99862	0,43743	0,00058
	MODAL	Mode	90	0,02363	1,663E-07	1,939E-13	2,386E-12	0,99993	0,99862	0,43743	2,611E-14
	MODAL	Mode	91	0,023225	1,479E-15	1,99E-12	2,871E-14	0,99993	0,99862	0,43743	3,15E-12
	MODAL	Mode	92	0,023035	2,919E-15	7,532E-15	0,00034	0,99993	0,99862	0,43778	2,392E-13
	MODAL	Mode	93	0,022969	2,783E-08	1,125E-14	9,67E-13	0,99993	0,99862	0,43778	1,838E-13
	MODAL	Mode	94	0,022946	1,18699999...	2,893E-15	0,00048	0,99993	0,99862	0,43825	4,99E-13
	MODAL	Mode	95	0,022072	4,122E-15	9,629E-05	7,549E-12	0,99993	0,99872	0,43825	0,00024
	MODAL	Mode	96	0,021849	2,086E-14	4,845E-14	0,00687	0,99993	0,99872	0,44512	1,33E-13
	MODAL	Mode	97	0,021413	1,602E-15	1,006E-14	0,00064	0,99993	0,99872	0,44576	3,383E-13
	MODAL	Mode	98	0,020862	1,506E-17	2,673E-05	7,059E-13	0,99993	0,99875	0,44576	0,00116

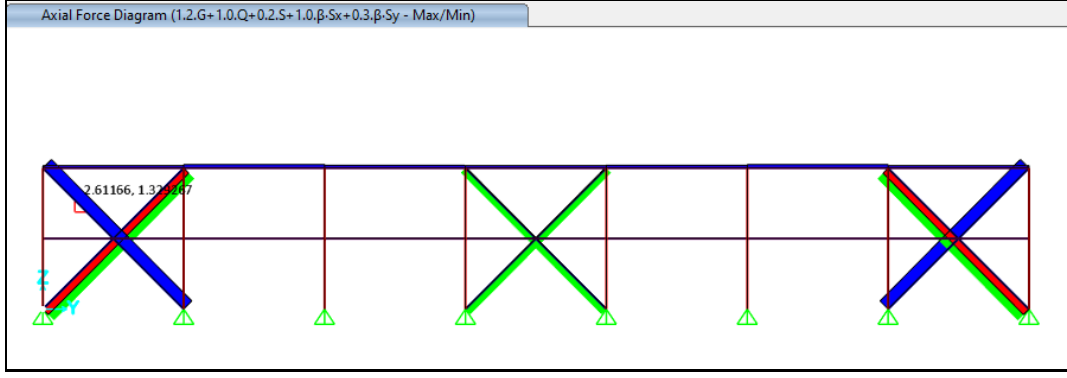
Şekil 64. Model B için x ve y doğrultusunda kütle katılım oranları

Modal Participating Mass Ratios											
File View Edit Format-Filter-Sort Select Options											
Units: As Noted											
Filter:											
	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless	RX Unitless
▶	MODAL	Mode	92	0,02933	1,502E-05	4,228E-10	2,905E-10	0,99968	0,99695	0,63632	8,506E-11
	MODAL	Mode	93	0,029207	5,593E-12	0,00018	1,099E-10	0,99968	0,99714	0,63632	0,00424
	MODAL	Mode	94	0,028985	1,08E-11	0,00031	1,987E-06	0,99968	0,99745	0,63632	0,00193
	MODAL	Mode	95	0,028982	1E-11	6,24E-07	0,00096	0,99968	0,99745	0,63728	4,288E-06
	MODAL	Mode	96	0,028825	5,473E-06	8,672E-11	2,401E-08	0,99968	0,99745	0,63728	2,554E-08
	MODAL	Mode	97	0,028812	1,679E-10	1,356E-11	0,00092	0,99968	0,99745	0,6382	6,156E-09
	MODAL	Mode	98	0,02868	1,034E-11	1,012E-10	3,271E-09	0,99968	0,99745	0,6382	1,486E-07
	MODAL	Mode	99	0,028536	3,359E-14	3,291E-10	4,847E-11	0,99968	0,99745	0,6382	7,658E-08
	MODAL	Mode	100	0,028451	5,2E-12	0,00016	5,377E-10	0,99968	0,9976	0,6382	0,02269
	MODAL	Mode	89	0,030755	4,833E-05	1,54E-13	2,019E-12	0,99966	0,99695	0,61736	1,654E-11
	MODAL	Mode	90	0,030438	1,847E-13	2,526E-12	6,183E-12	0,99966	0,99695	0,61736	3,755E-11
	MODAL	Mode	91	0,029979	7,726E-14	9,662E-14	0,01897	0,99966	0,99695	0,63632	3,594E-12
	MODAL	Mode	80	0,032619	8,492E-05	2,092E-12	1,951E-12	0,99961	0,99685	0,61434	5,292E-11
	MODAL	Mode	81	0,032448	1,734E-14	2,791E-14	0,00282	0,99961	0,99685	0,61716	2,228E-12
	MODAL	Mode	82	0,032033	7,629E-13	1,978E-15	1,263E-05	0,99961	0,99685	0,61718	5,779E-12

Şekil 65. Model C için x ve y doğrultusunda kütle katılım oranları

4.2. Düşey Çaprazlar ve Yatay Çaprazlar İçin Gerilme Kontrolü

Düşey çaprazlar ve yatay çaprazlar için gerilme kontrolleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda gösterilmiştir. Şekil 66'da düşey çaprazlara ilişkin görsel verilmiştir.



Şekil 66. Model A düşey çaprazlarda gerilme kontrolü

Burkulma boyu ve narinlik oranı aşağıdaki şekilde hesaplanır. Denklem (4.1)'de gösterilmiştir. çaprazlı çerçeveler için burkulma boyu katsayısı K 1,0 olarak alınır. Desteklenen noktalar arasında kalan eleman uzunluğu ise 8485,28 mm'dir. i_{min} değeri SAP2000'den okunmuştur.

$$\lambda = \frac{K * L}{i_{min}} \quad (4.1)$$

$$= \frac{1 * 8485,28}{66,922} = 126,8 \text{ mm}$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda karakteristik basınç kuvveti dayanımı, P_n sırasıyla aşağıdaki şekildeki gibi hesaplanır. Kritik burkulma kuvveti Denklem (4.2)'de verilmiştir.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i_c}\right)^2} \quad (4.2)$$

F_e : Kritik burkulma kuvveti,

E : Elastisite modülü,

L_c : Elemanın burkulma uzunluğu,

i_c : Dönme yarıçapı.

$$\frac{L_c}{i_c} = 126,8 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210000}{275}} = 130,156$$

$$F_e = \frac{\pi^2 210000}{126,8^2} = 128,9 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = [0,658^{\left(\frac{275}{128,9}\right)}] 275 = 112,6 \text{ Mpa}$$

Karakteristik basınç kuvveti dayanımı, p_n Denklem (4.3) ile hesaplanır.

$$p_n = F_{cr} A \quad (4.3)$$

$$= 112,6 \cdot 2675 = 301198,6 \cdot 10^{-3} = 301,1986 \text{ kN}$$

Tasarım basınç kuvveti dayanımı YDKT tasarım yöntemi için Denklem (4.4) ile elde edilir.

$$p_d = \phi_c p_n \quad (4.4)$$

$$p_d = (0,9) \cdot (301,1986) = 271,1 \text{ kN}$$

D/C oranı, yapısal bir elemanın aksel kuvvet ve moment altında altındaki performansını değerlendirmek için kullanılan bir orandır. Bu oran 1'den küçükse eleman güvenli kabul edilirken, 1 veya daha büyük bir değer hesaplandığında, elemanın taşıma kapasitesinin aşılmaya başlandığını ve güçlendirilmesi gerektiğini gösterir.

$D/C < 1$ ise, eleman güvenlidir (kapasite yeterli).

$D/C \geq 1$ ise, eleman güvenli değildir (kapasite yetersiz).

$$\frac{D}{C} = \frac{1}{2} \left(\frac{p_r}{p_c} \right) + M_x + M_y$$

p_r : Elemanın maruz kaldığı aksel kuvvet = 100,526 kN

p_c : Aksel Kuvvet Kapasitesi = 662,063 kN

$$\frac{D}{t} < 0,07 \frac{E}{F_y} \text{ olduğundan,}$$

$$\frac{D}{t} = \frac{0,1937}{0,0045} = 43 \quad , \quad 0,07 \frac{E}{F_y} = 0,07 \frac{210000}{275} = 53,4 \quad 43 < 53,4$$

Kompakt olmayan enkesit koşulunun sağlanması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , aşağıdaki Denklem (4.5) ile hesaplanır.

$$M_n = M_p = F_y \cdot W_p \quad (4.5)$$

$$M_n = 275 (1,611) = 44,3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

W_p : Eğilme eksenine etrafında plastik mukavemet momenti

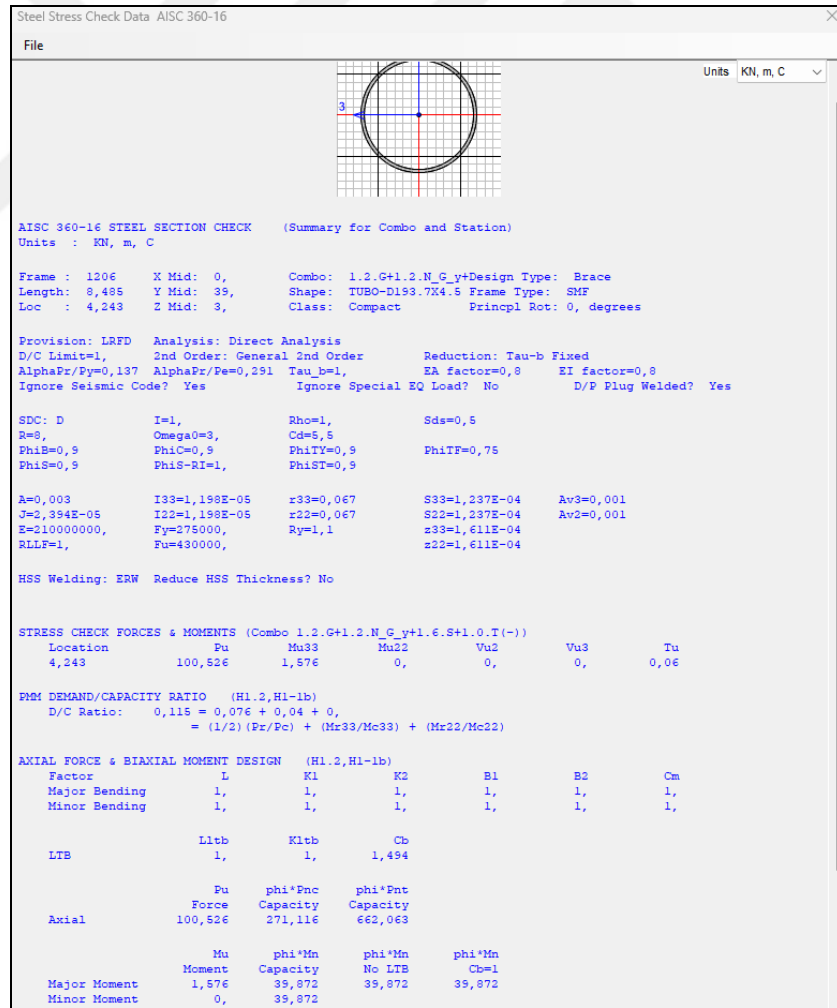
Tasarım eğilme moment dayanımı M_d , aşağıda Denklem (4.6) ile hesaplanmıştır.

$$M_d = \phi_b M_n \quad (4.6)$$

$$M_d = 0,9 (44,3) = 39,87 \text{ kNm}$$

$$\frac{D}{C} = \frac{1}{2} \left(\frac{100,526}{662,063} \right) + \left(\frac{1,576}{39,87} \right) + \left(\frac{0}{39,87} \right) = 0,076 + 0,04 + 0 = 0,115$$

Yapılan hesap kontrolleri sonucunda, SAP2000 hesap raporu Şekil 67’de gösterilmiştir.



Şekil 67. Düşey çapraz için sap2000 hesap detayı

Düşey çaprazlar için yapılan hesaplar, yatay çaprazlar için de uygulanmış olup, yatay çaprazlar için görsel şekil 68'de ve elde edilen değerler SAP2000 hesap raporu şekil 69'da gösterilmiştir.

$$\lambda = \frac{K * L}{i_{min}}$$

$$= \frac{1 \cdot 7874,0}{66,922} = 117,66 \text{ mm}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_c}{i_c}\right)^2} \quad \frac{L_c}{i_c} = 117,66 \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{210000}{275}} = 130,156$$

$$F_e = \frac{\pi^2 210000}{117,66^2} = 149,7 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = \left[0,658^{\left(\frac{275}{149,7}\right)}\right] 275 = 127,48 \text{ Mpa}$$

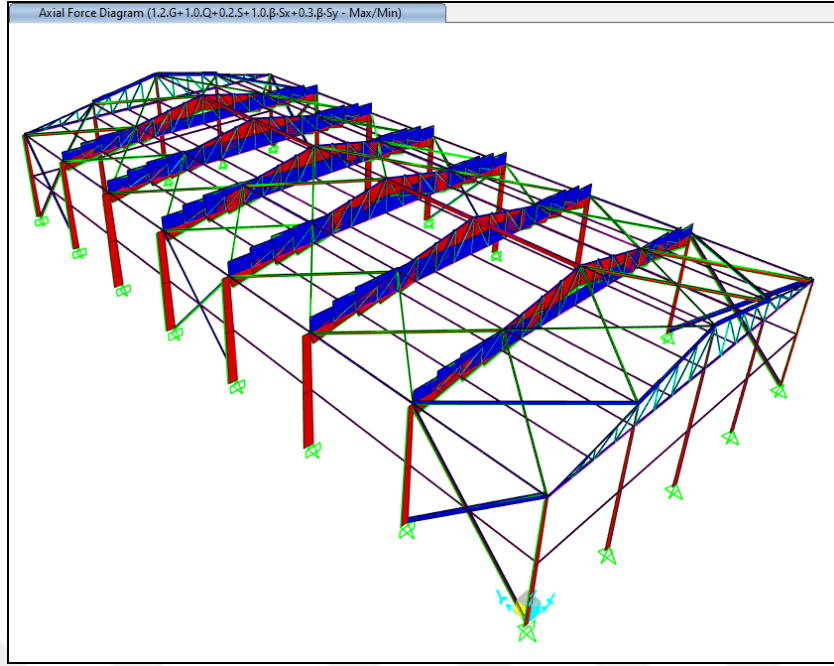
$$p_n = F_{cr} A$$

$$= 127,48 \cdot 2675 = 341009 \cdot 10^{-3} = 341 \text{ kN}$$

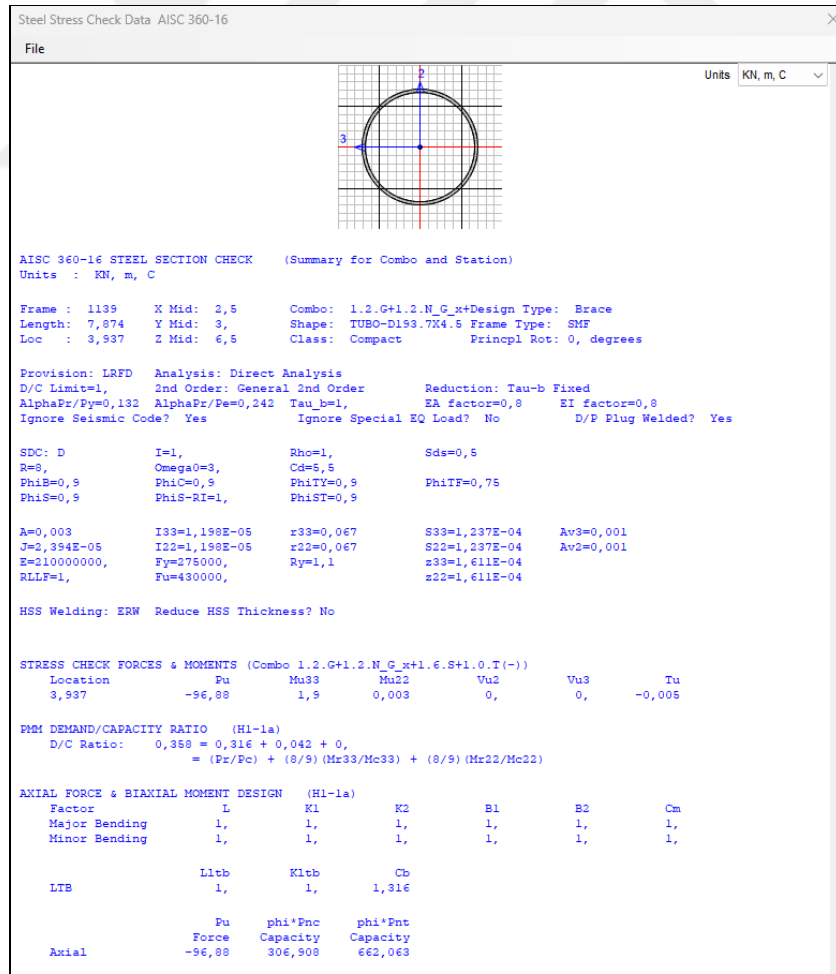
$$p_d = (0,9) \cdot (341) = 306,9 \text{ kN}$$

