

T.C.
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇELİK ENDÜSTRİ YAPILARININ EKONOMİK TASARIMINA ÇATI EĞİMİNİN ETKİSİ

Mehmet Çağlar EKİNCİ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gülhan İNCE

BURDUR, 2024

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca **Yüksek lisans** Tezi olarak sunduğum “**Çelik Endüstri Yapılarının Ekonomik Tasarımına Çatı Eğiminin Etkisi**” başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

21/12/2024

(İmza)

Mehmet Çağlar EKİNCİ

ÖNSÖZ

Sürecin başından beri koşulsuz destek sunan ve çalışmalarımın her safhasında fikir ve yardımlarıyla tezimi geliştirmem için elinden geleni yapan kıymetli danışman hocam **Dr. Öğr. Üyesi Gülhan İNCE**'ye çok teşekkür ederim.

Savunma jürimde bulunan, tezimi titizlikle okuyup, çalışmamın güçlü ve zayıf yanlarını tek tek açıklayarak geliştirilmesi için kıymetli önerileriyle tez çalışmamın daha iyi bir noktaya gelmesini sağlayan Doç. Dr. Melda Alkan ÇAKIROĞLU'na ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet FENKLİ'ye çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimine başlamamda emeği olan ve her zaman örnek aldığım rahmetli amcam Dr. Yusuf EKİNCİ' ye çok teşekkür ederim.

Yüksek lisansa başlamamda emeği olan, çalışmalarımda desteğini esirgemeyen ve mesleki yeterlilik konusunda kendisine çok güvendiğim Yüksek İnşaat Mühendisi Coşkun ÖZDEN'e çok teşekkür ederim.

Son olarak, kızlarıma ve canım aileme; sonsuz destek, özveri, anlayış ve sevgileri için çok teşekkür ederim.

Aralık, 2024

Mehmet Çağlar EKİNCİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Geçmişte Endüstri Yapıları	1
1.2. Modern Endüstri Yapıları	2
2. KAYNAK TARAMASI.....	6
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Endüstri Yapı Modellerinin Konum ve İklim Özelliklerinin Tanıtılması.....	12
3.1.1. Antalya İli Özellikleri	12
3.1.2. Isparta İli Özellikleri	12
3.1.3. Burdur İli Özellikleri.....	13
3.2. Endüstri Yapı Modellerinin Tanıtılması	14
3.3. Malzeme Özellikleri.....	16
3.4. Yüklerin Hesabı	16
3.4.1. Ölü yük hesabı	16
3.4.2. Kar yükü hesabı.....	17
3.4.3. Rüzgâr yükü hesabı	19
3.4.4. Deprem yükü hesabı.....	25
3.4.5. Burkulma analizi	25
3.5. Endüstri Yapısının Analiz Modelinin Oluşturulması.....	27
3.5.1. Eleman kesit ve mesnet koşullarının tanımlanması	27
3.5.2. Yapıya etkileyen yüklerin tanımlanması.....	31
3.6. Endüstri Yapı Modellerinin Analiz ve Tasarımı.....	42
3.6.1. Yüklerin Birleşimleri	42
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	46
4.1. Analiz Sonuçları.....	46
4.1.1. Model analiz sonuçları	46
4.1.2. Endüstri yapısı moment ve kuvvet diyagramları	47
4.1.3. Yer değiştirmelerin kontrolü:	55
4.1.4. Endüstri yapısı yer değiştirme davranışları.....	57
4.1.5. Burkulma kontrolü	61
4.1.6. SAP2000.V24 ile tasarım.....	62
4.2. İç kuvvet ve yer değiştirmelerin incelenmesi.....	65
4.3. Tasarımın Çelik Malzeme Giderine Etkisi.....	74
5. SONUÇLAR.....	77
6. KAYNAKLAR	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Heri es-swani Fasta mevla İsmail döneminde inşa edilen ahır ve buğday depoları (www.wikipedia.org).	2
Şekil 1.2. Modern ve gelişmiş endüstri yapısı (Opal Çelik Fabrikası).	3
Şekil 1.3. Modern ve gelişmiş büyükbaş hayvan barınağı (Kariburg hayvancılık tesisi Türkiye).	3
Şekil 1.4. Değişken kesitli çelik taşıyıcı sisteme sahip uçak hangarı (Sağır oğlu çelik uçak hangarı İstanbul).	4
Şekil 1.5. Yatay stabiliteyi sağlamayan yapının göçmesi (Investigations Into Steel Structure Failures Part II: Case Studies)	5
Şekil 1.6. Aşık tasarımında rüzgâr yükü dikkate almamasından dolayı lokal aşık göçmesi (Anadolu ajansı Kırklareli Murat Baytaroglu spor saha tesisi 2022)	5
Şekil 3.1. Antalya'nın Türkiye haritasındaki konumu.	12
Şekil 3.2. Isparta'nın Türkiye haritasındaki konumu	13
Şekil 3.3. Burdur'un Türkiye haritasındaki konumu	13
Şekil 3.4. Tipik çerçeve enkesiti	14
Şekil 3.5. Cephe sistem görünüşü	15
Şekil 3.6. Çatı sistemin üstten görünüşü	15
Şekil 3.7. Çerçeve sistemin genel görünüşü	16
Şekil 3.8. Endüstri yapı üzerine kaplama yükü (SAP2000 modelinden).	17
Şekil 3.9. Endüstri yapısı üzerine etki eden kar yükünün dağılımı (TS EN 1991-1-3 5.3.3)	18
Şekil 3.10. (TS EN 1991-1-4 Şekil 7.5) çift eğimli şekiller için tavsiye edilen dış basınç katsayıları	21
Şekil 3.11. Endüstri yapısı üzerinde $+W_x$ rüzgâr yükünün dağılımı.	22
Şekil 3.12. Endüstri yapısı üzerinde $-W_x$ rüzgâr yükünün dağılımı.	23
Şekil 3.13. Endüstri yapısı üzerinde $+W_x$ rüzgâr yükünün dağılımı.	24
Şekil 3.14. Endüstri yapısı üzerinde $-W_y$ rüzgâr yükünün dağılımı.	24
Şekil 3.15. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması (Antalya)	26
Şekil 3.16. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması (Isparta)	26
Şekil 3.17. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması (Burdur)	27
Şekil 3.18. SAP2000 ortamında endüstriyel yapı elemanlarına kesit atanması.	28

Şekil 3.19. Guse kesitin SAP2000 modelinde tanımlanması.....	28
Şekil 3.20. Uygulamada guse kullanım şekli.....	29
Şekil 3.21. SAP2000de soğuk haddelenmiş C kesiti tanımlama	29
Şekil 3.22. SAP2000 programında kolon ile temel bağlantısı modelleme	30
Şekil 3.23. Uygulamada moment aktaran kolon temel bağlantısı	30
Şekil 3.24. SAP2000 de çapraz ile ana kirişin mafsallı bağlantı tanımlaması.....	31
Şekil 3.25. Uygulamada çapraz ile ana kiriş bağlantı şekli	31
Şekil 3.26. Kar yüklemesi durum 1(S1) (Antalya)	32
Şekil 3.27. Kar yüklemesi durum 2(S2) (Antalya)	32
Şekil 3.28. Kar yüklemesi durum 1(S1) (Burdur).....	33
Şekil 3.29. Kar yüklemesi durum 2 (S2) (Burdur).....	33
Şekil 3.30. Kar yüklemesi durum 1(S1) (Isparta)	34
Şekil 3.31. Kar yüklemesi durum 2(S2) (Isparta)	34
Şekil 3.32. +W _x rüzgâr yükünün çatı üzerinde uygulaması	35
Şekil 3.33. -W _x rüzgâr yükünün çatı üzerinde uygulaması.....	36
Şekil 3.34. +W _y rüzgâr yükünün çatı üzerine uygulaması.....	37
Şekil 3.35. -W _y rüzgâr yükünün çatı üzerine uygulaması.....	38
Şekil 3.36. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması (Antalya)	39
Şekil 3.37. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması (Isparta).....	39
Şekil 3.38. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması (Burdur)	40
Şekil 3.39. Kütle katılım kombinasyonu	40
Şekil 3.40. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri (Antalya).....	41
Şekil 3.41. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri (Isparta).....	41
Şekil 3.42. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri (Burdur)	42
Şekil 4.1. Ölü yük altında M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)	48
Şekil 4.2. Ölü yük altında M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)	48
Şekil 4.3. Ölü yük altında M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)	49
Şekil 4.4. Üniform kar yükün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)	49
Şekil 4.5. Üniform kar yükün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)	49
Şekil 4.6. Üniform kar yükün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)	50
Şekil 4.7. W _y rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)	50
Şekil 4.8. W _y rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)	50
Şekil 4.9. W _y rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)	51
Şekil 4.10. Ölü yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 10°).....	52