Dayanım oranı (D/C), aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\frac{D}{C} = \left(\frac{96,88}{306,908}\right) + \frac{8}{9} \left(\frac{1,9}{39,87}\right) + \frac{8}{9} \left(\frac{0}{39,87}\right) = 0,316 + 0,042 + 0 = 0,358$$



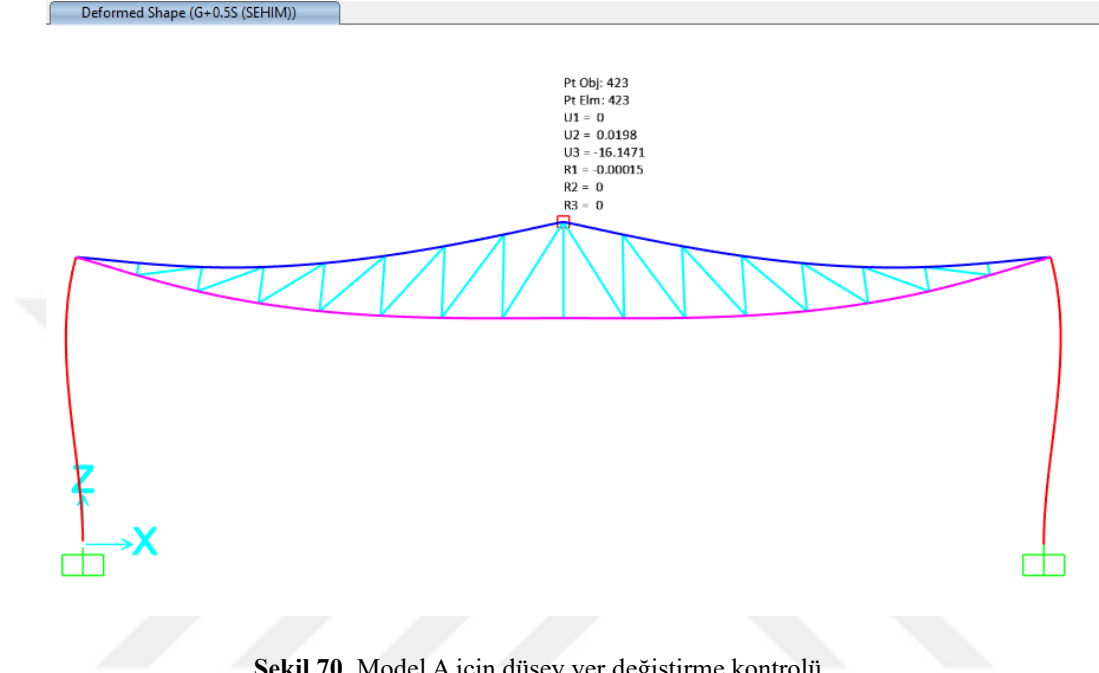
Şekil 68. Model A yatay çaprazlarda gerilme kontrolü



Şekil 69. Yatay çapraz için sap2000 hesap detayı

4.3. Yapı Deplasmanı

Düşey yer değiştirme analizi, G+0.5S yükleme durumu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Maksimum yer değiştirme Şekil 70’te gösterilmiştir.



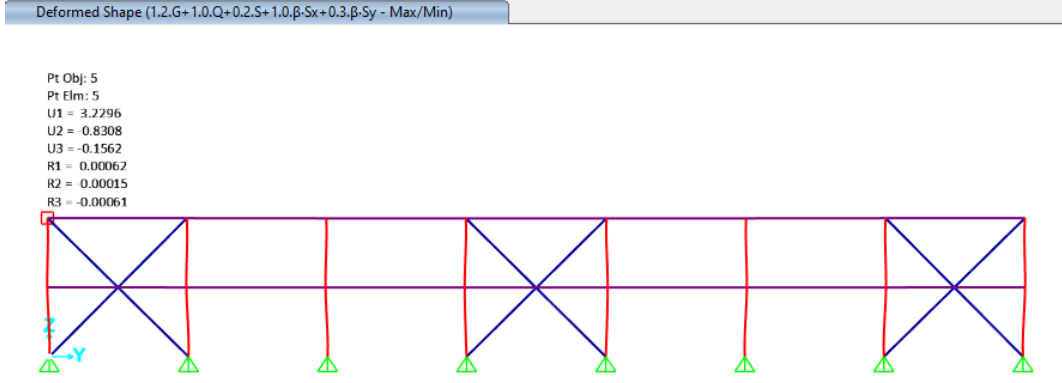
$$Def_{sınır} = L/300 \quad L= 20000.00 \text{ mm}$$

$$20000.00 \text{ mm} / 300 = 66,66 \text{ mm} > Def_{maks} = 16,15 \text{ mm}$$

YETERLİ

4.4. Düşey Çaprazlar İçin Yer Değiştirme Kontrolü

Bu kısımda, düşey çaprazlar için yer değiştirme hesabı, ilgili yükleme durumları dikkate alınarak yapılmış olup Şekil 71 ve Şekil 72’de gösterilmiştir.

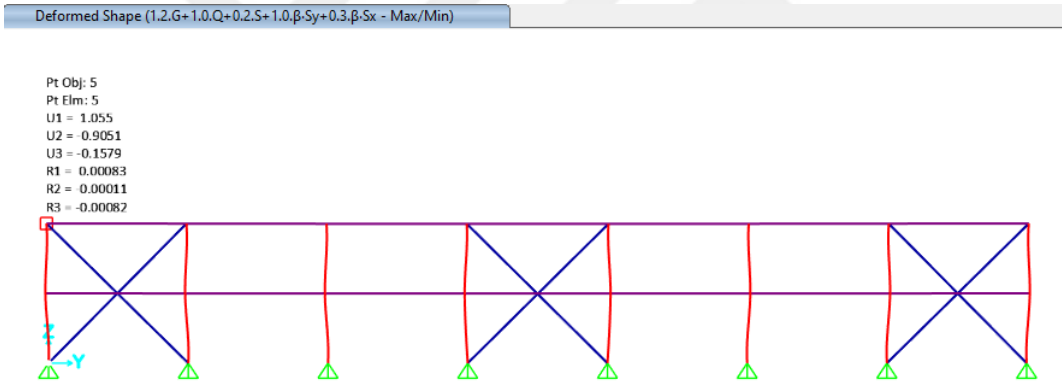


Şekil 71. Model A Düşey çaprazlar için yer değiştirme kontrolü, $1.0 \cdot \beta \cdot S_x + 0.3 \cdot \beta \cdot S_y$ yükleme durumunda

$$Def_{sınır} \leq 0,02 \cdot h / R \quad h = 6000.00 \text{ mm} \quad R_x = 8$$

$$Def_{maks} = 3,23 \text{ mm} \leq 15,00 \text{ mm}$$

YETERLİ



Şekil 72. Model A Düşey çaprazlar için yer değiştirme kontrolü, $1.0 \cdot \beta \cdot S_y + 0.3 \cdot \beta \cdot S_x$ yükleme durumunda

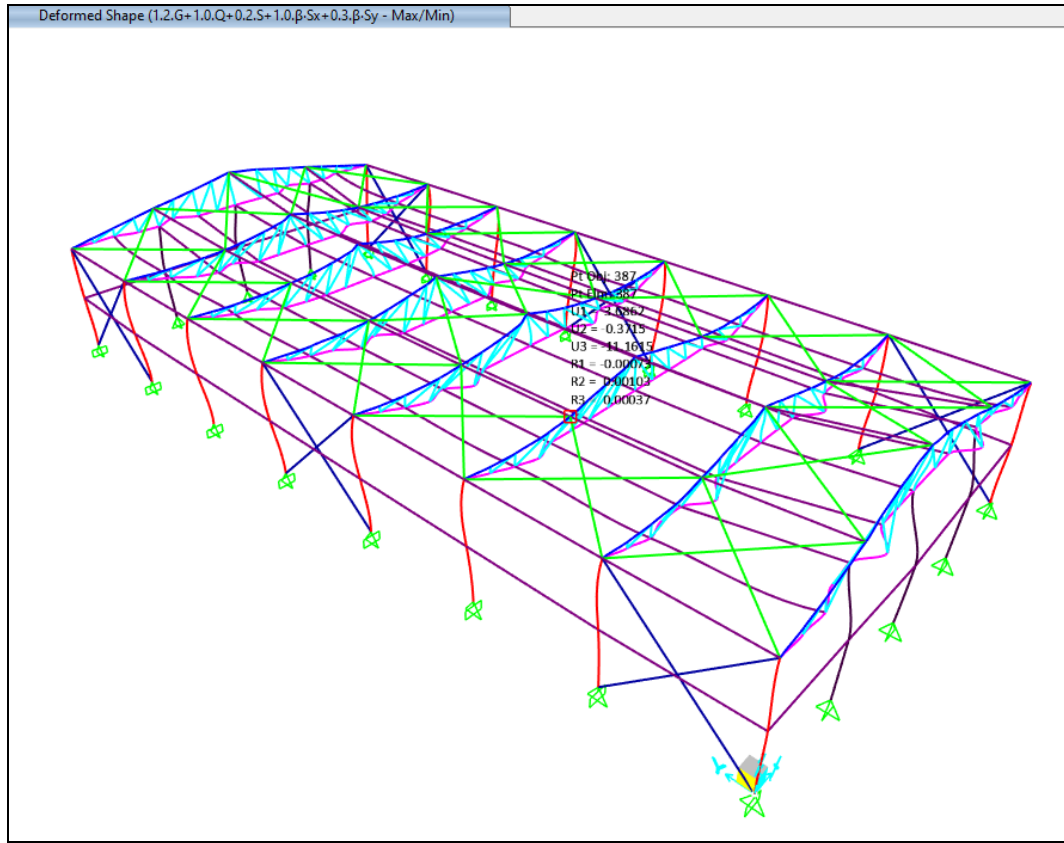
$$Def_{sınır} \leq 0,02 \cdot h / R \quad h = 6000.00 \text{ mm} \quad R_y = 5$$

$$Def_{maks} = 0,91 \text{ mm} \leq 24 \text{ mm}$$

YETERLİ

4.5. Yatay Çaprazlar İçin Yer Değiştirme Kontrolü

Bu kısımda, yatay çaprazlar için yer değiştirme hesabı yapılmıştır. Şekil 73'te gösterilmiştir.



Şekil 73. Model A yatay çaprazlar için yer değiştirme kontrolü

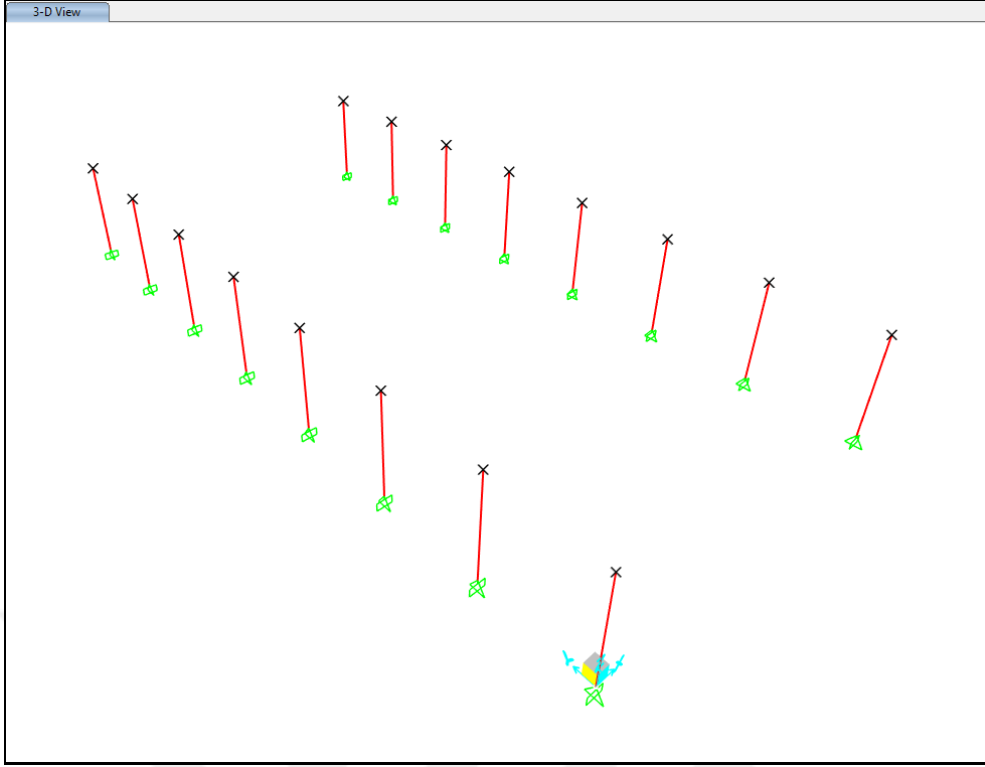
$$Def_{sınır} \leq 0,02 \cdot h / R \quad h = 6000.00 \text{ mm} \quad R_x = 8$$

$$Def_{maks} = 3,69 \text{ mm} \leq 15 \text{ mm}$$

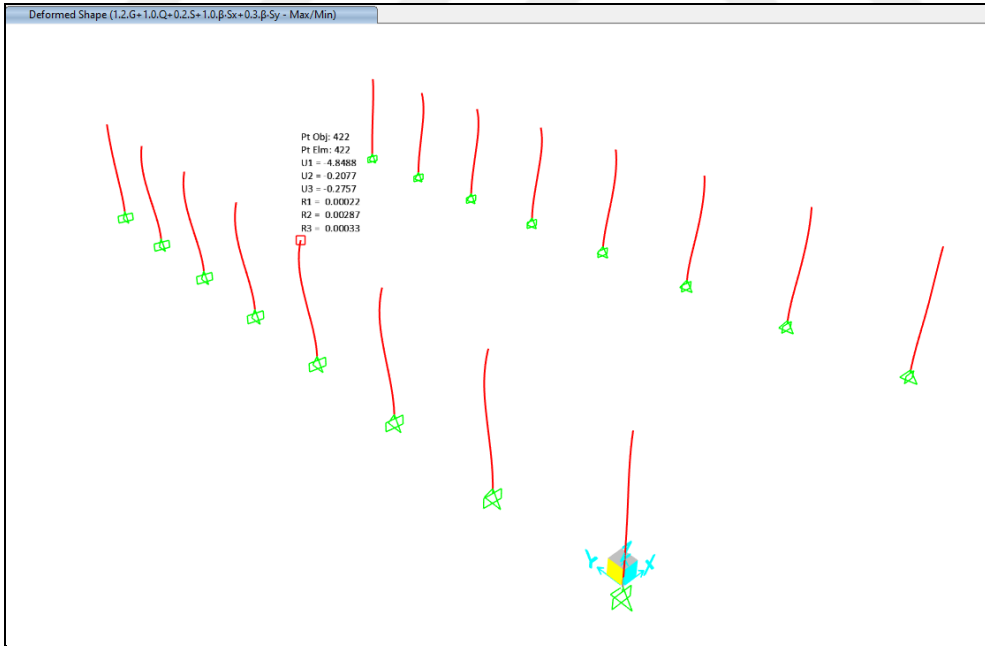
YETERLİ

4.6. Kolonlar İçin Görelî Kat Ötelenmesi Kontrolleri

Bu kısımda, kolonlar için görelî kat ötelenmesi kontrolü X deprem doğrultusu ve Y deprem doğrultusu için dikkate alınarak yapılmıştır. Aşağıda Model A kolonlarının görelî kat ötelenmesi için görseller Şekil 74 ve Şekil 75'te gösterilmiştir.



Şekil 74. Model A kolonlar için görelî kat ötelenmesi kontrolleri



Şekil 75. $1.0 \cdot \beta \cdot S_x + 0.3 \cdot \beta \cdot S_y$ deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirme

X deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirmeler aşağıda Şekil 76’da verilmiştir.

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
424	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,848804	0,040083	-0,247847	0,000218	-0,002428	0,00013
466	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,848804	0,207707	-0,247847	0,000145	-0,002428	0,000329
382	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,692683	-0,042578	-0,266036	0,000255	-0,002386	0,0002
508	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,692683	0,41802	-0,266036	0,000135	-0,002386	0,00031
550	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,292941	0,613581	-0,167536	3,9E-05	-0,002126	0,000316
340	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,29294	-0,330642	-0,167536	0,000345	-0,002126	0,000169
5	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	3,222339	-0,527878	-0,109658	0,00042	-3,4E-05	-3,651E-06
592	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	3,222339	0,742938	-0,109658	-4E-05	-3,4E-05	0,000398
2	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	3,026139	-0,527878	-0,109659	0,00042	0,000145	0,000398
590	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	3,026139	0,742939	-0,109659	-4E-05	0,000145	-3,649E-06
424	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	2,477741	0,254211	-0,228569	0,000614	-0,002453	0,000635
466	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	2,477739	0,421836	-0,228569	0,000542	-0,002453	0,000835
382	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	2,382385	0,187001	-0,264321	0,000631	-0,002457	0,000683
508	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	2,382385	0,6476	-0,26432	0,00051	-0,002457	0,000792
548	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	2,137542	0,613581	-0,167536	3,9E-05	0,002562	0,00017
338	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	2,137541	-0,330641	-0,167536	0,000345	0,002562	0,000316

Şekil 76. X deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri

Aşağıda, maksimum etkin göreceli kat ötelenmesi sınır koşulu kontrolleri X doğrultusu için hesaplanmıştır.

$$\delta_{i,maks}^x = \frac{8}{1} 4,85 = 38,8$$

λ katsayısı, DD-2 ve DD-3 için elde edilen DTH’da (Deprem Tasarım Hesaplarında) belirtilen elastik tasarım spektral ivme katsayılarının oranıdır. Denklem (4.7) ile hesaplanır. buradaki κ katsayısı ise TBDY 2018’de açıklandığı üzere çelik yapılar için 0,5 olarak alınır.

$$\lambda \frac{\delta_{i,maks}^x}{h_i} \leq 0,016 \cdot \kappa \quad (4.7)$$

$$S_{ae} = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,144}{0,55} = 0,26 \quad DD2$$

$$S_{ae} = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,048}{0,55} = 0,087 \quad DD3$$

$$\lambda = 0,087/0,26 = 0,34$$

$$0,34 \frac{38,8}{6000} = 0,0022 \leq 0,008$$

X deprem doğrultusunda görel kat ötelemesi kontrolleri yapılmış olup sınır şartı sağlanmıştır.

Y deprem doğrultusu için maksimum etkin görel kat ötelemesi aşağıda hesaplanmıştır. Y deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirmeler Şekil 77’de verilmiştir.

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	StepType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
590	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	0,858801	0,905141	-0,099199	0,000366	0,000112	0,000423
592	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	1,055001	0,90514	-0,099199	0,000366	-6,6E-05	0,000824
548	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	-0,05058	0,800663	-0,147226	0,000426	0,002558	0,000652
550	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	2,10482	0,800663	-0,147225	0,000426	-0,002129	0,000798
590	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	3,026139	0,742939	-0,109659	-4E-05	0,000145	-3,649E-06
592	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	3,222339	0,742938	-0,109658	-4E-05	-3,4E-05	0,000398
506	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	-0,322131	0,6476	-0,264321	0,00051	0,002702	0,000683
508	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	2,382385	0,6476	-0,26432	0,00051	-0,002457	0,000792
548	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	2,137542	0,613581	-0,167536	3,9E-05	0,002562	0,00017
550	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,292941	0,613581	-0,167536	3,9E-05	-0,002126	0,000316
590	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Min	-3,222339	0,527878	-0,147445	-0,00042	3,4E-05	-0,000398
592	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Min	-3,026139	0,527878	-0,147445	-0,00042	-0,000145	3,651E-06
464	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	-0,315203	0,421836	-0,228569	0,000542	0,002841	0,000635
466	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sy...	Combination	Max	2,477739	0,421836	-0,228569	0,000542	-0,002453	0,000835
506	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	1,988167	0,41802	-0,266036	0,000135	0,002772	0,0002
508	1.2.G+1.0.Q+0.2.S+1.0.β.Sx...	Combination	Max	4,692683	0,41802	-0,266036	0,000135	-0,002386	0,00031

Şekil 77. Y deprem doğrultusu için hesaplanan maksimum yer değiştirme değerleri

$$\delta_{i,maks}^x = \frac{5}{1} 0,91 = 4,55$$

$$S_{ae} = \frac{SD1}{T} = \frac{0,144}{0,375} = 0,384 \quad DD2$$

$$S_{ae} = \frac{SD1}{T} = \frac{0,048}{0,375} = 0,128 \quad DD3$$

$$\lambda = \frac{0,128}{0,384} = 0,33$$

$$0,33 \frac{4,55}{6000} = 0,00025 \leq 0,008$$

Endüstriyel tip çelik yapının görel X ve Y deprem doğrultusunda görel kat ötelemesi kontrolleri yapılmış olup sınır şartlarını sağlamıştır.

4.7. Şehim Kontrolü

Bu bölümde düşey deplasmanlar ve yatay deplasmanlar değerlendirilmiştir. Gerekli kontrolleri sağlanan modeller için Model A 'ya ait düşey deplasman ve yatay deplasman değerleri aşağıda gösterilmiştir. Düşey deplasman değerleri Şekil 78 ve Şekil 79'da, yatay deplasman değerleri ise Şekil 80 ve Şekil 81'de sunulmuştur. İlgili hesaplamalar Tablo 13 ve Tablo 14'te verilmiştir.

The screenshot shows the 'Joint Displacements' window with a table of results. The table has columns for Joint Text, OutputCase Text, CaseType Text, U1 mm, U2 mm, U3 mm, R1 Radians, R2 Radians, and R3 Radians. The data is for Model A (G+0,5S) combination.

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
432	G+0.5S (SEHİM)	Combination	0,204827	-0,02498	-16,304183	-0,000187	-8,7E-05	3,172E-06
474	G+0.5S (SEHİM)	Combination	0,204827	0,02498	-16,304183	0,000187	-8,7E-05	-3,172E-06
433	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-0,204827	-0,02498	-16,304182	-0,000187	8,7E-05	-3,172E-06
475	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-0,204827	0,02498	-16,304182	0,000187	8,7E-05	3,172E-06
431	G+0.5S (SEHİM)	Combination	0,374552	-0,076825	-16,212984	-0,000229	0,000234	-5,329E-06
434	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-0,374552	-0,076825	-16,212984	-0,000229	-0,000234	5,329E-06
473	G+0.5S (SEHİM)	Combination	0,374552	0,076825	-16,212984	0,000229	0,000234	5,329E-06
476	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-0,374552	0,076825	-16,212984	0,000229	-0,000234	-5,329E-06
446	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-0,20844	0,002948	-16,208783	-0,000117	3,23E-06	7,615E-07
448	G+0.5S (SEHİM)	Combination	0,20844	0,002948	-16,208783	-0,000117	-3,23E-06	-7,615E-07
488	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-0,20844	-0,002948	-16,208783	0,000117	3,23E-06	-7,615E-07
490	G+0.5S (SEHİM)	Combination	0,20844	-0,002948	-16,208783	0,000117	-3,23E-06	7,615E-07
447	G+0.5S (SEHİM)	Combination	7,163E-08	0,003683	-16,168824	5,7E-05	-9,804E-11	-2,023E-13
489	G+0.5S (SEHİM)	Combination	7,163E-08	-0,003683	-16,168824	-5,7E-05	-9,804E-11	2,023E-13
423	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-1,292E-07	0,019809	-16,147054	-0,000146	-9,892E-11	-3,673E-12
465	G+0.5S (SEHİM)	Combination	-1,292E-07	-0,019809	-16,147054	0,000146	-9,892E-11	3,673E-12

Şekil 78. Model A (G+0,5S) kombinasyonu için düşey deplasman değerleri

The screenshot shows the 'Joint Displacements' window with a table of results. The table has columns for Joint Text, OutputCase Text, CaseType Text, U1 mm, U2 mm, U3 mm, R1 Radians, R2 Radians, and R3 Radians. The data is for Model A (S) loading.

Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
390	S	LinStatic	0,238407	0,680093	-17,626681	-0,000635	-0,000107	7,9E-05
391	S	LinStatic	-0,238407	0,680093	-17,626681	-0,000635	0,000107	-7,9E-05
516	S	LinStatic	0,238407	-0,680093	-17,626681	0,000635	-0,000107	-7,9E-05
517	S	LinStatic	-0,238407	-0,680093	-17,626681	0,000635	0,000107	7,9E-05
389	S	LinStatic	0,43778	0,391403	-17,53749	-0,000658	0,000249	0,000109
515	S	LinStatic	0,43778	-0,391403	-17,53749	0,000658	0,000249	-0,000109
392	S	LinStatic	-0,43778	0,391403	-17,537489	-0,000658	-0,000249	-0,000109
518	S	LinStatic	-0,43778	-0,391403	-17,537489	0,000658	-0,000249	0,000109
404	S	LinStatic	-0,218228	0,013389	-17,515795	-0,000494	-4,684E-06	7,837E-06
406	S	LinStatic	0,218229	0,013389	-17,515795	-0,000494	4,683E-06	-7,837E-06
530	S	LinStatic	-0,218228	-0,013389	-17,515795	0,000494	-4,684E-06	-7,837E-06
532	S	LinStatic	0,218229	-0,013389	-17,515795	0,000494	4,683E-06	7,837E-06
432	S	LinStatic	0,224353	-0,027574	-17,47042	-0,000202	-0,000108	5,312E-06
433	S	LinStatic	-0,224353	-0,027574	-17,47042	-0,000202	0,000108	-5,312E-06
474	S	LinStatic	0,224353	0,027574	-17,47042	0,000202	-0,000108	-5,312E-06
475	S	LinStatic	-0,224353	0,027574	-17,47042	0,000202	0,000108	5,312E-06

Şekil 79. Model A (S) yüklemesi için düşey deplasman değeri

Tablo 13. Model A düşey deplasman hesaplamaları

Kombinasyon	In(mm)	Δ_{xmax} (mm)	Sınır Koşulu	Sınır Koşulu	Kontrol
G+0.5S	20000	16,30	I/300	66,67	Ok
S	20000	17,63	I/240	83,34	Ok

S Joint Displacements

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	454	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,758628	-0,051191	-0,087921	-0,000101	-0,000109	-2,4E-05
	496	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,758618	0,051215	-0,087916	0,0001	-0,000109	2,4E-05
	453	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,758228	-0,045681	-0,298161	-3,3E-05	-0,000191	2,1E-05
	495	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,758218	0,045737	-0,298155	3,3E-05	-0,000191	-2,1E-05
	424	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,752737	-0,09263	-0,063701	-4,63E-06	0,000121	-3,6E-05
	466	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,752727	0,09259	-0,063697	4,596E-06	0,000121	3,6E-05
	452	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,750337	-0,108065	-0,542929	1,4E-05	-0,000186	5,7E-05
	494	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,750327	0,108063	-0,542922	-1,5E-05	-0,000186	-5,7E-05
	439	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,748818	-0,044023	-0,085914	-6,2E-05	-0,000102	-2,6E-05
	481	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,748808	0,044045	-0,085908	6,2E-05	-0,000102	2,6E-05
	451	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,737158	-0,160219	-0,753501	1,5E-05	-0,000145	4,951E-06
	493	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,737147	0,160005	-0,753495	-1,7E-05	-0,000145	-4,7E-06
	450	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,722266	-0,122292	-0,90578	-5,8E-05	-0,000107	-4,4E-05
	492	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,722255	0,121635	-0,905775	5,6E-05	-0,000107	4,5E-05
	438	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,70781	-0,003141	-0,290848	-0,000101	-0,000185	-4,511E-06
	480	G + 0.5.Q + WL(+x)...	Combination	9,7078	0,003195	-0,290841	0,000101	-0,000185	4,516E-06

Record: << < 1 > >> of 300

Add Tables... Done

Şekil 80. Model A (G+0.5Q+Wx+) kombinasyonu için yatay deplasman değerleri

S Joint Displacements

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 mm	U2 mm	U3 mm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	28	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,001175	18,466679	-0,030523	0,001187	6,269E-08	-5,656E-09
	363	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,001176	18,328593	-0,906839	0,00946	1,119E-08	-5,393E-09
	27	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	-0,004986	18,315433	-0,042516	0,008258	-7,697E-06	0,00027
	29	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,007337	18,31542	-0,042534	0,008258	7,679E-06	-0,00027
	362	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	-0,01892	18,257361	-0,888661	0,00758	2,2E-05	0,000159
	364	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,021273	18,257348	-0,88869	0,00758	-2,2E-05	-0,000159
	405	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,000987	18,210931	-1,455353	0,009275	-7,61E-09	-5,007E-09
	404	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	-0,024477	18,188258	-1,443545	0,007792	1,7E-05	0,000112
	406	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,026451	18,188245	-1,443526	0,007792	-1,7E-05	-0,000112
	446	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	-0,025183	18,104201	-1,486418	0,007595	1,8E-05	7E-05
	448	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,026745	18,104187	-1,486391	0,007595	-1,8E-05	-7E-05
	447	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,000781	18,089218	-1,498728	0,009444	-1,076E-08	-5,442E-09
	488	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	-0,02334	18,015477	-1,415081	0,007605	1,8E-05	3,4E-05
	490	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,024776	18,015463	-1,415058	0,007605	-1,8E-05	-3,4E-05
	489	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	0,000718	17,969196	-1,42756	0,009376	-8,42E-10	-5,611E-09
	26	G + 0.5.Q + WL(+y)...	Combination	-0,011369	17,964583	-0,045547	0,006417	8,7E-07	0,000319

Record: << < 1 > >> of 300

Add Tables... Done

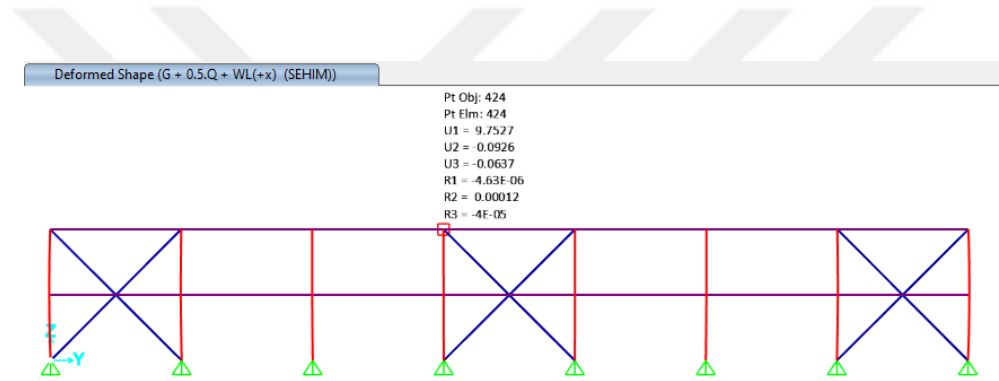
Şekil 81. Model A (G+0.5Q+Wy+) kombinasyonu için yatay deplasman değerleri

Tablo 14. Model A yatay deplasman hesaplamaları

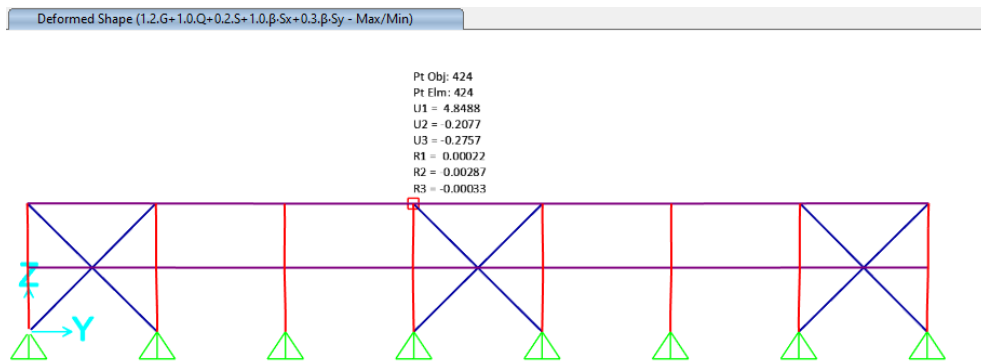
Kombinasyon	In(mm)	Δ_{xmax} (mm)	Sınır Koşulu	Sınır Koşulu	Kontrol
G+0.5Q+Wx+	8000	9,76	I/400	20	Ok
G+0.5Q+Wy+	8000	18,47	I/400	20	Ok

4.8. Rüzgar Ve Deprem Deplasman Kontrolü

Bu bölümde, yapı üzerinde rüzgar ve deprem etkileri altında yapının deplasmanları kontrol edilmiştir. X doğrultusundaki maksimum deplasman değerleri Şekil 82 ve Şekil 83’te gösterilmiştir.