Şekil 4.11. Ölü yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 20°).....	52
Şekil 4.12. Ölü yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 40°).....	52
Şekil 4.13. Kar yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 10°).....	53
Şekil 4.14. Kar yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 20°).....	53
Şekil 4.15. Kar yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 40°).....	53
Şekil 4.16. Rüzgâr yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)	54
Şekil 4.17. Rüzgâr yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)	54
Şekil 4.18. Rüzgâr yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)	54
Şekil 4.19. Endüstri yapısının G+0,5S yük altında düşey deplasmanı	55
Şekil 4.20. Yatay yer değiştirme G+0,5Q+W	56
Şekil 4.21. Ey yatay öteleme şekli	57
Şekil 4.22. Ölü yük yer değiştirme	57
Şekil 4.23. Kar yükü yer değiştirme, düzgün yayılı durumu	58
Şekil 4.24. Kar yükü yer değiştirme, düzgün yayılı olmayan durum	58
Şekil 4.25. Rüzgâr X yükü yer değiştirme durumu	59
Şekil 4.26. Rüzgâr Y yükü yer değiştirme durumu	59
Şekil 4.27. Ey deprem yükü yer değiştirme durumu	60
Şekil 4.28. Ex deprem yükü yer değiştirme durumu	60
Şekil 4.29. Antalya’da konumlanan 25 m açıklık ve 10° çatı eğime sahip endüstri yapısının 1. burkulma modu ($k=14,7$).....	61
Şekil 4.30. Isparta’da konumlanan 25 m açıklık ve 10° çatı eğime sahip endüstri yapısının 1. burkulma modu ($k=10,36$).....	61
Şekil 4.31. Burdur’da konumlanan 25 m açıklık ve 10° çatı eğime sahip endüstri yapısının 1. burkulma modu ($k=13,2$).....	62
Şekil 4.32. YDKT tasarım parametrelerinin belirlenmesi	63
Şekil 4.33. YDKT ana kesit tasarım detayları	64
Şekil 4.34. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerinde oluşan eksenel yük (Antalya)	65
Şekil 4.35. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerinde oluşan eksenel yük (Burdur).....	65
Şekil 4.36. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerinde oluşan eksenel yük (Isparta)	66
Şekil 4.37. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerine gelen tasarım moment (Antalya)	66

Şekil 4.38. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana giriş üzerine gelen tasarım momenti (Burdur).....	67
Şekil 4.39. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana giriş üzerine gelen tasarım momenti (Isparta)	67
Şekil 4.40. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre en büyük düşey deplasman (Antalya)	68
Şekil 4.41. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre en büyük düşey deplasman (Burdur).....	68
Şekil 4.42. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre en büyük düşey deplasman (Isparta)	69
Şekil 4.43. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre kapasite oranı (Antalya)	69
Şekil 4.44. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre kapasite oranı (Burdur).....	70
Şekil 4.45. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre kapasite oranı (Isparta)	70
Şekil 4.46. Çalışma yapılan illerde açıklık ve çatı eğim açısına göre yapının titreşim periyot değişimi.....	71
Şekil 4.47. Çatı eğim açısı, konum ve açılığa göre deprem etkisi altında taban kesme kuvvetinin değişimi	72
Şekil 4.48. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre sistemde oluşan en büyük yatay yer değiştirme (Antalya)	72
Şekil 4.49. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre sistemde oluşan en büyük yatay yer değiştirme (Burdur).....	73
Şekil 4.50. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre sistemde oluşan en büyük yatay yer değiştirme (Isparta)	73
Şekil 4.51. Çelik endüstri yapısının Tekla V20 modeli	74
Şekil 4.52. Çatı eğim açısına göre geometri değişiminden dolayı birim malzeme giderindeki değişim	75
Şekil 4.53. Tasarımın çatı eğim açısına göre birim malzeme giderindeki değişimi	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Malzeme özellikleri	16
Çizelge 3.2. Çatı üzerine etkiyen kar yük değerleri	18
Çizelge 3.3. $d=20$ m $h_m=7,82$ m $\alpha=20^\circ$ endüstri yapısının rüzgâr basınç değerleri	22
Çizelge 3.4. $d=20$ m $h_m=7,82$ m $\alpha=20^\circ$ endüstri yapısının rüzgâr basınç değerleri	23
Çizelge 3.5. Endüstriyel yapıların TBDY2018'e göre BYS değerleri.....	25
Çizelge 3.6. Yönetmeliklere göre yük kombinasyonları	42
Çizelge 3.7. Analiz modellerinde kullanılan eleman kesitleri	44
Çizelge 3.8. TBDY 2018'e göre kesit süneklik kontrolü.....	45
Çizelge 4.1. TBDY2018'e göre deprem hesabında dikkate alınacak en yüksek doğal titreşim değerler	46
Çizelge 4.2. Modal analizinde toplam kütle katılım oranların toplamı	46
Çizelge 4.3. Burdur ilinde konumlanan yapı modeli için çelik malzeme gideri (kg/m^2)	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Kesit alanı
AISC345-16	: Çelik Yapıların Amerikan Enstitüsü, Çelik Yapıların Deprem Yönetmeliği
b_f	: I ekşitin başlık genişliği
BKS	: Bina kullanım sınıfı
BYS	: Bina yükseklik sınıfı
C_b	: Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda moment düzeltme katsayısı
C_{bi}	: Düzlem içi bükülmeye maruz kalan kavisli bir eleman için yanal burulma burkulma düzeltme katsayısı
C_{bo}	: Düzlem dışı bükülmeye maruz kalan kavisli bir eleman için yanal burulma burkulma düzeltme katsayısı
c_{dir}	: Yön katsayısı
C_e	: Maruz kalma katsayısı
c_o	: Orografik katsayısı
c_p	: Basınç katsayısı
c_r	: Engebelik katsayısı
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
c_{season}	: Mevsim katsayısı
C_t	: Isı katsayısı
c_w	: Eğilme sabiti
ÇYTHYİY	: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik
D	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
D	: Endüstri yapı açıklığı
d	: I kesitin yüksekliği
DTS	: Deprem tasarım sınıfı
E	: Malzeme Elastisite değeri
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
F_u	: Yapısal çelik karakteristik kopma gerilmesi
GKT	: Güvenlik katsayılarıyla tasarım

H	: Endüstri yapı yüksekliği
H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği [m]
h_o	: I kesitin yüksekliği – başlık kalınlığı
I	: Bina Önem Katsayısı
i_{ts}	: Etkin atalet yarıçapı
I_x	: X eksenine göre atalet momenti
I_y	: Y eksenine göre atalet momenti
J	: Burulma sabiti
k_f	: Eğilme özellikleri için azaltma katsayısı
K_i	: Düzlem içi burkulma için etkili uzunluk katsayısı
K_o	: Düzlem dışı burkulma için etkili uzunluk katsayısı
k_r	: Arazi katsayısı
k_1	: Türbülans katsayısı
L_b	: Basınç başlığında yanal yer değiştirmenin ve enkesit burulmasının önleildiği noktaların arasındaki eleman uzunluğu
L_c	: Eleman burkulma boyu
L_{db}	: Destek noktaları arasındaki kavisli eleman uzunluk
L_p	: Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
L_r	: Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma durumu için sınır uzunluk
l_v	: Türbülans ek yükü
M_a	: GKT göre elemana etkiyen moment değeri
M_u	: YDKT göre elemana etkiyen moment değeri
P_u	: YDKT göre elemana etkiyen eksenel yük
P_a	: GKT göre elemana etkiyen eksenel yük
q_p	: Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
r_x	: X eksenine göre atalet yarıçapı
r_y	: Y eksenine göre atalet yarıçapı
SD_s	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
SD_1	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_k	: Karakteristik zemin kar yük değeri
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu 1. köşe periyodu [s]
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu 1. köşe periyodu [s]
T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu 2. köşe periyodu [s]
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu 2. köşe periyodu [s]
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
T_L	: Yatay Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_{LD}	: Düşey Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_P	: Binanın hâkim doğal titreşim periyodu [s]
T_{PA}	: Ampirik olarak hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu [s]
t_f	: I kesitin üst başlık kalınlığı
t_w	: I kesitin gövde kalınlığı
u_1	: Kar yük şekil katsayısı durum 1
u_3	: Kar yük şekil katsayısı durum 3
V_a	: GKT göre elemana etkiyen kesme yük
V_b	: Esas rüzgâr hızı
$V_{b,o}$	: Esas rüzgâr hızının temel değeri
V_m	: Ortalama rüzgâr hızı
V_u	: YDKT göre elemana etkiyen kesme yük
W	: Rüzgâr basıncı
W_{ex}	: X eksenine göre elastik mukavemet momenti
W_{px}	: X eksenine göre plastik mukavemet momenti
YDKT	: Yük ve dayanım katsayılarıyla tasarım
YM	: Yeterli mod sayısı
z_{min}	: En küçük yükseklik
z_{max}	: En büyük yükseklik
Δ_1	: Birinci dereceden deplasman değeri
Δ_2	: İkinci dereceden deplasman değeri

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Çelik Endüstri Yapılarının Ekonomik Tasarımına Çatı Eğiminin Etkisi

Mehmet Çağlar EKİNCİ

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gülhan İNCE

Aralık, 2024

Günümüzde geniş açıklığa sahip hangar, fabrika, büyükbaş hayvan barınakları ve endüstri yapıları gibi yapılar yaygın olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu tür yapılar genellikle tek katlı, büyük açıklığa sahip, tek veya çok açıklıklı çerçeve sistemlerinin yan yana getirilmesiyle oluşturulur. Bu yapıların taşıyıcı sistemi bulonlu, kaynaklı, kafes, boşluklu veya dolu gövdeli kiriş olarak oluşturulabilir. Yapının ekonomik olarak tasarlanmasında bu parametrelerin yanı sıra çatı eğimi de yükleme durumlarını etkilemesinden dolayı önemli bir parametredir. Çatı sisteminin seçimi, çatıya etkileyen yüklere ve çerçeve açıklığına bağlıdır. Özellikle düşey yük olarak etkileyen çatı örtüsü ağırlığı ve kar yükleri çatı eğimi ile doğrudan ilişkilidir. Bundan dolayı çatı tasarımında uygun çatı eğimi çok önemlidir. Çatı tasarımında; açıklık, çatı kaplama malzemesi ve kar bölgesi, uygun çatı eğiminin ve kullanılacak malzeme kesitlerinin belirlenmesinde önemli rol oynar.

Bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesinde yer alacak olan çelik endüstri yapılarının ekonomik tasarımına rehberlik etmek amacıyla farklı açıklıklara (15 m, 20 m ve 25 m) sahip, farklı çatı eğimlerinde (10,15,20,25,30,35,40 derece) tek katlı çelik endüstri yapı modelleri analiz edilmiş, çatı eğiminin yapının ekonomik tasarımına etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda çelik endüstri yapılarının çatı eğim açısının 20 derece iken taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan gerilmelerin diğer eğimli çatılardaki taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan gerilmelere göre daha düşük olduğu görülmüş ve daha ekonomik bir çözüme ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: çatı eğimi, çelik endüstri yapıları, ekonomik tasarım, tek katlı çelik yapı

ABSTRACT

M.Sc Thesis

Effect Of Roof Slope on Economic Design Of Steel Industrial Buildings

Mehmet Çağlar EKİNCİ

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Gülhan İNCE

December, 2024

Today, structures such as hangars, factories, cattle shelters and industrial buildings with large spans are widely encountered. Such structures are usually single storey, large span, single or multi-span frame systems. The structural system of these structures can be formed as bolted, welded, truss, hollow or solid body beams. In addition to these parameters, roof slope is also an important parameter in the economic design of the structure since it affects the loading conditions. The choice of roof system depends on the loads acting on the roof and the frame span. Especially the weight of the roof covering and snow loads acting as vertical loads are directly related to the roof slope. Therefore, appropriate roof slope is very important in roof design. In roof design; span, roofing material and snow zone play an important role in determining the appropriate roof slope and material sections to be used.

In this study, single-storey steel industrial building models with different spans (15 m, 20 m and 25 m) and different roof slopes (10,15,20,25,30,35,40 degrees) were analyzed in order to guide the economic design of steel industrial buildings to be located in the Western Mediterranean Region, and the effect of roof slope on the economic design of the structure was investigated. As a result of the study, it is seen that the stresses in the structural system elements of steel industrial buildings with a roof slope angle of 20 degrees are lower than the stresses in the structural system elements in other sloped roofs and a more economical solution has been reached.

Keywords: economic design, roof slope, single-storey steel structure, steel industrial structures

1. GİRİŞ

Dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan çelik malzemenin kullanımı ülkemizde hala sınırlı olsa da özellikle endüstri yapılarında ve çok katlı yapılarda kullanımı giderek artmaktadır. Çelik, tamamen geri dönüşebilen ve üretimi kontrollü bir yapı malzemesidir. Ayrıca bir çelik yapı sökülüp tekrar kurulabilmektedir. Geniş açıklıkları kolonsuz ve de betonarmeye göre küçük kesitlerle geçebilmesiyle; hafif bir yapı, geniş ferah alanlar sağlamaktadır. Yapının hafif malzeme ile ve hızlı inşa edilmesi diğer yapı malzemeleri ile inşa edilmesine kıyasla daha ekonomik çözümler sunar.

Günümüzde ülkemiz ekonomisinin en önemli sektörlerinden birisi inşaat sektörüdür. Yapıların güvenli tasarımının yanında, yapıyı en ekonomik şekilde tasarlayabilmek ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayacaktır. Bu bağlamda, güvenli bir tasarımı belirli yönetmelik ve yöntemler kullanarak kolaylıkla sağlamak mümkündür. Fakat en güvenli yapı, her zaman en ekonomik yapı olmayabilir. Bu nedenle, güvenlik ve maliyet dengesini optimum düzeyde kurmak önemlidir. Maliyetin yüksek olduğu çelik yapı sistemlerinin, ülkemizde yaygın olarak uygulandığı yapılar genellikle endüstri yapılarıdır (Sancioğlu, 2018).

Endüstri yapıları genellikle, tek katlı, tek ve çok açıklıklı olarak tasarlanmakta ve hangar, fabrika ve büyükbaş hayvan barınakları gibi geniş açıklıklı büyük hacimlerin kapatılmasında kullanılmaktadır. Taşıyıcı sistemi bulonlu veya kaynaklı kafes veya dolu gövdeli kiriş olarak tasarlanabilir. Dolayısıyla, yapının taşıyıcı sistem seçimi çok farklı şekillerde yapılabilmektedir. Bu durum da yapının ekonomik olmasına imkân sağlamaktadır. Her tür yapıda olduğu gibi endüstri yapılarında da ekonomi ön koşul olarak aranmaktadır.

1.1. Geçmişte Endüstri Yapıları

Yapılarda çelik elemanları kullanılmadan önce ve beton malzemesi icat edilmeden önce yapılar hep taş ve çamur malzemeleri kullanarak inşa edilmiştir. Geçmişteki ahır yapıları bu yapılara örnek olarak verilebilir. Ahır yapılarının işleve yönelik en temel özelliklerine tavanın yüksek olması ve havalandırmanın iyi olması örnek gösterilebilir. Yüksek tavan ve iyi havalandırma gibi işlevsel özellikler, taş yapı örneklerinde büyük açıklıklar geçilememesi, çok geniş kolonların oluşması vb. gibi sebeplerden dolayı geçmişte sağlanamamaktaydı. Şekil 1.1’de, hayvanların hareketlerine ve beslenmelerine engel olan bir taş yapı örneği gösterilmiştir.



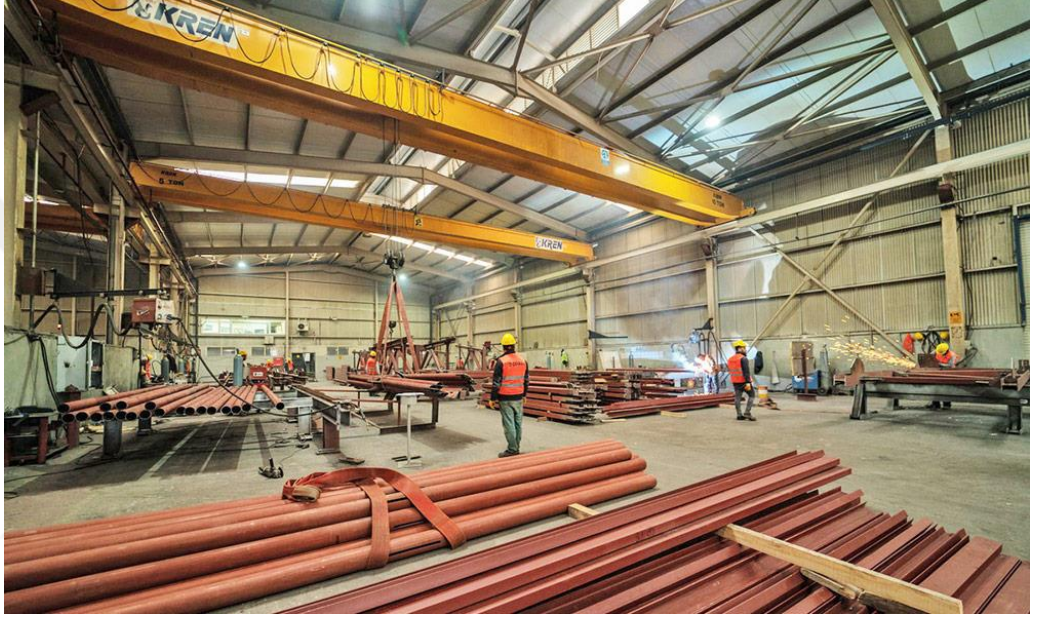
Şekil 1.1. Heri es-swani Fasta mevla İsmail döneminde inşa edilen ahır ve buğday depoları (www.wikipedia.org).