Şekil 82. G+0.5Q+W(+x) rüzgar deplasman kontrolü



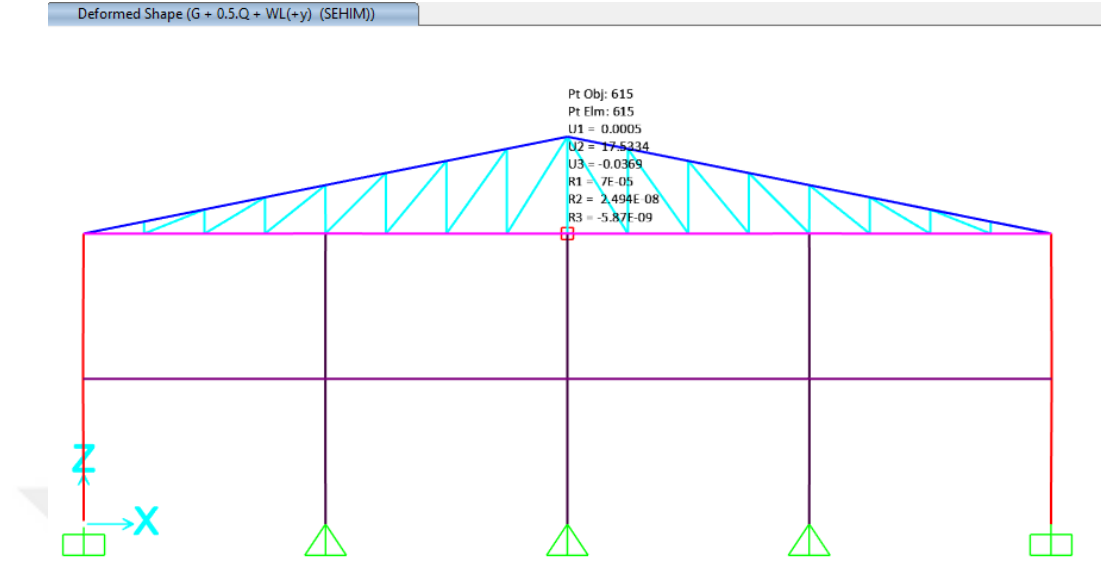
Şekil 83. 1.2G+1.0Q+0.2S+1.0β·Sx+0.3β·Sy deplasman kontrolü

$$\delta_{sınır} \leq h / 300 \quad h = 6000.00 \text{ mm}$$

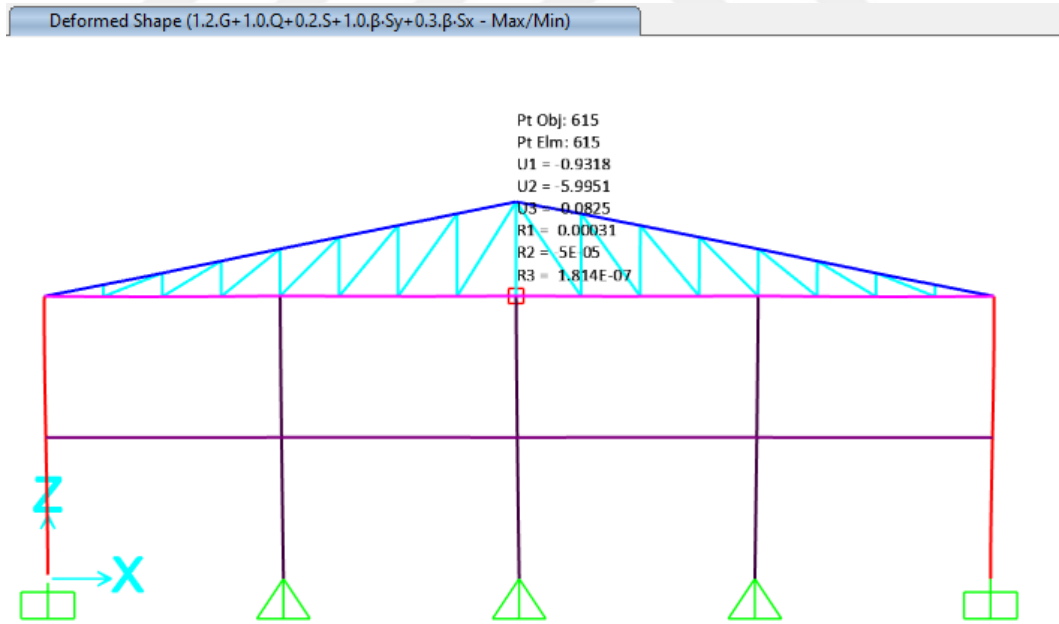
$$6000.00 \text{ mm} / 300 = 20,00 \text{ mm} > \delta_{maks} = 9,75 \text{ mm}$$

YETERLİ

Y doğrultusundaki maksimum deplasman değerleri Şekil 84 ve Şekil 85'te gösterilmiştir.



Şekil 84. G+0.5Q+W(+y) rüzgar deplasman kontrolü



Şekil 85. 1.2G+1.Q+0.2S+1.0β.Sy+0.3β.Sx deplasman kontrolü

$$\delta_{sınır} \leq h / 300 \quad h = 6000.00 \text{ mm}$$

$$6000.00 \text{ mm} / 300 = 20,00 \text{ mm} > \delta_{maks} = 17,5 \text{ mm}$$

YETERLİ

4.9. Seçilen Kesitler ve Etkileşim Oranları

Yapı elemanlarının kapasite kullanım oranlarına ilişkin üç boyutlu görseller, gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen değerler doğrultusunda hazırlanmıştır. Bu görseller Şekil 86-103'te detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Ayrıca kesit zorlanmaları, yalnızca rüzgar yükleri içeren kombinasyonlar göz önünde bulundurularak analiz edildiğinde; her bir model ve rüzgar standardı için ayrı ayrı yapılan incelemelerde, rüzgar yüklemeleri dikkate alınarak zorlanan kesitler aşağıda belirtilmiştir.

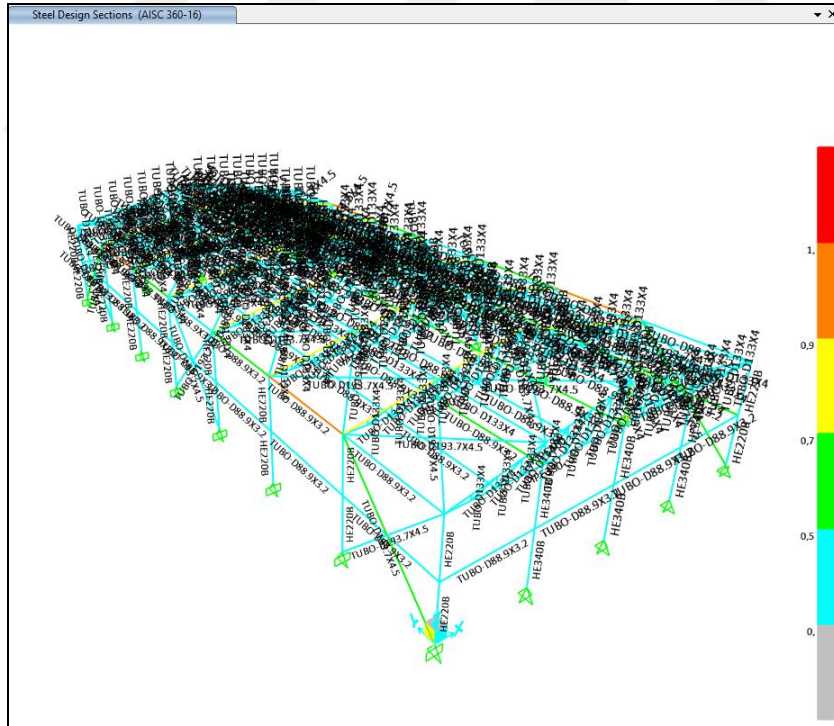
Yapılan analizler sonucunda, taşıyıcı elemanlara atanan enkesitlerin tasarım kontrolü gerçekleştirildiğinde, Model A için yapılan kesit incelemelerinde bazı elemanların maksimum dayanım kapasitesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Eurocode 1-4 standardına göre yapılan bu kontrolde, en fazla zorlanma gözlemlenen kesitlerin A 2-3, A 6-7 ve E 2-3, E 6-7 aksları arasında yer alan stabilite kirişlerinde meydana geldiği belirlenmiştir. Bu kesitler için dayanım oranı (D/C) 0,91 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, 1. ve 8. aks üzerindeki çatı makaslarının birleşim noktasında bulunan alın dikmelerinde de zorlanmalar meydana gelmiş olup, bu noktalardaki dayanım oranı 0,9 olarak hesaplanmıştır. TS 498 standardına göre yapılan kesit incelemelerinde, aynı akslarda bulunan stabilite kirişlerinde zorlanmalar oluşmuş ve bu kesitler için dayanım oranı 0,8 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, 1. ve 8. akslar üzerindeki çatı makaslarının birleşim noktasında bulunan alın dikmelerinde de gerilmeler gözlemlenmiş olup, bu noktadaki dayanım oranı 0,78 olarak hesaplanmıştır. ASCE 7-10 standardında yapılan incelemelerde ise, aynı akslarda bulunan stabilite kirişlerinde gerilmeler meydana gelmiş ve bu kesitler için dayanım oranı 0,81 olarak belirlenmiştir. A 1-2, A 7-8 ve E 1-2, E 7-8 aksları arasında bulunan cephe çaplarında da zorlanmalar oluşmuş olup ve bu kesitler için dayanım oranı 0,74 olarak tespit edilmiştir.

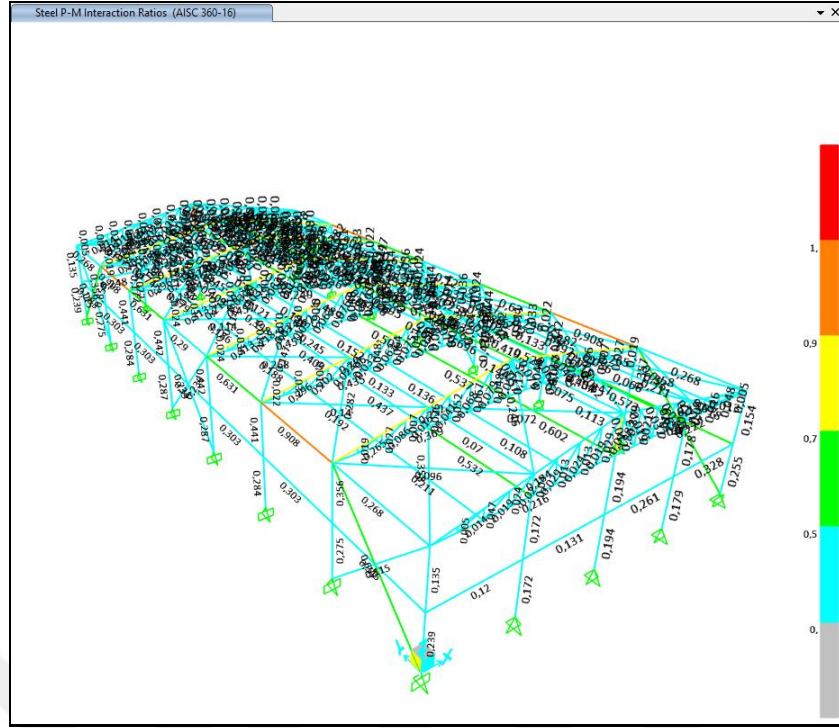
Model B'nin kesit yapısı üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda, Eurocode 1-4 standardı için en fazla zorlanmanın gözlemlendiği kesitlerin A 6-7 ve E 6-7 aksları arasında yer alan stabilite kirişlerinde meydana geldiği belirlenmiş olup, bu kesitler için dayanım oranı 0,77 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, A 7-8 ve E 7-8 aksları arasında bulunan cephe çaplarında ise dayanım oranı 0,66 olarak tespit edilmiştir. TS 498 standardına göre yapılan analizlerde, A 6-7 ve E 6-7 aksları arasında bulunan

stabilite kirişlerinde dayanım oranı 0,72, A 7-8 ve E 7-8 aksları arasında bulunan cephe çaprazlarında ise 0,62 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde, ASCE 7-10 yönetmeliğine göre gerçekleştirilen incelemelerde de, A 6-7 ve E 6-7 aksları arasındaki stabilite kirişlerinde 0,72 ve cephe çaprazlarında 0,6 dayanım oranı elde edilmiştir.

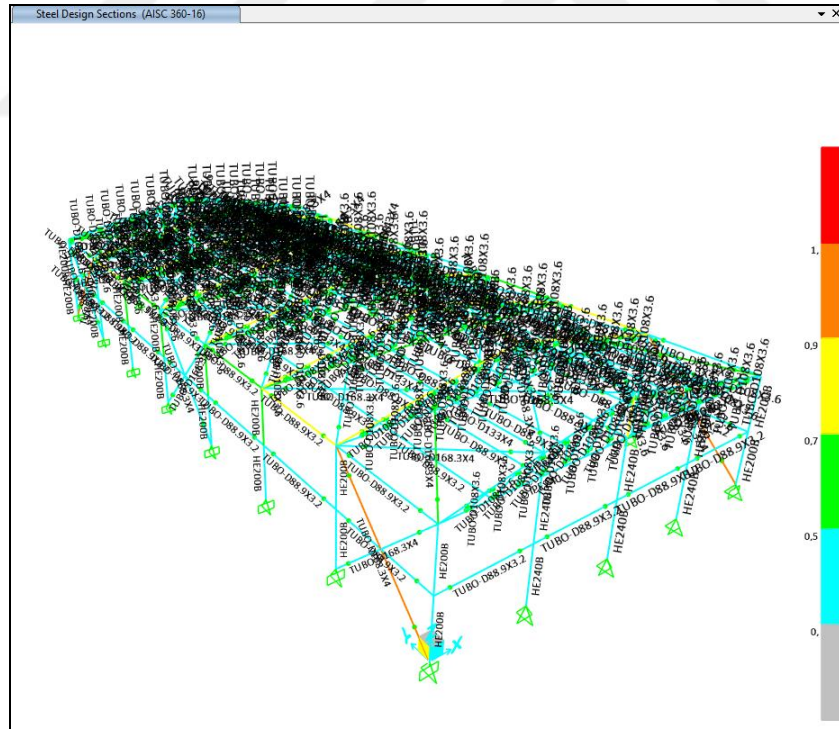
Model C'nin yapısal analiz sonuçları incelendiğinde, Eurocode 1-4 standardına göre A 7-8 ve F 7-8 aksları arasında yer alan cephe çaprazlarında dayanım oranı 0,92 olarak hesaplanmıştır. TS 498 standardı kapsamında yapılan analizlerde ise, aynı akslar arasında bulunan cephe çaprazlarında dayanım oranı 0,97 olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde, ASCE 7-10 yönetmeliğine göre gerçekleştirilen hesaplamalarda da söz konusu akslardaki cephe çaprazlarında dayanım oranı 0,96 olarak belirlenmiştir.

Model A için Eurocode 1-4, TS 498 ve ASCE 7-10 standartlarına uygun olarak seçilen kesitler ve etkileşim oranları;

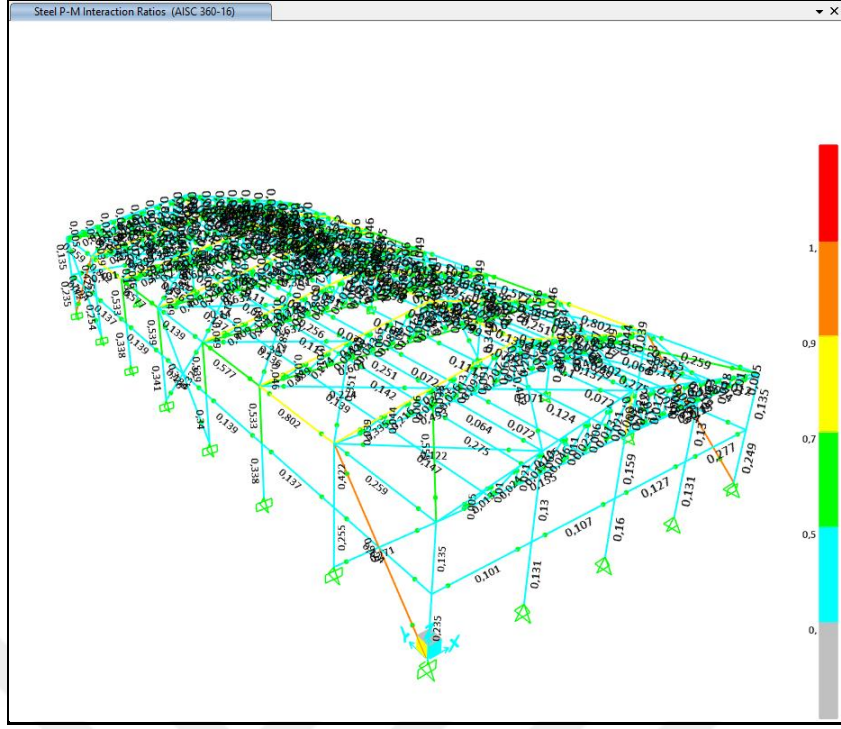




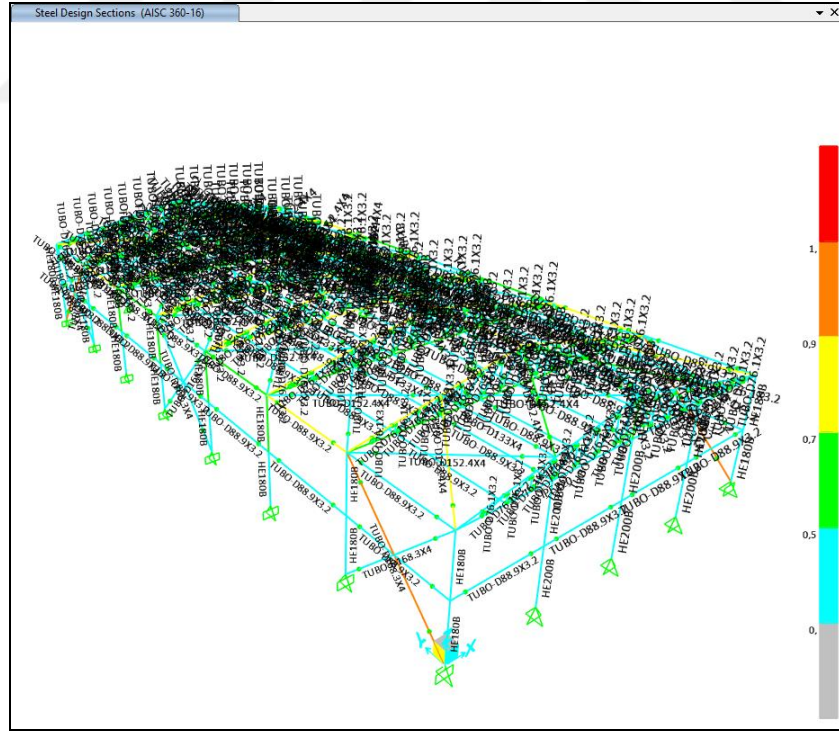
Şekil 87. Model A Elemanların AISC 360-16 Eurocode 1-4'e göre etkileşim oranları



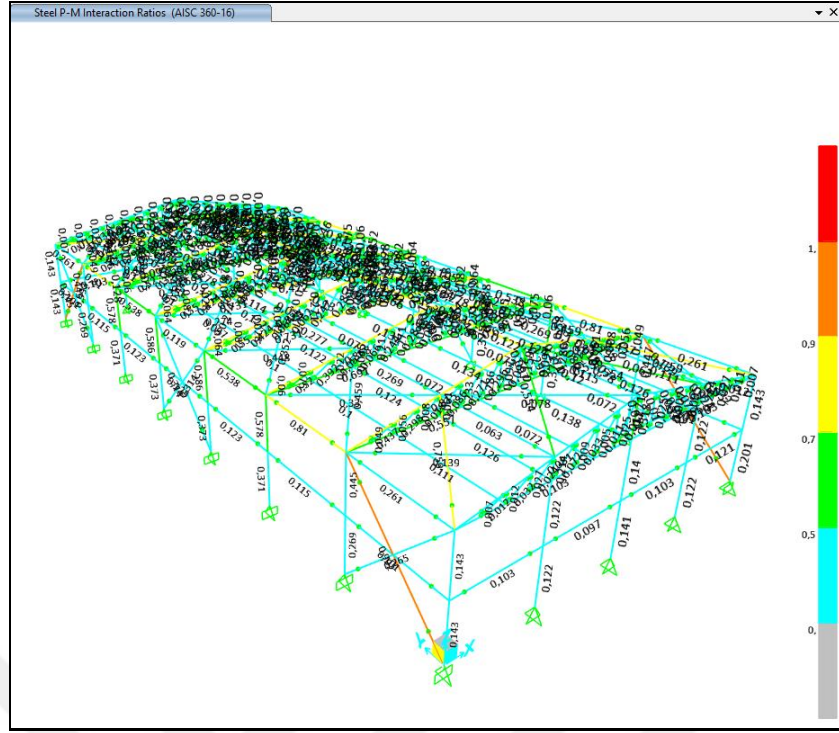
Şekil 88. Model A AISC 360-16 TS 498 standardına uygun seçilen kesitler



Şekil 89. Model A Elemanların AISC 360-16 TS 498'e göre etkileşim oranları

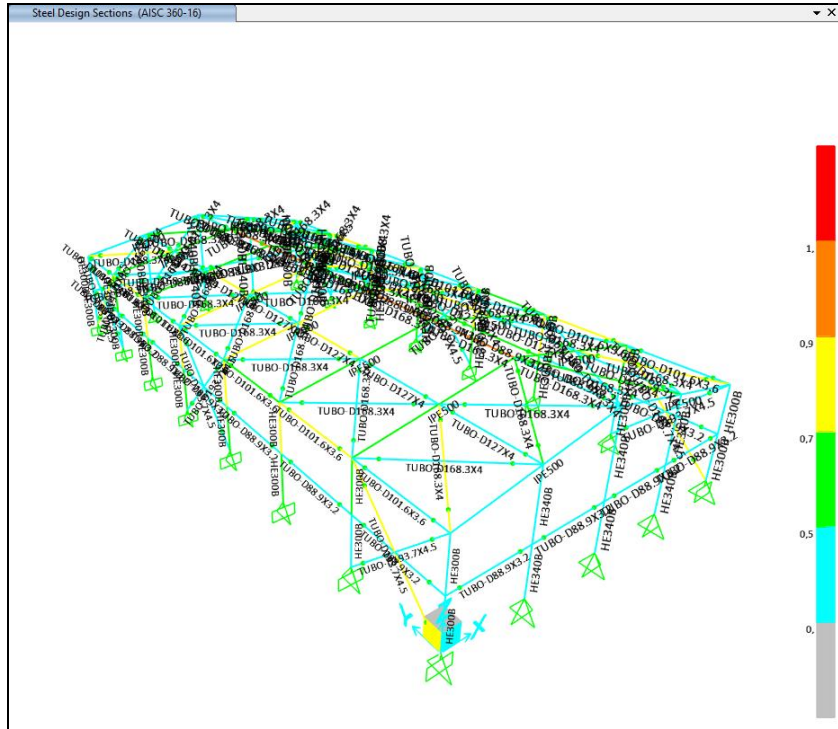


Şekil 90. Model A AISC 360-16 ASCE 7-10 standardına uygun seçilen kesitler

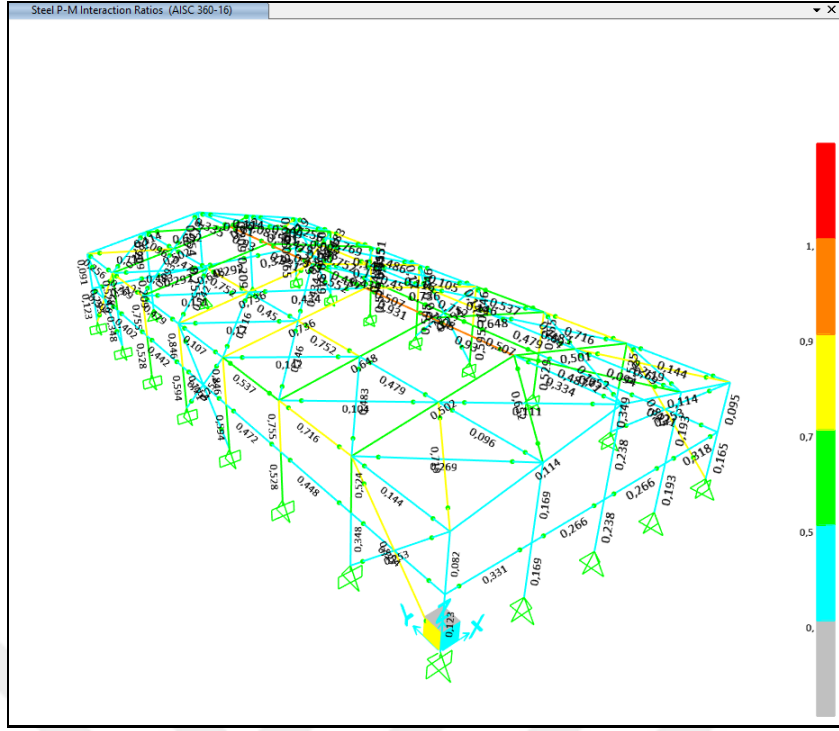


Şekil 91. Model A Elemanların AISC 360-16 ASCE 7-10'a göre etkileşim oranları

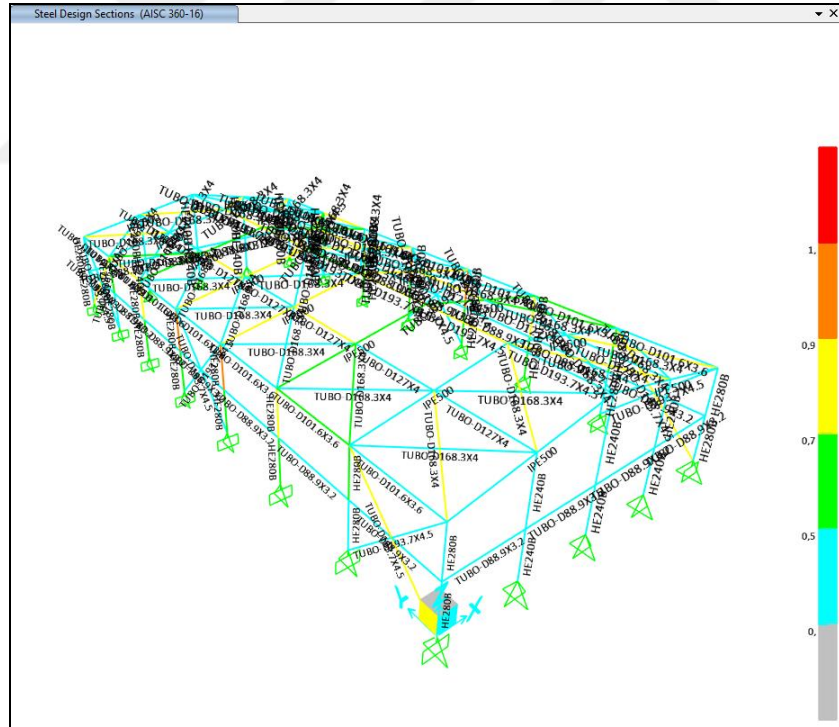
Model B için Eurocode 1-4, TS 498 ve ASCE 7-10 standartlarına uygun olarak seçilen kesitler ve etkileşim oranları;



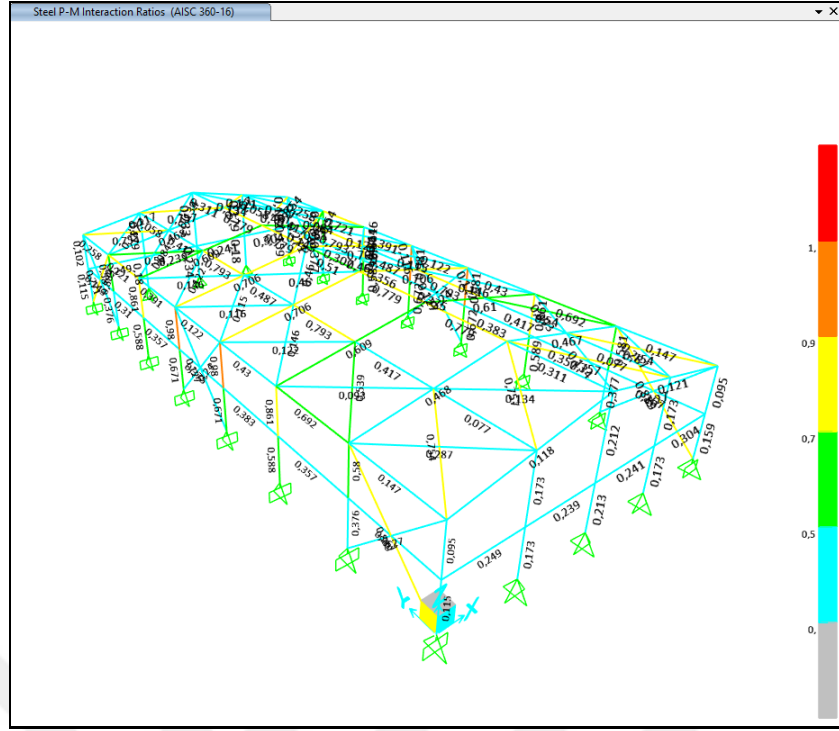
Şekil 92. Model B AISC 360-16 Eurocode 1-4 standardına uygun seçilen kesitler