Büyük açıklıklı yapıların inşaat malzemesine bir diğer örnek ahşap malzeme ile yapılan yapılardır. Ahşap yapılarda taş yapılara göre daha büyük açıklık geçilebilmektedir. Ancak, malzemenin hızlı bir şekilde çürümesi ve sürekli bakıma ihtiyaç duyması gibi sebeplerden dolayı ahşap yapılar taş yapılara göre daha kısa ömre sahiptir. Aynı zamanda ahşap yapıların yapı kütlesi ve rijitliği yüksek olmaması sebepleriyle bakımsız kaldığı zaman ve fırtına, kar yağışı vb. gibi olumsuz hava koşullarında göçme veya deforme olma ihtimalleri taş yapılara göre daha yüksektir.

1.2. Modern Endüstri Yapıları

Geçmişte sıkça kullanılan taş ve ahşap yapı malzemeleri, güvenlik konusunda yapı malzeme sektöründe gelişen teknoloji ile yetersiz kalmıştır. Dünyadaki teknoloji ve gelişime paralel olarak çelik yapı malzemesinin yapı sektöründe kullanımı ile yapı tasarımında da büyük bir gelişme yaşanmıştır. Günümüzde modern endüstriyel yapıların çoğunun çelik yapı malzemesi ile inşa edilmesi bu duruma bir örnek olarak verilebilir. Çelik yapı malzemesinin yapı sektörüne giriş ile birlikte; geçmişe kıyasla daha büyük açıklıklar geçmek ve daha narin kolonların kullanılması mümkün olmuştur. Ayrıca işlevsel bakımdan endüstriyel yapının iç havalandırması ve gün ışığından faydalanması çok daha kolay hale gelmiştir.

Günümüzde tasarım yöntemleri; yapının önem, güvenlik ve ekonomi dengesi sağlanacak şekilde belirlenmektedir. Yapıya gelecek sabit ve hareketli yükler, deprem yükleri, şiddetleri ve bu yüklerin dağılımları yönetmeliklerle belirlenmiştir. Ülkemizde Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE, 2018), “Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-3: Genel Etkiler- Kar Yükleri (Eurocode 1) 2007” , “Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Yükleri (Eurocode 1) 2007” , Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) çelik yapıların yapım ve tasarımında yol göstericidir.



Şekil 1.2. Modern ve gelişmiş endüstri yapısı (Opal Çelik Fabrikası).



Şekil 1.3. Modern ve gelişmiş büyükbaş hayvan barınağı (Kariburg hayvancılık tesisi Türkiye).



Şekil 1.4. Değişken kesitli çelik taşıyıcı sisteme sahip uçak hangarı (Sağır oğlu çelik uçak hangarı İstanbul).

Bir yapıya etkiyecek olan yükler tasarımın en etkili unsurlarıdır. Ülkemizde deprem etkileri kadar kar ve rüzgâr yüklerinin özensiz ve yetersiz hesaplanması nedeniyle de pek çok yapı hasar görmekte veya göçmektedir.

Tek katlı çelik yapılarda çatı sisteminin seçimi de doğrudan yapının ekonomisini etkilemektedir. Çatı sisteminin seçimi ise çatıya etkiyen yüklere ve çerçeve açıklığına bağlıdır. Özellikle düşey yük olarak etkiyen çatı örtüsü ağırlığı ve kar yükleri çatı eğimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle çatının uygun eğim ile tasarlanması önemlidir. Bunun için ihtiyaç duyulan açıklık, çatı örtüsü ve kar bölgesine bağlı olarak uygun çatı eğimi ve kesitlerin belirlenmesi gerekir. Rüzgâr kaynaklı etkiler; yapı geometrisi ve yapının boyutlarına, yapı yüksekliğine, açıklığına, çatı eğim açısı ve yapının rijitliğine, yapıların sönümleme oranlarına ve bulundukları bölge dikkate alınarak maruz kalma kategorilerine bağlı olarak değişim göstermektedir. Rüzgâr yükünün doğru modellenip yapıya doğru şekilde uygulanması gerekir, aksi takdirde meydana gelen göçmeler Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da görülmektedir.



Şekil 1.5. Yatay stabiliteyi sağlamayan yapının göçmesi (Investigations Into Steel Structure Failures Part II: Case Studies)



Şekil 1.6. Aşık tasarımında rüzgâr yükü dikkate alınmamasından dolayı lokal aşık göçmesi (Anadolu ajansı Kırklareli Murat Baytaroğlu spor saha tesisi 2022)

Bu çalışmada, Batı Akdeniz bölgesinde yer alacak olan çelik endüstri yapılarının ekonomik tasarımına rehberlik etmesi amacıyla farklı açıklıklara (15 m, 20 m ve 25 m) sahip farklı çatı eğimleri (10,15,20,25,30,35,40 derece) tek katlı çelik endüstri yapılarında çatı eğiminin yapının ekonomik tasarımı üzerine etkisi araştırılmıştır. Endüstri yapıları bilgisayar modellerinin analiz ve tasarımında SAP2000 programı kullanılmıştır. Yüklerin belirlenmesi ve çelik yapı elemanlarının tasarımında; Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği (ÇYTHYE, 2018) ,“Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-3: Genel Etkiler- Kar Yükleri (Eurocode 1) 2007” ve “Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler- Rüzgar Yükleri (Eurocode 1) 2007” ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) esas alınmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

Demirözkan (2023), tarafından yapılan çalışmada iki farklı merkezi çaprazlı endüstri yapısı ele alınmıştır. Farklı arazi koşulları dikkate alınarak, ASCE/SEI 7-16 (2016) “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”, EN 1991-1-4 (2005) “Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions ve TS-498 (2021) “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” yönetmeliklerinde belirtilen rüzgar yüklerinin hesap yöntemleri detaylı olarak incelenip merkezi çelik çaprazlı çerçeve kullanılarak tasarlanmış farklı endüstriyel yapı modelleri için analiz gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İki farklı çelik endüstri yapısı modelinde, söz konusu standartlara göre rüzgâr yükleri hesaplanmıştır. Belirlenen rüzgâr yüklerinin değerleri ve rüzgâr etki bölgeleri yapı modelleri üzerinde ve çizelgelerde gösterilmiş ve elde edilen bu yüklerin karşılaştırmaları yapılmıştır. SAP2000 yapısal analiz programında endüstriyel çelik yapı örnekleri modellenip, hesaplanan rüzgâr yükleri dikkate alınarak yapı analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları (ÇYTHYE) 2018 yönetmeliğinde tanımlanan Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yaklaşımı ile elde edilen kesit kapasite oranları, seçilen kesitler ve her iki yapı modelinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çelik (2019), çalışmasında yeni deprem yönetmeliği ve değişen tasarım kurallarının, çelik yapıların maliyetine etkisini ölçmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, 2007 ve 2018 deprem yönetmelikleri karşılaştırılmış, deprem hesabı yapılırken izlenen adımların farklılıkları açıklanmıştır. Ayrıca TS648’e göre tasarım yaklaşımı olan “Emniyet Gerilmeleri Yöntemi” ile 2016 yılında yayınlanan ÇYTHYDE yönetmeliğinde yer alan “Güvenlik Katsayılarına Göre Tasarım” yöntemleri açıklanmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde, seçilen örnek bir sanayi yapısının dört farklı durum için analiz ve tasarımı yapılmış, ortaya çıkan güvenli kesitler için maliyet farkları belirtilmiştir.

Kürce. (2019), çalışmasında iki doğrultusu için farklı çerçeve tipine sahip süneklik düzeyi yüksek bir endüstri yapısı incelemiştir. Bir doğrultusu moment aktaran çerçeve, diğer doğrultusu ise merkezi çelik çaprazlı çerçeve olarak tasarlanmıştır. Tasarımlarda Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2018 ve American Institute of Steel Construction 341-16 yönetmelikleri kullanılmıştır. TBDY 2018 yönetmeliğinde bulunmayan bazı tasarım koşulları için AISC 341-16 kullanılmıştır. Tasarımı tamamlanan model üzerinde doğrusal

olmayan analizler yapılmıştır. Merkezi çaprazların bulundukları doğrultuda depremi doğrusal olmayan deformasyon göstererek sönümlenmesi hedeflenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiği zaman yapının beklenen davranışı gösterdiği görülmüştür.

Yıldız (2018), tarafından yapılan çalışmada, çelik sanayi yapıların, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) esaslarına göre analiz ve tasarımı yapılmıştır. Yapıların analizi ve tasarımı amacıyla, matris deplasman metoduna dayalı bir bilgisayar programı hazırlanarak, yönetmelikte belirtilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) kriterlerine göre analiz yapıp irdelenmiştir. Her iki yöntem ile elde edilen tasarım sonuçları irdelenerek, yöntemler karşılaştırılmıştır.