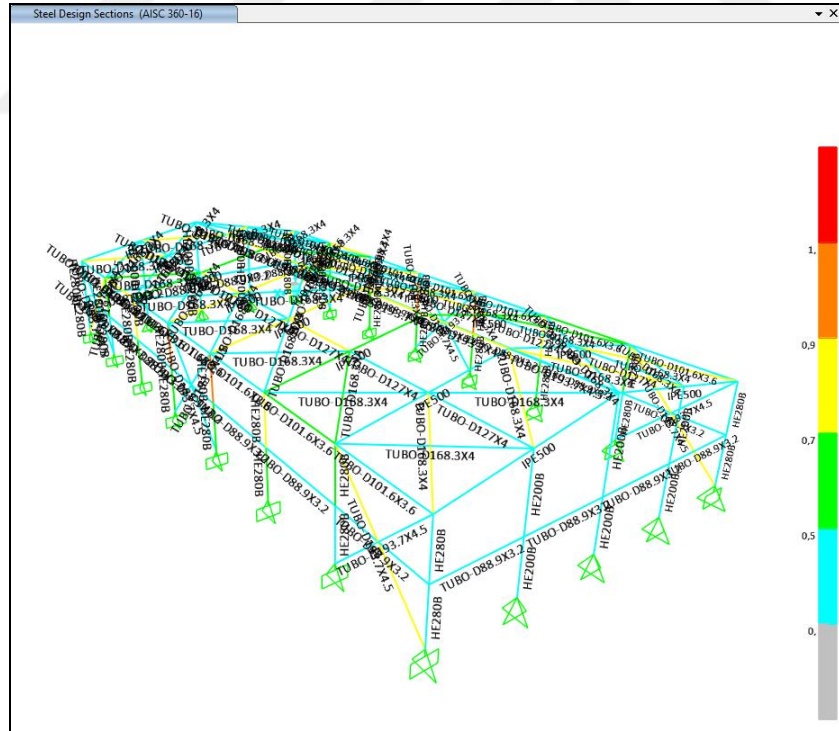
Şekil 93. Model B Elemanların AISC 360-16 Eurocode 1-4'e göre etkileşim oranları



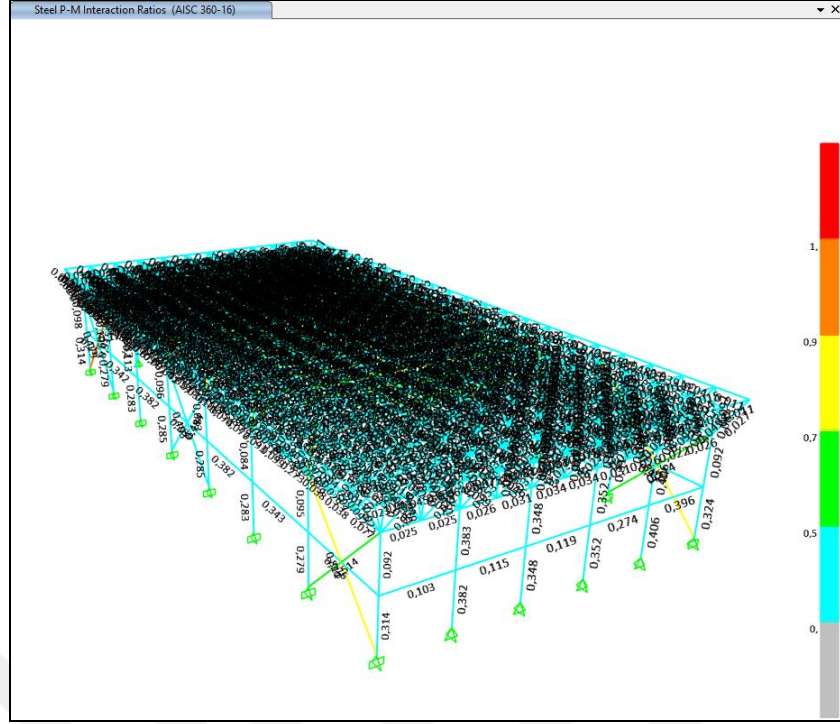
Şekil 94. Model B AISC 360-16 TS 498 standardına uygun seçilen kesitler



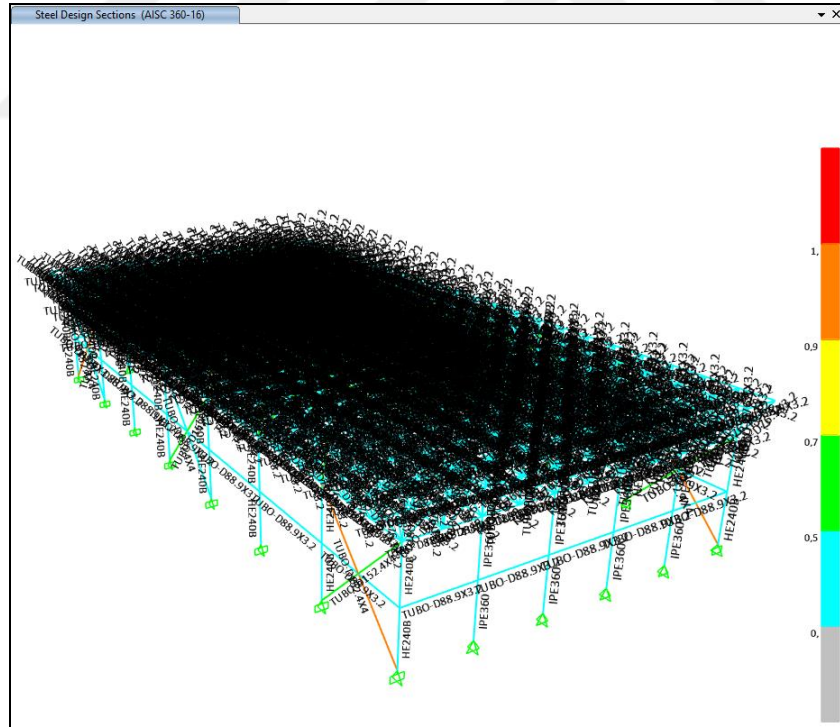
Şekil 95. Model B Elemanların AISC 360-16 TS 498'e göre etkileşim oranları

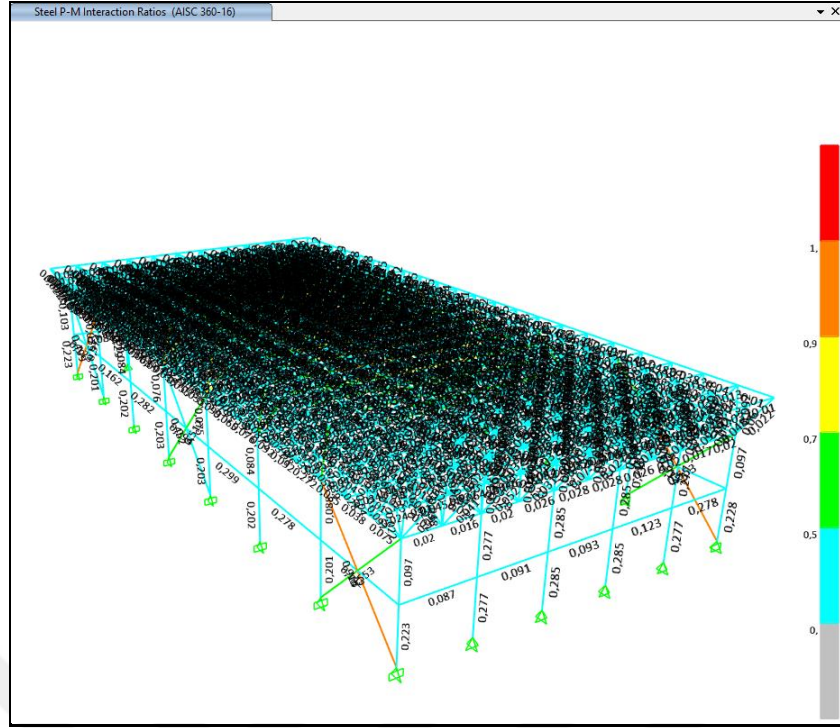


Şekil 96. Model B AISC 360-16 ASCE 7-10 standardına uygun seçilen kesitler

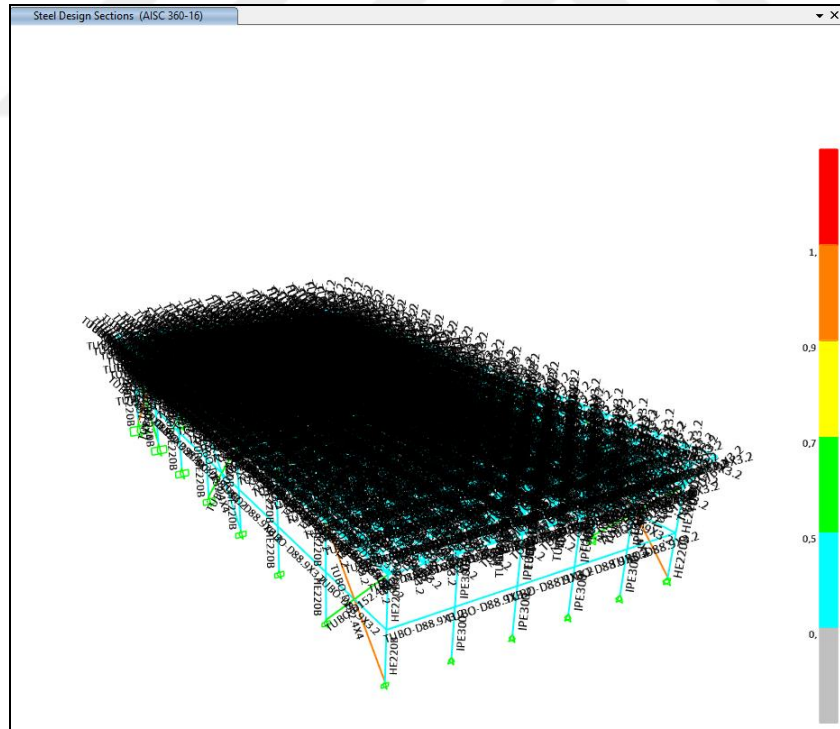


Şekil 99. Model C Elemanların AISC 360-16 Eurocode 1-4'e göre etkileşim oranları

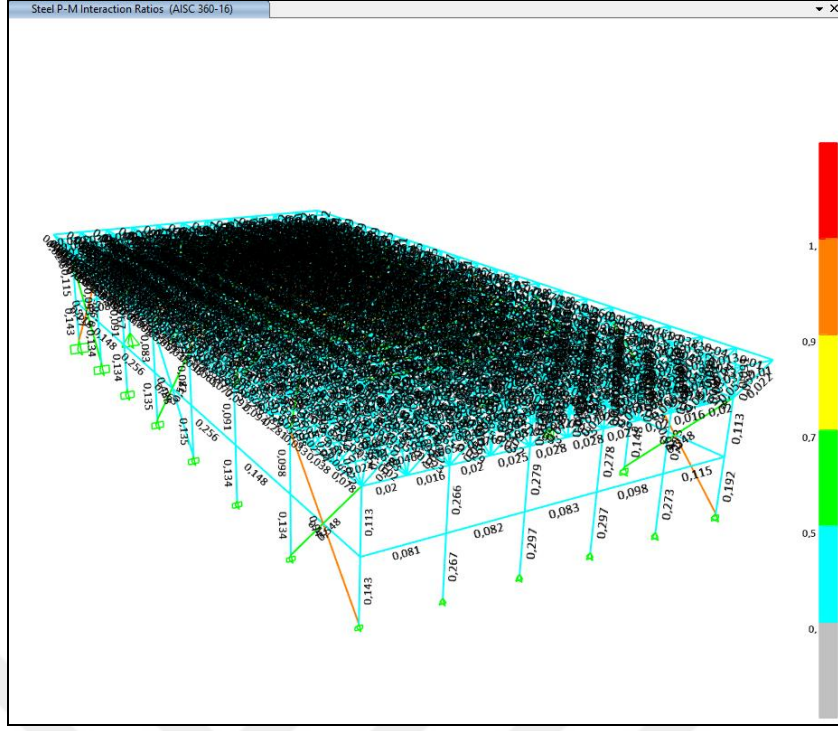




Şekil 101. Model C Elemanların AISC 360-16 TS 498'e göre etkileşim oranları



Şekil 102. Model C AISC 360-16 ASCE 7-10 standardına uygun seçilen kesitler



Şekil 103. Model C Elemanların AISC 360-16 ASCE 7-10'a göre etkileşim oranları

4.10. Yapı Ağırlıkları

Bu bölümde, farklı rüzgar yönetmeliklerine göre hesaplanan ağırlık değerleri gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde analiz edilerek değerlendirilmiştir.

Modellerin analizleri sonucunda seçilen kesitler detaylı bir şekilde aşağıdaki Tablo 15, Tablo 16 ve Tablo 17’de listelenmiştir. Eurocode 1-4 için genel olarak daha büyük kesitler kullanılmıştır. Model C’nin yapı ağırlığının Model A ve Model B’ye kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür.

Tablo 15. Model A için kullanılan yönetmelikler ve uygun kesitler

Model A	Kullanılan Yönetmelikler ve Seçilen Kesitler		
Yapı Elemanları	Eurocode 1	TS 498	ASCE 7-10
Kolon	HE 220B	HE 200B	HE 180B
Rüzgar Kolonları	HE 340B	HE 240B	HE 200B
Stabilite Kirişler	TUBO-D88.9X3.2 TUBO-D133X4	TUBO-D88.9X3.2 TUBO-D133X4	TUBO-D88.9X3.2 TUBO-D133X4
Çatı üst başlık	IPE 400	IPE 400	IPE 400
Çatı alt başlık	IPE 330	IPE 240	IPE 220
Makas	TUBO-D133X4	TUBO-D108X3.6	TUBO-D76.1X3.2
Çatı Çapraz	TUBO-D193.7X4.5	TUBO-D168.3X4	TUBO-D152.4X4
Cephe Çapraz	TUBO-D193.7X4.5	TUBO-D168.3X4	TUBO-D168.3X4
Alın Dikmesi	HE 160A	HE 100A	HE 100A
ÇatıAşık	UPN 120	UPN 120	UPN 120
Toplam Ağırlık	59,87 ton	50,80 ton	46,74 ton

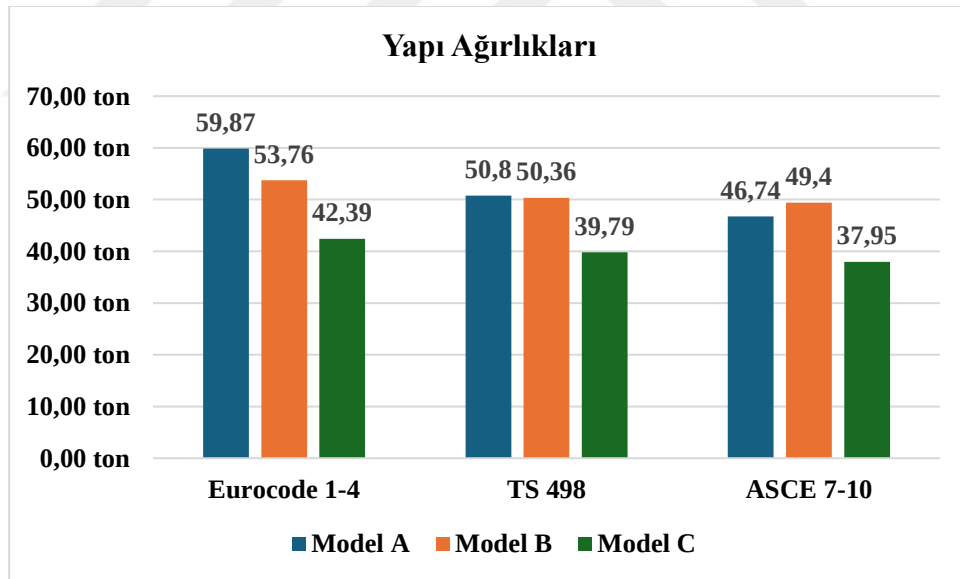
Tablo 16. Model B için kullanılan yönetmelikler ve uygun kesitler