Sancioğlu (2018), ülkemizdeki çelik yapıların kullanımının arttırılmasına katkı sağlamak ve uygulayıcılara çerçeve seçiminde, ekonomik açıdan karşılaştırmada yardımcı olmayı amaçladığı parametrik bir çalışma yapmıştır. Çalışmada tasarım parametreleri; makas açıklığı, çerçeve aralığı ve çatı eğimi olarak öngörülmektedir. Sabit kolon yüksekliğinde 7 farklı makas açıklığı (15m, 16m, 17m, 18m, 19m, 20m ve 21m), 7 farklı çerçeve aralığı (5m, 5.5m, 6m, 6.5m, 7m, 7.5m, 8m) ve 5 farklı çatı eğiminin (%5, %6, %7, %8, %9), hangar tipi endüstri yapısının maliyetine etkisi araştırılmıştır. Analizde kullanılacak yükler Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS498)'e göre Konya ili için belirlenmiştir. Analiz “2016- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği (ÇYHY)’ne göre 6 farklı kombinasyonda SAP 2000 programı ile yapılmıştır. Toplam 245 çerçeve analiz edilmiştir. Emniyet ve maliyet dengesi kurulduğunda optimum çerçeve tasarımının %6 çatı eğiminde, 15 m makas açıklığında ve 7,5 m çerçeve aralığında olduğu görülmüştür.

Haberdar (2015), çalışmasında farklı eğimlere sahip şed tipi çatıların aynı zemin kar yükü şartları altında mesnetlendikleri açıklıklarda oluşan etkiler analiz edilmiştir. Analiz iki şekilde yapılmıştır; öncelikle eğim açıları 15 ve 31 derece olan 16 metre açıklığında çatı 5 noktasından mesnetlenmiş ve oluşan mesnet tepkileri incelenmiştir. Eğim değişiklikleri aynı mesnet noktalarından yapılarak yani yükseklikler değiştirilerek yapılmıştır. Eğim değişikliklerine göre yönetmeliklerin gerekli gördüğü yükleme değerleri sisteme etkitilmiştir. Yapılan ikinci çalışma 20x30 metre geometrisindeki çelik endüstri yapısında sadece kar ve kaplama yükleri hesaba katılarak deprem ve metraj analizleri yapılmıştır.

Gökmen (2015), çalışmasında, sanayi devriminden günümüze fabrika yapılarının gelişimi ile taşıyıcı sistem özelliklerini irdelemiştir. Çelik elemanlar kullanılarak elde

edilmiş ve standart hale getirilebilmiş sanayi yapılarında kullanımları yaygın bazı taşıyıcı sistemleri ve sağladığı avantajlar anlatılmıştır.

Ünal (2015), çalışmasında, çelik yapıların tasarımında kullanılan farklı ülke yönetmeliklerinin ekonomi yönünden kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk bölümde çelik yapı tipleri ve tez konusu olan Eurocode 3, LRFD (Load and Resistance Factor Design) ve TS 648 yönetmeliklerinin genel tasarım ilkeleri açıklanmış ve yaygın tercih edilen iki farklı tipteki çelik yapı da Eurocode, LRFD ve TS648'e göre ayrı ayrı boyutlandırılmıştır. Tek açıklıklı dolu gövdeli sanayi tipi çelik yapı ile kompozit döşemeleri olan çok katlı bir çelik büro yapısı, önce sistem geometrileri programa tanımlanmış, statik analizleri yapılmıştır. Çalışmaya esas alınan iki yapı sisteminin farklı standartlar altında yapılan tasarımı sonucu elde edilen kesitler ve bu yapı elemanlarının kapasite kullanımları karşılaştırılmış, ekonomi yönünden irdelenmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

Bingöl (2014), çalışmasında, uzun doğrultuda merkezi çaprazlı çelik sistem, kısa doğrultuda çerçeve sistem olarak tanımlanmış süneklik düzeyi normal ağır sanayi yapısının, AISC 360-10(American Institute of Steel Construction) ve TS-648'e (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları) göre SAP2000 programının çubuk gerilme analizleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada emniyet gerilmesi ilkesi ile yük ve dayanım ilkesi karşılaştırılarak optimum sonuca hangi yönetmeliğin yakın olduğunu gösterilmektedir. Taşıyıcı sistem modeli boyutlandırmasında düşey ve yatay değerleri sabit tutulup AISC 360-10 kapsamında bulunan LRFD, ASD ve TS-648 yönetmeliklerine öngördüğü kombinasyonlar kullanılarak analizler yapılmıştır.

Aydeniz (2012), çalışmasında değişken kesitin hadde profiline göre ne gibi avantajları olabileceğinin bilinmesini sağlamak amacıyla bir fabrika yapısının boyutlandırılmasını esas alınmıştır. SAP 2000 analiz programı kullanılarak hazırlanan tez çalışmasında 2007 deprem yönetmeliği, NBCC 2005, İMO 02-2008, TS498, TS648 ve DIN120 gibi standartlar dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda ise yüksek kaldırma kapasiteli bir kren yükünün bulunduğu durumlarda yorulma etkilerinin kesit özelliklerini diğer yükleme türlerine göre önemli derecede etkilediği görülmüştür. Ancak yine de değişken kesitli yapma profillerden oluşan taşıyıcı çerçevelerin hadde profillere göre daha ekonomik sonuçlar verdiği görülmüştür. Kren yükünün daha az olması durumunda yorulma etkileri ön plan çıkmayacak ve bu ekonomiklik düzeyinin daha da çok olacağı anlaşılmıştır.

Zorlar (2011), yaptığı çalışmada, stabilite bağlantılarının, tek katlı çelik sanayi yapılarının yatay yükler altındaki davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, güncel yönetmeliklere uygun olarak inşa edilmiş bir sanayi yapısı, üzerinde taşıdığı yüklerle Sap 2000 sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Stabilite bağlantıları değişik şekillerde düzenlenerek aynı yapıya ait farklı modeller elde edilmiştir. Farklı modellere yatay yükler uygulanarak deplasmanlar ve kesit tesirleri elde edilmiştir. Ayrıca statik itme analizi yapılarak modellerin kapasite eğrileri elde edilmiştir.

Uğur (2010) çalışmasında, 15m, 20m, 25m, 30m ve 35m açıklıklı düzlemsel çelik kafes sistemlerinin SAP2000, ÇELİKPRO IV, ÇATICAD 9.5 ve STA4CAD bilgisayar programları kullanılarak analizlerini yapmıştır. Dört farklı program kullanılarak yapılan analizlerde, çubuk kuvvetleri, çubuk kesitleri ve düğüm noktalarının deplasmanları incelenerek birbirleri ile karşılaştırılmışlardır. ÇELİKPRO IV bilgisayar programı ile yapılan analizlerde çubuk kuvvetlerinin diğer programların yaptığı analizlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Ancak bu farkın çubuk kesitlerinin seçimine çok fazla etki edecek mertebede olmadığı görülmüştür. STA4CAD bilgisayar programı haricindeki programlar düğüm nokta deplasmanlarını yönetmelikler sınırları içinde hesap ederken, STA4CAD 25m, 30m ve 35m açıklıklı makaslarda yönetmeliklerin belirlediği sehim sınırları dışında deplasman değerleri vermiştir. Çalışmanın sonucunda, çalışma kapsamında incelenen tüm programların çubuk kuvveti ve çubuk kesiti analizlerinde küçük farklılıklar dışında benzer sonuçlar verdiği görülmüştür.

Mungan (2009), farklı aks aralığı, çerçeve açıklığı ve yapı yüksekliği parametreleri için tek açıklıklı çelik endüstri yapılarının kafes kirişli çerçeve sistem ve profil kirişli çerçeve sistem çözümleri yapmış, analiz sonuçlarına göre gerçekleştirilecek olan karşılaştırmalarda hangi alternatifin hangi durumda en uygun çözüm verdiğini belirlemiştir. Yapılan karşılaştırmaların ilki profil kirişli çerçeve sistemlerin kendi içinde karşılaştırılmasıdır. Burada her bir parametre alternatifi için Yapma Profil, IPE Profil ve HEA Profil şeklinde üç alternatif profil kullanılarak aynı sistemin çözümü yapılmış ve sonunda bu sistemde hangi parametrelerde hangi profil tipinin ekonomik çözüm verdiği saptanmıştır. İkinci karşılaştırma, profil kirişli çerçeve sistemin tamamının IPE profil olması durumundaki analiz sonuçları ile kafes kirişli çerçeve sistem analizinin karşılaştırılmasıdır. Son karşılaştırma ise kafes kirişli çerçeve sistemde yalnız çatı çaprazlarının hem basınç hem de çekme alacak şekilde ve ayrıca sadece çekme alacak şekilde teşkil edildiği analizlerin karşılaştırmasıdır. Ayrıca bu çalışmada çelik endüstri

yapıları hakkında bilgi verilmiş, çalışma kapsamında kullanılacak olan 2007 deprem yönetmeliği maddeleri açıklanmış, profil kirişli çerçeve sistem ve kafes kirişli çerçeve sistem için birer örnek analiz hesabı verilmiştir. Yapılan bu karşılaştırmalar sonucunda; kafes kirişli çerçeve sistem ve profil kirişli çerçeve sistemlerin hangi açıklıklarda, aralıklarda ve yüksekliklerde birbirine karşı daha uygun bir çözüm olduğu ve ön boyutlandırma aşamasında ise çözümde hangi profilin kullanılması gerektiği ve bu profille oluşturulacak sistemin kesitlerinde oluşacak deplasmanların ve gerilmelerin mertebeleri konularında ön görüş elde edilmiştir.