Model B	Kullanılan Yönetmelikler ve Seçilen Kesitler		
Yapı Elemanları	Eurocode 1	TS 498	ASCE 7-10
Kolon	HE 300B	HE 280B	HE 280B
Rüzgar Kolonları	HE 340B	HE 240B	HE 200B
Stabilite Kirişler	TUBO-D88.9X3.2 TUBO-D101.6X3.6 TUBO-D127X4 TUBO-D168.3X4	TUBO-D88.9X3.2 TUBO-D101.6X3.6 TUBO-D127X4 TUBO-D193.7X4.5	TUBO-D88.9X3.2 TUBO-D101.6X3.6 TUBO-D127X4 TUBO-D193.7X4.5
Çatı üst başlık	IPE 500	IPE 500	IPE 500
Çatı Çapraz	TUBO-D168.3X4	TUBO-D168.3X4	TUBO-D168.3X4
Cephe Çapraz	TUBO-D193.7X4.5	TUBO-D193.7X4.5	TUBO-D193.7X4.5
ÇatıAşık	UPN 120	UPN 120	UPN 120
Toplam Ağırlık	53,76 ton	50,36 ton	49,40 ton

Tablo 17. Model C için kullanılan yönetmelikler ve uygun kesitler

Model C	Kullanılan Yönetmelikler ve Seçilen Kesitler		
Yapı Elemanları	Eurocode 1	TS 498	ASCE 7-10
Kolon	HE 260B	HE 240B	HE 220B
Rüzgar Kolonları	IPE 500	IPE 360	IPE 300
Stabilite Kirişler	TUBO-D88.9X3.2	TUBO-D88.9X3.2	TUBO-D88.9X3.2
Çatı üst başlık	TUBO-D88.9X3.2	TUBO-D88.9X3.2	TUBO-D88.9X3.2
Çatı alt başlık	TUBO-D88.9X3.2	TUBO-D88.9X3.2	TUBO-D88.9X3.2
Diagoneller	TUBO-D76.1X3.2	TUBO-D76.1X3.2	TUBO-D76.1X3.2
Cephe Çapraz	TUBO-D159X4	TUBO-D152.4X4	TUBO-D152.4X4
Toplam Ağırlık	42,39 ton	39,79 ton	37,95 ton

Aşağıda, Şekil 104'te yapıların ağırlıkları karşılaştırmalı bir şekilde grafiksel olarak verilmiştir. Burada, en düşük yapı ağırlığı 37,95 ton ile C yapı sistemi için hesaplanırken, en yüksek yapı ağırlığı 59,87 ton ile A yapı sistemi için belirlenmiştir.



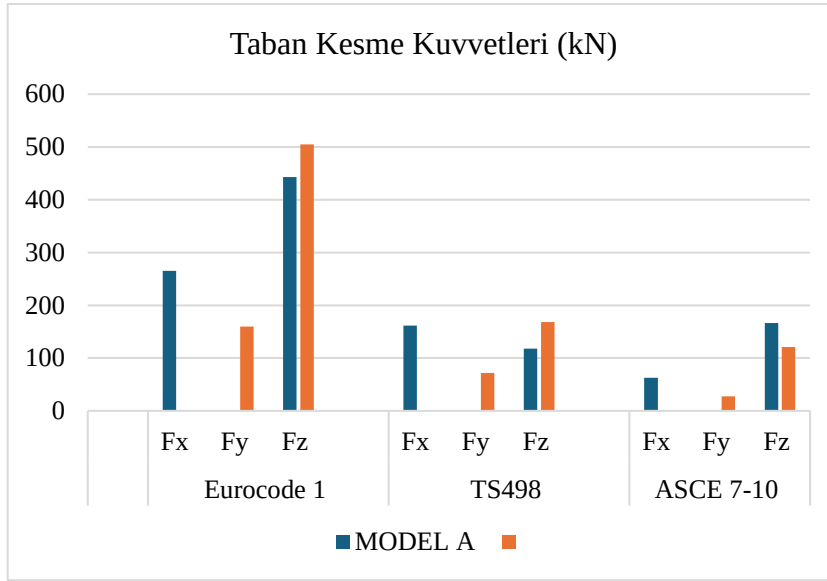
Şekil 104. Yapı ağırlıkları

4.11. Taban Kesme Kuvvetleri

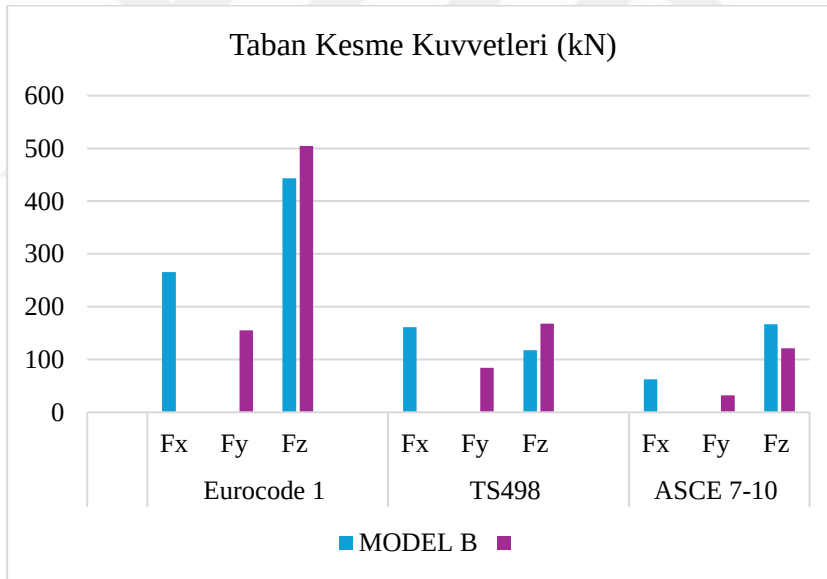
Model A için Eurocode 1-4, TS 498 ve ASCE 7-10 standartlarına göre rüzgar yüklemelerin taban kesme kuvvet değerleri karşılaştırılacak şekilde aşağıda Tablo 18’de gösterilmiştir. Şekil 105, Şekil 106 ve Şekil 107’de, Eurocode 1-4, TS 498 ve ASCE 7-10 standartlarına göre rüzgar yüklemeleri sonucunda oluşan taban kesme kuvvet değerleri, Model A, Model B ve Model C için karşılaştırmalı bir şekilde grafiksel olarak sunulmuştur. F_x , W_x yönünde esen rüzgarın yapı üzerinde oluşturduğu taban kesme kuvvetini ifade ederken, F_y , W_y yönünde esen rüzgarın oluşturduğu taban kesme kuvvetini ifade etmektedir. F_z ise, W_x ve W_y yönlerinde esen rüzgarların çatıda oluşturduğu düşey kuvveti ifade etmektedir.

Tablo 18. Model A - rüzgar standartlarının taban kesme kuvvetleri

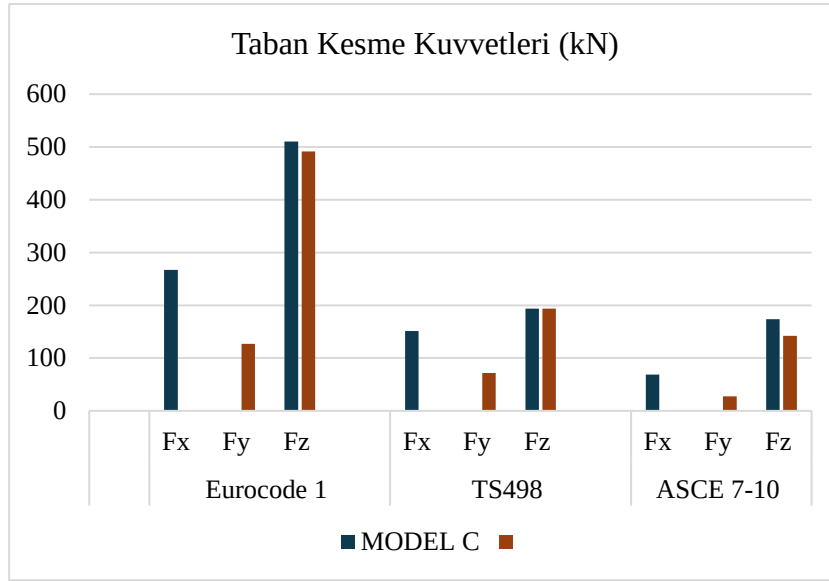
MODEL A				
İlgili Yönetmelik	Yükleme Tipi	Taban Kesme Kuvvetleri		
		F_x kN	F_y kN	F_z kN
Eurocode 1-4	W_{x+}	-265,469	-	-443,242
	W_{x-}	265,469	-	-443,242
	W_{y+}	-	-159,84	-504,772
	W_{y-}	-	159,84	-504,772
TS 498	W_{x+}	-161,28	-	-117,6
	W_{x-}	161,28	-	-117,6
	W_{y+}	-	-72	-167,999
	W_{y-}	-	72	-167,999
ASCE 7-10	$W_{x+} (+0.18)$	-62,317	-	-166,567
	$W_{x+} (-0.18)$	-62,317	-	-87,011
	$W_{x-} (+0.18)$	62,434	-	-166,567
	$W_{x-} (-0.18)$	62,434	-	-87,011
	$W_{y+} (+0.18)$	-	-27,446	-121,174
	$W_{y+} (-0.18)$	-	-27,447	-41,618
	$W_{y-} (+0.18)$	-	27,446	-121,174
	$W_{y-} (-0.18)$	-	27,447	-41,618



Şekil 105. Model A için ilgili standartlara göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri (kN)



Şekil 106. Model B için ilgili standartlara göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri (kN)

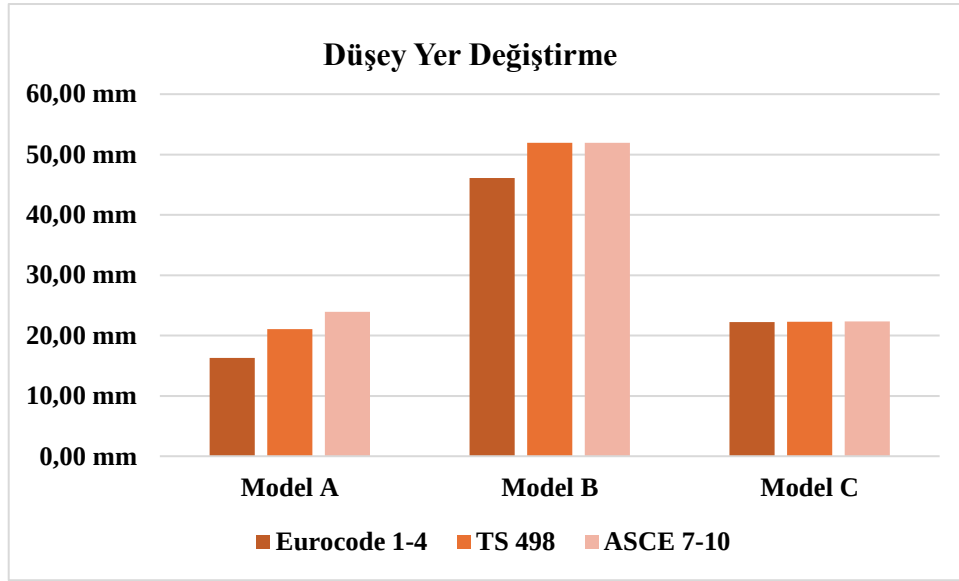


Şekil 107. Model A için ilgili standartlara göre hesaplanan taban kesme kuvvetleri (kN)

Üç modelin taban kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında, Eurocode 1-4 standardı ile hesaplanan değerlerin diğer standartlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. ASCE 7-10 standardı ise daha düşük taban kesme kuvveti değerleri ortaya koyarken, TS 498 standardı her iki yaklaşım arasında orta değerlerde kaldığı gözlemlenmiştir.

4.12. Düşey Yer Değiştirme Değerleri

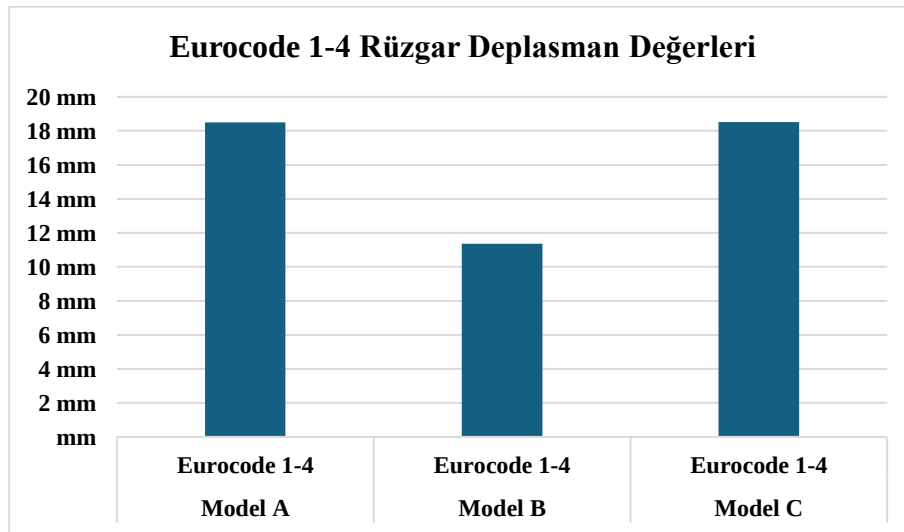
Modellerin G+0.5S yükleme durumu için düşey yer değiştirme değerleri Şekil 108'de gösterilmiştir. Model B'nin diğer modellere göre daha yüksek deplasman sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 108. G+0.5S yüklemesi için düşey yer değiştirme değerleri

4.13. Rüzgar Deplasman Değerleri

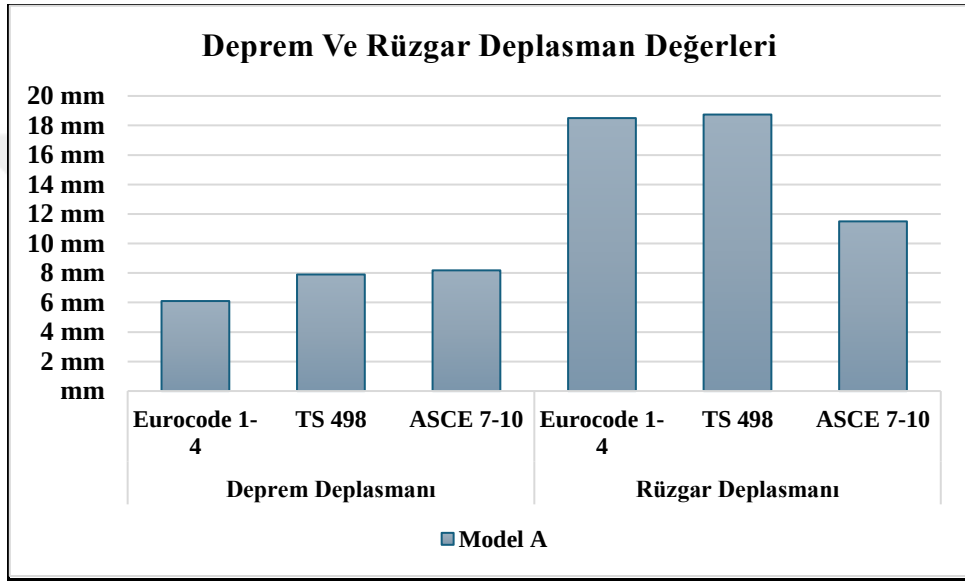
Eurocode 1-4 standardına göre gerçekleştirilen rüzgar deplasman kontrolünde, Model A, Model B ve Model C’de deplasman davranışları incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda, Model B’nin rüzgar etkisi altında meydana gelen yatay deplasman değerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Buna karşın, Model A ve Model C’de elde edilen deplasman değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıda, Şekil 109’da Eurocode 1-4 için örnek modellerde rüzgar deplasman değerleri gösterilmiştir.