Kocabaş S. (2005) çalışmasında, tek açıklıklı kafes ve dolu gövdeli endüstri yapıları ile iki katlı bir binanın analiz, tasarım ve projelendirmesini yapmıştır. Endüstri yapılarının analiz ve tasarımı statik yükler (öz ve kar) ve rüzgâr yükleri altında, iki katlı binanın analiz ve tasarımı ise statik yükler (sabit ve hareketli) ve deprem yükleri altında yapılmıştır. Tüm analiz ve boyutlandırmalar sonlu elemanlar yöntemine dayalı yapı analizi yapan SAP2000 programı ile gerçekleştirilmiştir.

Şamandar. (2018) çalışmasında, 1. Derece deprem bölgelerinde Z4 zemin sınıfına sahip olan 9 m yüksekliğinde 15 20-25m açıklığa ve 60m uzunluğa sahip çelik ve betonarme prefabrik olarak toplam 6 adet fabrika binası projelendirmiştir. Elde edilen statik ve mimari proje verilerine göre, maliyet hesapları 2015 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı İnşaat birim fiyatlarına ve piyasa fiyatlarına göre ayrı ayrı çıkarılmıştır. Çalışma kapsamında ölçüleri verilen fabrika yapıları için elde edilen maliyet sonuçları değerlendirildiğinde betonarme prefabrik yapıların çelik yapılara göre yapım maliyetinin %25 %35 arasında değişen oranlarda daha ucuza inşa edileceği hesaplanmıştır. Bununla birlikte yapıların ekonomik ömürleri, bakım masrafları, geri dönüşüm özellikleri ve depreme karşı davranışları dikkate alındığında çelik taşıyıcı sisteme ait fabrika yapılarının uzun zaman diliminde betonarme prefabrik yapılara göre daha avantajlı olacağı değerlendirilmiştir.

Salama. (2021) yaptığı çalışma ile farklı açıklıklar için konik elemanlı üçgen çatı çerçevelerinin optimum çatı eğimini bulmayı amaçlamıştır. Geliştirilmiş Kristal Yapı Algoritması (ECryStAl) adı verilen yeni bir meta-sezgisel optimizasyon algoritması, çelik çerçeveleri optimize etmek için kullanılır. Bu çalışmada, yapısal optimizasyon süreci için yapıya etkileyen yük tipleri, yük kombinasyonları ve tasarım yöntemleri dikkate alınmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, optimum çatı eğimi esas olarak bunlara bağlı olduğundan, açıklık uzunluğuna ve kolon yüksekliğine bağlı olarak çatı eğiminin doğru seçilmesiyle proje malzeme maliyetinin %39,5'ye kadar azaltılabileceğini

göstermektedir. Ayrıca, farklı açıklık uzunlukları ve kolon yükseklikleri için optimum çatı eğiminin belirlenmesine yönelik, pratik tasarım durumlarında kullanılabilecek matematiksel modeller geliştirilmektedir.

Nuryadı. (2023), Türkiye'deki sanayi binalarını temsil edebilecek farklı boyutlara sahip tek açıklıklı ve tek katlı örnek sanayi binaları seçilerek çelik ve karma taşıyıcı sistem için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'a göre tasarlamıştır. Çalışmada, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2019'a göre farklı depremselliğe sahip bölgelere (Kırklareli, Edirne, Tekirdağ Çorlu ve İstanbul Beylikdüzü) göre tasarımı yapılan örnek sanayi binalarının kaba yapım maliyet hesapları yapılmıştır. İncelenen örnek sanayi binalarının hesap sonuçlarına göre farklı taşıyıcı sistemler için kaba yapım maliyetleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Daloğlu (1999), çalışmasında, yapıların optimizasyonu için ayrık tasarım değişkenleri kullanarak sonuca giden genetik algoritma yöntemi düzlem kafes sistemlere uygulamıştır. Çalışmada deplasman, gerilme ve burkulma sınırlayıcıları dikkate alınmıştır. Bu amaçla geliştirilen bilgisayar programı FORTRAN dilinde kodlanmıştır. Pratikte yaygın olarak kullanılan çeşitli çatı makaslarının minimum ağırlıklı boyutlandırılması gerçekleştirilmiştir. Son olarak deneme yanılıya dayalı olarak bir geometrik optimizasyonu örneği verilmiştir.

3. MATERYAL VE METOT

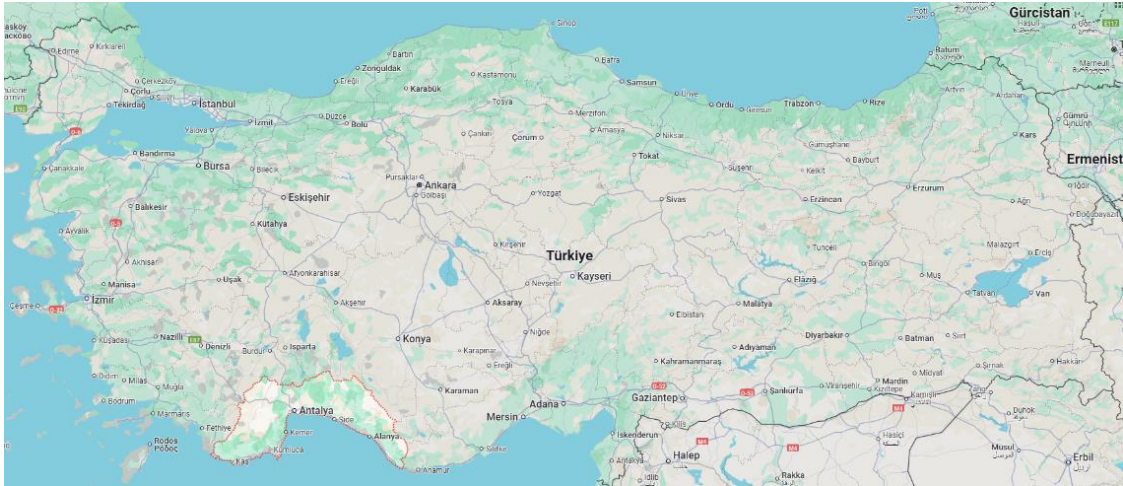
Bu çalışmada, Batı Akdeniz Bölgesinde (Antalya, Isparta ve Burdur) yer alması düşünülen 15 m, 20 m ve 25 m açıklıklara sahip endüstri yapılarının farklı çatı eğim açıları dikkate alınarak tasarımı yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, endüstri yapılarının tasarımını doğrudan etkileyecek olan yapı geometrisi ile ilgili özellikler, iklim ve ihtiyaca yönelik uygun yükler belirlenmiştir. Toplamda altmış üç endüstri yapı modeli üzerinde çalışma yapılmıştır. Yapı modellerinin özellikleri ve yüklere esas alınan bölgeler aşağıda tanıtılmıştır.

3.1. Endüstri Yapı Modellerinin Konum ve İklim Özelliklerinin Tanıtılması

3.1.1. Antalya İli Özellikleri

Antalya (Şekil 3.1), Akdeniz Bölgesinin batısında yer almaktadır. İklim olarak çoğunlukla nemli ve sıcak bir ildir ve deniz seviyesinde olduğu için kar yağış miktarları çok düşüktür. TS EN 1991-1-4'e göre Antalya'da yapılan yapılar için min. kar yükü $0,75 \text{ kN/m}^2$ olarak dikkate alınması gerekir. Deprem riski bakımından Antalya'nın bir kısmı yüksek riskli iken bir kısmı ise daha az riskli bölgede yer almaktadır. Tarım ve turizm bakımından gelişmiş olan Antalya ili bölgesinde geniş açıklıklı çelik yapılar genellikle tarımsal yapılar ve sanayi yapılarından oluşmaktadır.

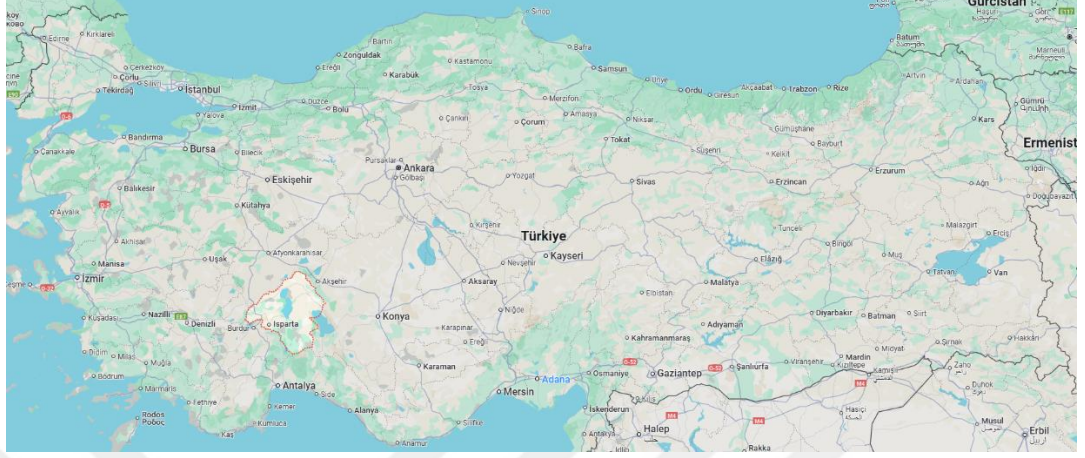


Şekil 3.1. Antalya'nın Türkiye haritasındaki konumu

3.1.2. Isparta İli Özellikleri

Isparta (Şekil 3.2), Akdeniz bölgesinin kuzeyinde yer alır ve Akdeniz ve karasal iklimler arasında geçiş iklimine sahiptir. Isparta, 1050 metre rakıma sahip olduğu için kar yükü etkisi altında bir bölgedir. Isparta'nın genelinde ortalama kar yükü TS EN 1991-1-

4'e göre 1,15 kN/m² alınmaktadır. Isparta, deprem riski bakımından yüksek riskli bölgededir. Isparta ili bölgesinde geniş açıklıklı çelik yapılar genellikle sanayi yapılarından oluşmaktadır.

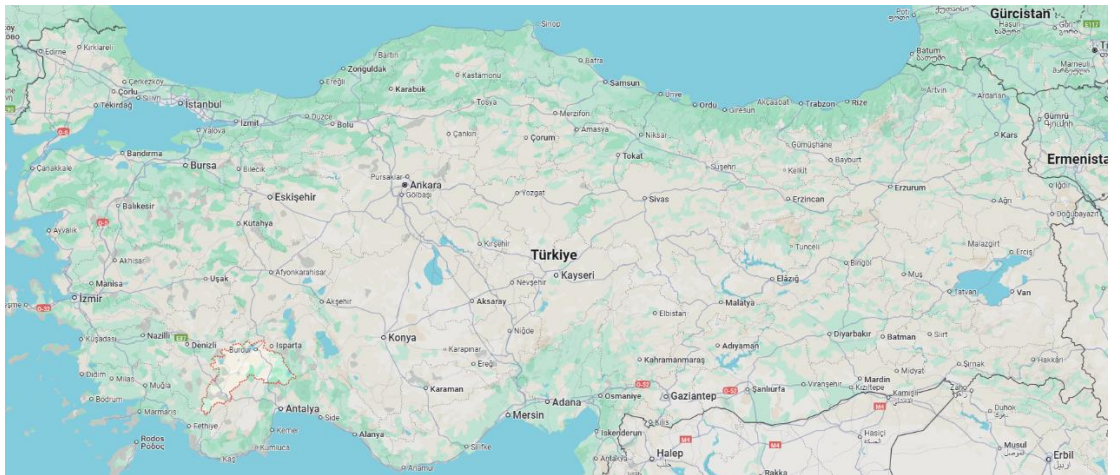


Şekil 3.2. Isparta'nın Türkiye haritasındaki konumu

3.1.3. Burdur İli Özellikleri

Burdur (Şekil 3.3), Akdeniz bölgesinin batı ve iç kısmında yer alır. İlin doğal yapısı oldukça engebelerlidir. İl arazisinin %60,6'sı dağlık, %2,7'si yayla, %19'u ova ve %17,6'sı ise engebelerlidir. Burdur ili rakımı 950 metre üzerindedir ve il genel yüksekliği (ortalama) 1000 metredir. Deprem riski bakımından yüksek riskli bölgede yer almaktadır.

Hayvancılık bakımından gelişmiş bir şehir olması nedeniyle Burdur ili bölgesinde tek açıklıklı geniş çelik yapılar genellikle büyükbaş hayvan barınakları ve organize sanayi bölgesinde sanayi yapılarından oluşmaktadır.



Şekil 3.3. Burdur'un Türkiye haritasındaki konumu

3.2. Endüstri Yapı Modellerinin Tanıtılması

Çalışma kapsamında farklı açıklık ve farklı çatı eğim açısına sahip dolu gövdeli kiriş sistemli endüstri yapıları ele alınmıştır. Ele alınan yapıların Batı Akdeniz Bölgesinde konumlandığı düşünülmüş ve buna göre üç farklı şehir için modeller üretilmiştir.

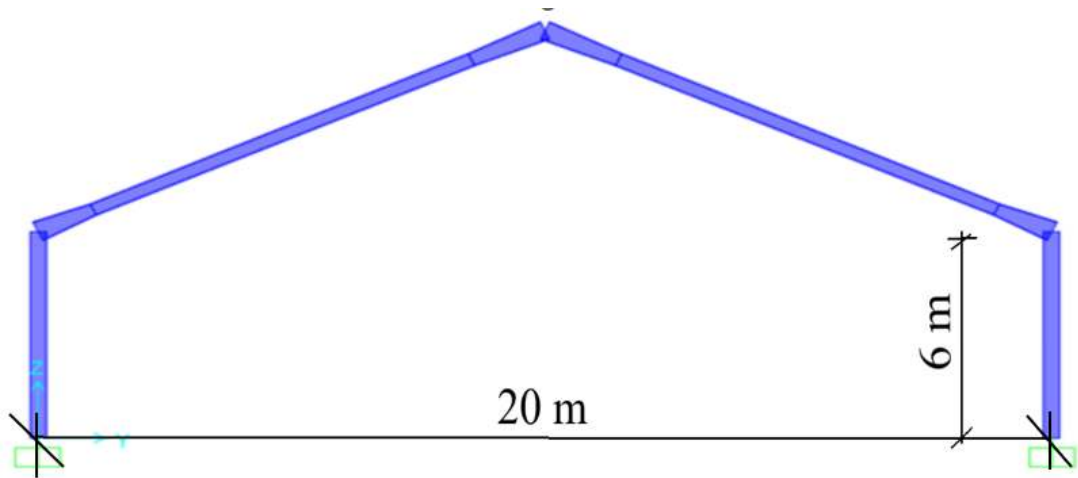
Çalışmaya esas alınan modeller için seçilen değişken değerleri aşağıda verilmiştir.

- Çerçeve aralığı (a): 6 metre
- Çerçeve açıklığı (l): 15, 20, 25 metre
- Çatı eğim açısı (α): $10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$
- Endüstri yapı konumu:
 - Isparta
 - Antalya
 - Burdur

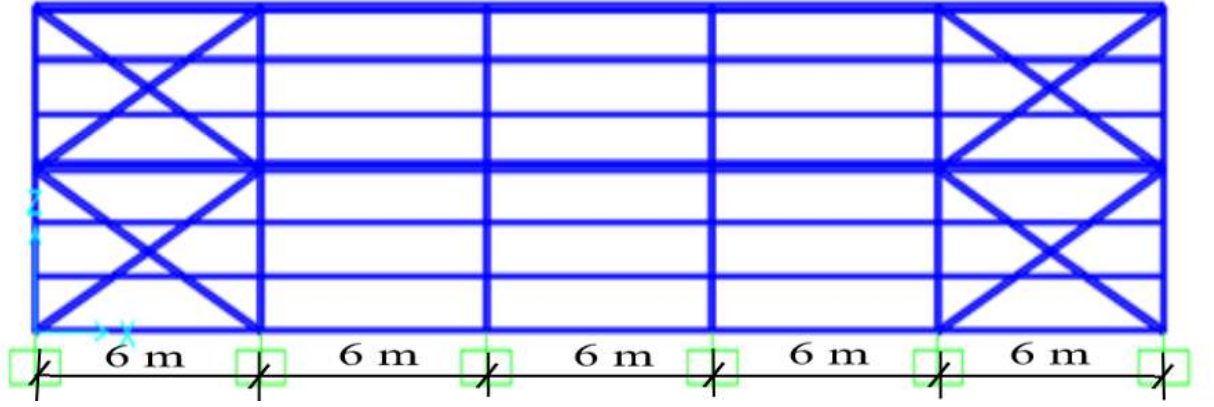
Endüstri yapılarına etkiyen yüklerin hesaplamasında ve elemanların tasarımında aşağı şartnameler dikkate alınmıştır.