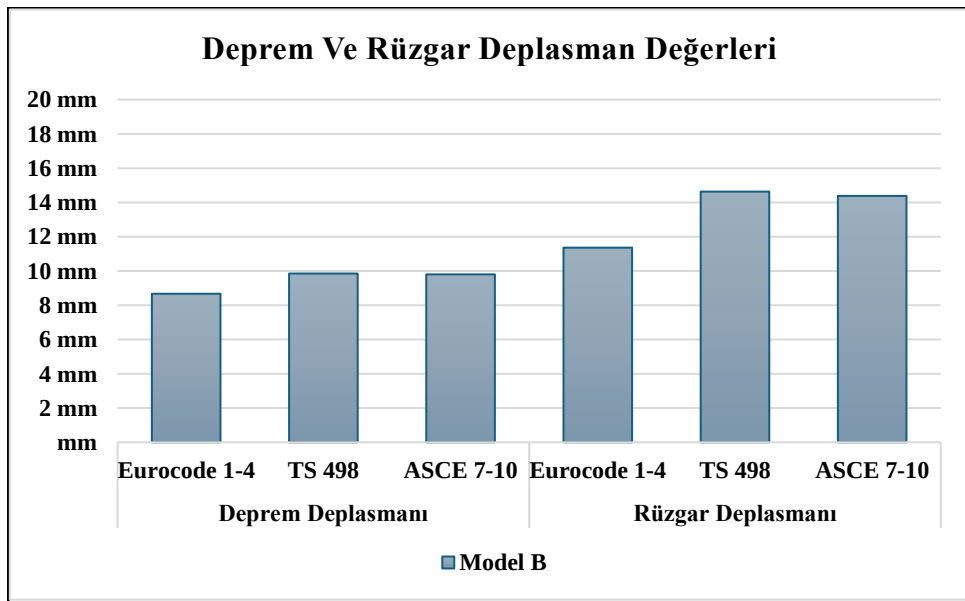
Şekil 109. Eurocode 1-4 rüzgar deplasman değerleri

4.14. Rüzgar ve Deprem Deplasmanlarının Karşılaştırılması

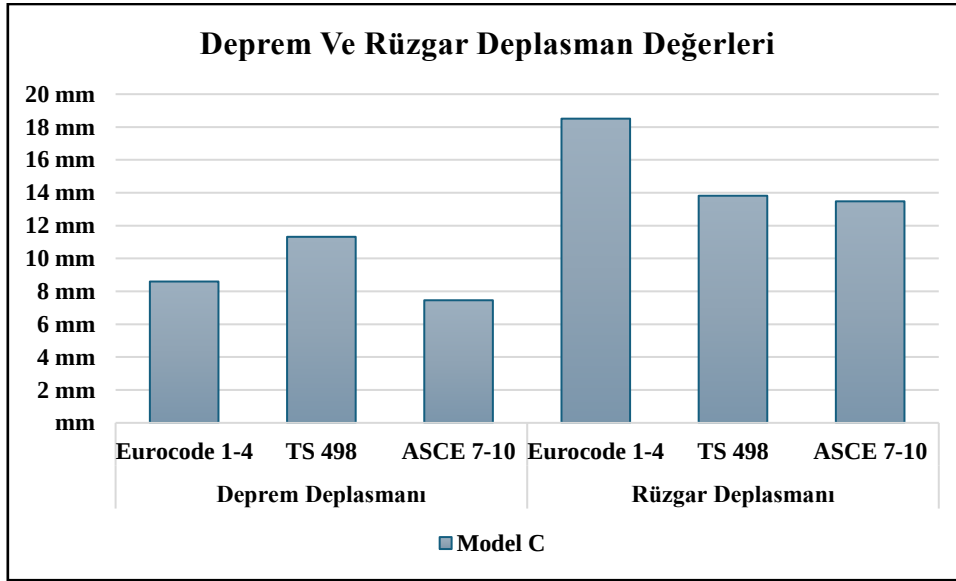
Modellerde etki eden rüzgar ve deprem yükleri ile ilgili yapı deplasmanları karşılaştırıldığında, zemin sınıfı ZB olan yapılar için deprem deplasmanlarının rüzgar deplasmanlarından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Şekil 110 Şekil 111 ve Şekil 112'de deprem ve rüzgar yükleri altında meydana gelen deplasman değerleri sunulmuştur.



Şekil 110. Model A'nın deprem ve rüzgar deplasman değerleri



Şekil 111. Model B'nin deprem ve rüzgar deplasman değerleri



Şekil 112. Model C'nin deprem ve rüzgar deplasman değerleri

Aşağıda, Tablo 19-23'te örnek Model A ve düz çatı için üç farklı standarda göre hesaplanan rüzgar yük değerleri karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Yapılan karşılaştırmada, Eurocode 1-4 standardı ile daha yüksek rüzgar yükü değerleri hesaplanıldığı ve ASCE 7-10 standardı ile daha düşük rüzgar yükü değerleri hesaplanıldığı detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Bu bulgular, her bir standardın rüzgar yükü hesaplama yöntemlerindeki farklılıkları ve sonuç üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Tablo 19. Rüzgarın çatı mahyasına dik gelmesi durumunda duvarlarda oluşan rüzgar basınç değerleri

MODEL A Wx Yönü (0°)	Yükseklik (m)	TS 498	Eurocode 1-4	ASCE 7-10	
		Net Basınç N/m ²	Net Basınç N/m ²	$GC_{pi}=+0,18$ Net Basınç N/m ²	$GC_{pi}=-0,18$ Net Basınç N/m ²
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	400	770	110,98	205,69
	6			124,87	219,58
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	-200	-340	-159,16	-64,45
Çapraz Duvarlar	hepsi	0	A: -1280	-203,88	-109,18
			B: -860		
			C: -540		

Tablo 20. Rüzgarın çatı mahyasına dik gelmesi durumunda çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri

MODEL A Wx Yönü (0°)	TS 498	ASCE 7-10		Eurocode 1-4	
	Net Basınç N/m ²	$GC_{pi}=+0,18$ Net Basınç N/m ²	$GC_{pi}=-0,18$ Net Basınç N/m ²	Net Basınç N/m ²	
Rüzgar Yönündeki Çatı	-82	-237,42	-142,72	ÇATI	F -1280
					G -1010
Rüzgar Arkası Çatı	200	-159,16	-64,45		H -440
					I -510
					J -600

Tablo 21. Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelmesi durumunda duvarlarda oluşan rüzgar basınç değerleri

MODEL A Wy Yönü (90°)	Yükseklik (m)	TS 498	Eurocode 1-4	ASCE 7-10	
		Net Basınç N/m ²	Net Basınç N/m ²	$GC_{pi}=+0,18$ Net Basınç N/m ²	$GC_{pi}=-0,18$ Net Basınç N/m ²
Rüzgara Dik Duvar	0-4,6	400	750	110,98	205,69
	6			124,87	219,58
Rüzgar Arkası Duvar	hepsi	-200	-320	-114,44	-19,73
Çapraz Duvarlar	hepsi	0	A: -1280	-203,88	-109,18
			B: -860		
			C: -540		

Tablo 22. Rüzgarın çatı mahyasına paralel gelmesi durumunda çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri

MODEL A Wy Yönü (90°)	TS 498	Eurocode 1-4		ASCE 7-10		
	Net Basınç N/m ²	Net Basınç N/m ²		$GC_{pi}=+0,18$ Net Basınç N/m ²		$GC_{pi}=-0,18$ Net Basınç N/m ²
ÇATI	-200	F	-1510	ÇATI	0-7 m	-248,61
		G	-1390		7-14 m	-159,16
		H	-680		14-42 m	-114,44
		I	-580			

Tablo 23. Rüzgarın çatı mahyasına dik gelmesi durumunda çatıda oluşan rüzgar basınç değerleri

MODEL C	TS 498	Eurocode 1-4		ASCE 7-10			
Wx Yönü (0°)	Net Basınç N/m ²	Net Basınç N/m ²		$GC_{pi}=+0,18$ Net Basınç N/m ²		$GC_{pi}=-0,18$ Net Basınç N/m ²	
ÇATI	-200	F	-1930	ÇATI	0-8 m	-248,61	-153,90
		G	-1280		8-16 m	-159,16	-64,45
		H	-750		16-22 m	-114,44	-19,73
		I	-210				

5. SONUÇLAR

Üç farklı endüstri tipi çelik yapı modelinin Türk Standardı TS 498, Avrupa Birliği standardı Eurocode 1-4 ve Amerika Birleşik Devletleri standardı ASCE 7-10 esas alınarak hesaplanan rüzgar yükleri ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Rüzgar yüklerinin, endüstri tipi çelik yapıların tasarımında belirleyici bir faktör olduğu ve farklı standartlar tarafından belirlenen hesaplama yöntemlerinin, yapı üzerindeki etkilerinin değişkenlik gösterdiği anlaşılmıştır.

TS 498 Yönetmeliği, hesaplama yöntemi açısından Eurocode 1-4 ve ASCE 7-10 standartlarıyla kıyaslandığında daha pratik bir yaklaşım sunmakta olup, yapı yüksekliği ve rüzgar hızı gibi temel parametreler üzerinden rüzgar yüklerini hesaplamaktadır. Ancak, bu yönetmeliğin eksiklikleri de bulunmaktadır. Özellikle, çapraz duvarlara etki eden rüzgar yüklerinin göz ardı edilmesi ve yapının yer aldığı bölgenin topografik özelliklerinin hesaba katılmaması, önemli bir eksiklik olarak öne çıkmaktadır. TS 498'in düz çatılara rüzgar yükü etki ettirirken her bölgenin aynı yüke maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Eurocode 1-4 ve ASCE 7-10 yönetmelikleriyle karşılaştırıldığında, seçilen kesitler ve yapı ağırlığı açısından genel olarak her iki yönetmelik arasında değerlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Yapının konumu (Şırnak Bölgesi, Mehmet Emin Acar Kampüsü) ve yüksekliği (8 metre) incelendiğinde, TS 498 için rüzgar yükü hesaplamalarında yapı yüksekliğinin önemli bir faktör olduğu anlaşılmıştır.

ASCE 7-10 yönetmeliği ise TS-498'e göre daha detaylı bir hesaplama yöntemi sunmakta olup, yapı yüksekliği, topoğrafik faktör, rüzgar doğrultu faktörü gibi bir dizi parametreyi dikkate alarak rüzgar yüklerini hesaplamaktadır. Yapı yüksekliğine göre maruz kalma katsayısının değişmesi, arazi engebeliliğine göre yüzey engebelilik kategorisinin değişimi rüzgar yüklemelerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu tür parametrelerin seçimi, hesaplanan rüzgar yükü değerlerini doğrudan etkilemektedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, ASCE 7-10 Yönetmeliği diğer iki yönetmelik hesaplamaları ile kıyaslandığında daha düşük rüzgar yükü değerleri hesaplanmıştır. Bu doğrultuda yapılan taşıyıcı eleman boyutlandırmasına göre ASCE7-10 ile hesabı yapılan modellerin daha düşük ağırlıkta olduğu görülmüştür.

Eurocode 1-4 yönetmeliği, rüzgar yükü hesaplamasında oldukça ayrıntılı bir yaklaşım benimsemiştir. Çapraz duvarlar, farklı basınç bölgesine ayrılmakta olup, her bir bölge için farklı basınç değeri hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, çatıda farklı bölgelere ayrılarak her bölgeye özgü katsayılar belirlenmekte ve bu katsayılar doğrultusunda hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Yapılan detaylı hesaplama yöntemi, Eurocode 1-4'ün rüzgar yükü hesaplamalarında daha yüksek rüzgar yüklerinin elde edilmesine neden olmakta ve bu nedenle taşıyıcı elemanların boyutlandırılmasında daha büyük enkesitlerin kullanılmasını sağlamaktadır. Eurocode 1-4 ile tasarlanan yapıların en ağır yapı olduğu görölmüştür.

Yapılan hesaplamalar ve detaylı incelemeler neticesinde, rüzgar yüklerinin endüstri tipi çelik yapıların kesit boyutları ve ağırlıkları üzerinde önemli etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, endüstri yapıların rüzgar yüklerine karşı uygun bir şekilde tasarlanması, yapıların güvenliğini sağlamak için kritik bir öneme sahip olduğu anlaşılmıştır.

6. KAYNAKÇA

- AFAD. (2025). *AFAD Deprem Haritası ve Risk Analizi İnteraktif Web Uygulaması*. Türkiye Cumhuriyeti: <https://www.afad.gov.tr>.
- Aghaei, S. (2022). *Tek katlı endüstriyel yapıların çatı sistemlerinin ekonomik tasarımı*. Konya.
- ASCE 7-10. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*, American Society of Civil Engineers. Reston, Virginia.
- Azıtepe, S., & Sözen, B. (2022). *ÇELİK YAPILARIN İNSANLARDAKİ GÖRSEL ALGISI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA*.
- Computers and Structures, Inc. (2020). *SAP2000: Integrated software for structural analysis and design (Version 22) [Computer software]*. Computers and Structures, Inc. <https://www.csiamerica.com>
- Çelik, S. (2019). *Çelik konstrüksiyon sanayi yapılarının eski ve yeni yönetmeliklere göre karşılaştırmalı analizi*. Trabzon.
- Demir, A. (2012). *Geniş Açıklıklı Ve Makas Kirişli Çelik Bir Alışveriş Merkezi Yapısının İlgili Türk Standartları İle Avrupa Standartları Uyarınca Ayı Ayı Boyutlandırılıp Karşılaştırılması*.
- Dikiciaşık, Y., Sen, İ., & Çarbaş, S. (2023). *Endüstriyel Hangar Tipi Çelik Yapıda Farklı Makas ve Çapraz Türlerinin Yapısal Sistem Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. Karaman.
- Gürses, P. (2012). *Yapılara Etki Eden Rüzgâr Yüklerinin Eurocode 1-4 Ve ASCE 7-05 Standartları Kullanılarak Karşılaştırılması*.
- Haberdar, A. (2015). *Şed Tipi Çelik Çatıların Kar Yükü Değerlerinin Ts-498, Eurocode 1-3 Ve Asce 07-10 Kapsamında Analizi, Karşılaştırılması Ve Değerlendirilmesi*.
- İçen, G. (2023). *Örnek Çelik Sanayi Yapılarının Farklı Paket Programlarla Tasarımlarının Karşılaştırılması*.
- Meral, E., & İnel, M. (2016). *Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi*. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi
- Özlek, C. (2015). *ASCE 7-10, Eurocode 1-4 Ve Ts 498 Yönetmelikleri Kullanılarak Yapılara Etki Eden Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması*.
- Polat, Ö. (2010). *Asce 7-05, Eurocode 1-4 Ve Ts 498 Yönetmelikleri Kullanılarak Yapılara Gelen Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması*.
- Sever, A. E., & Yüksel, İ. (2022). *BİR YÜKSEK BİNA ÖZELİNDE ASCE-7-16 VE TS-498 STANDARTLARINA GÖRE HESAPLANAN RÜZGAR YÜKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI*. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 6(2), 66-79.
- TS 498. (2020). *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*. ANKARA: TSE.
- TS EN 1991-1-3. (2007). *Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler - Kar Yükleri (Eurocode 1)*. ANKARA: TSE.

- TS EN 1991-1-4. (2007). *Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri (Eurocode 1)*. ANKARA: TSE.
- Uzun, M., & Çöğürçü, M. (2019). *PREFABRİKE YAPILARIN RÜZGÂR YÜKÜ GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ*.
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: an introductory survey*
- Yang, N., & Bai, F. (2017). *Damage analysis and evaluation of light steel structures exposed to wind hazards*.
- Yang, Q., Gao, R., Bai, F., Li, T., & Tamura, Y. (2018). *Damage to buildings and structures due to recent devastating wind hazards in East Asia*.
- Yaşar, S. (2023). *Tek Açıklıklı Çelik Endüstri Yapılarının TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2016 Esaslarına Göre Tasarımı*.