- Rüzgâr yönetmeliği : TS EN 1991-1-4
- Kar yönetmeliği : TS EN 1991-1-3
- Deprem yönetmeliği : TBDY2018
- Çelik yapılar tasarım yönetmeliği : Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik-2018 ve AISC360 2016

Çerçeve sistemin genel görünüşü Şekil 3.7’te, tipik çerçeve enkesiti Şekil 3.4’de, cephe sistem görünüşü Şekil 3.5’de ve çatı sistemi üstten görünüşü Şekil 3.6’de planı verilmiştir.

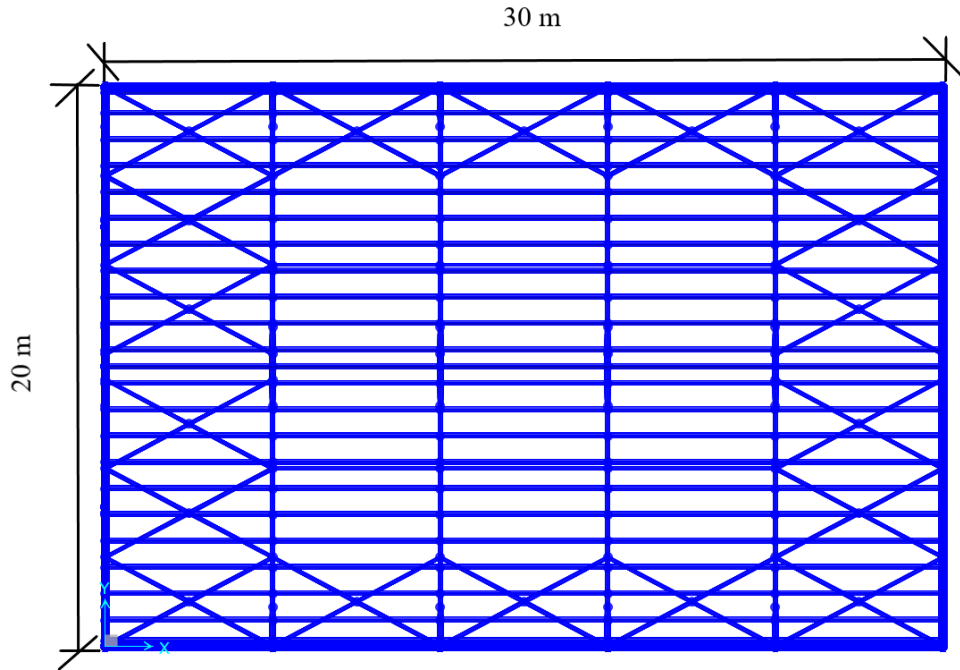


Şekil 3.4. Tipik çerçeve enkesiti

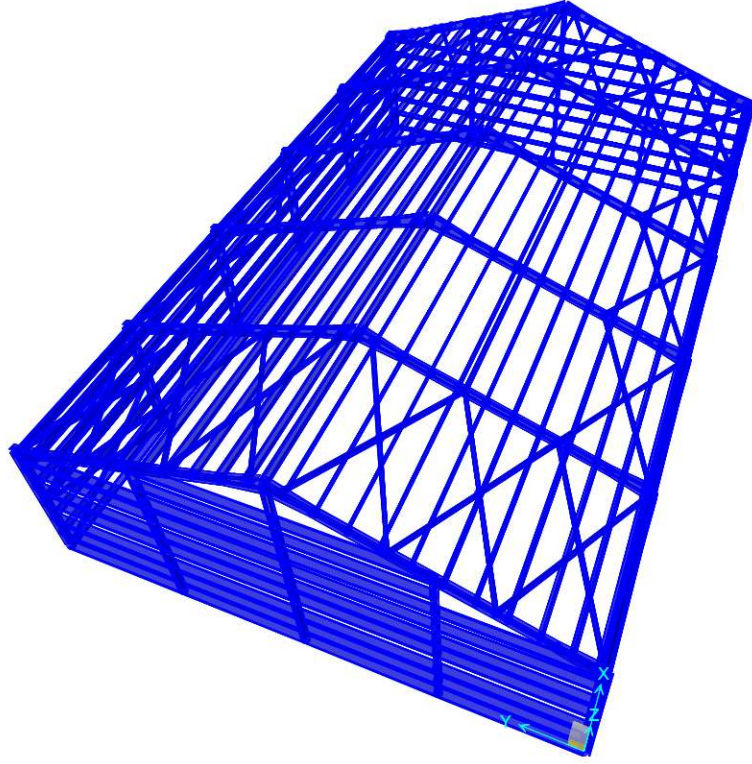


Şekil 3.5. Cephe sistem görünüşü

Endüstri yapıları dolu gövdeli kiriş sistemi ile tasarlanmıştır. Ekonomik tasarım yapılması amacıyla momentlerin yüksek olduğu kısımlarda değişken kesitler kullanılmıştır (**Şekil 3.4**). Endüstri yapılarındaki çapraz yerleşimi, çatı düzleminde ve yan cephelerde ilk ve son aralıkta yerleştirilmiştir (**Şekil 3.5 - Şekil 3.7**), çaprazların sürekliliği sağlayacak şekilde ve çatı düzleminde rijit diyafram oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.6. Çatı sistemin üstten görünüşü



Şekil 3.7. Çerçeve sistemin genel görünüşü

3.3. Malzeme Özellikleri

Çalışmada ele alınan çelik endüstri yapılarında çelik malzeme olarak S235 ve S275 çelik malzeme sınıfı ile hafif çelik malzeme kullanılmıştır. Burada S235 çeliği korniyerler, kutu profiller ve değişken kesitli elemanlarda; S275 çeliği ise IPE profillerinde kullanılmıştır. Malzeme özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Malzeme özellikleri

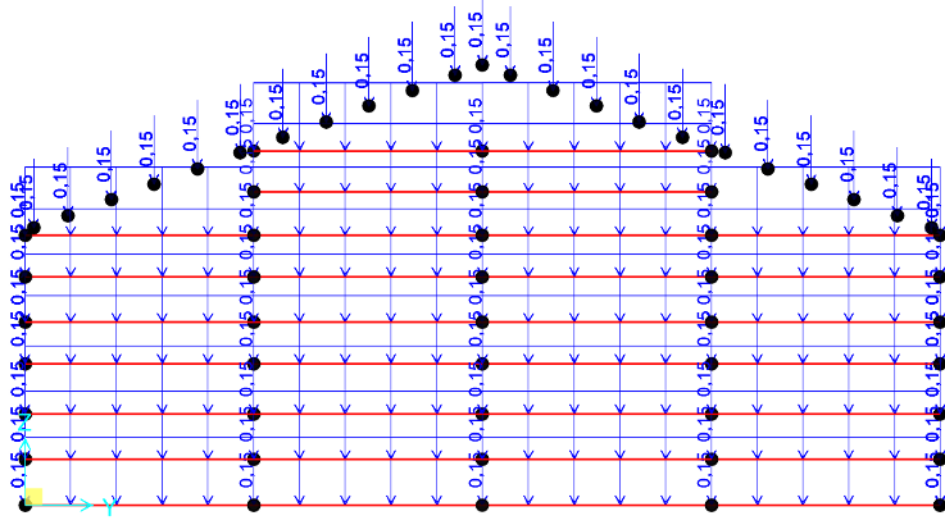
Malzeme	F _y (MPa)	F _u (MPa)	E (MPa)	ν
S235	235	360	200000	0.3
S275	275	430	200000	0.3

3.4. Yüklerin Hesabı

Endüstri yapısı üzerine etkileyen yükler; uluslararası yönetmeliklere göre hesaplanmış ve yan ve cephe aşıkları üzerine çizgisel yük olarak uygulanmıştır.

3.4.1. Ölü yük hesabı

Endüstri yapısı üzerine sandviç panel kaplama 50 mm olacağı için kaplama ağırlığı 15 kg/m² yerçekimi yönünde aşık elemanları üzerine uygulanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Endüstri yapı üzerine kaplama yükü (SAP2000 modelinden)

3.4.2. Kar yükü hesabı

Kar yükü TS EN 1991-1-3 şartnamesine göre hesaplanarak hesap aşamaları sonraki şekilde yapılmıştır. Hesaplar Antalya, Isparta ve Burdur için yapılmıştır. Çatı kar yükü TSEN1991-1-3(5.2.3)'de belirtilen Denklem 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (TS EN 1991 - 1 - 3) \quad (3.1)$$

$$C_e = 1 \quad \text{Topoğrafik alanı normal} \quad (TS EN 1991-1-3'deki Çizelge 5.1)$$

$$C_t = 1 \quad \text{Isı katsayısı} \quad (TS EN 1991-1-3(5.2.8))$$

$$S_k = 0,75 \text{ kN/m}^2 \text{ Karakteristik zemin kar yük değeri} \quad (TS EN 1991-1-3'deki Çizelge MA.1)$$

Antalya için,

$$S_k = 1,15 \text{ kN/m}^2 \text{ Karakteristik zemin kar yük değeri} \quad (TS EN 1991-1-3'deki Çizelge MA.1)$$

Isparta için,

$$S_k = 1,05 \text{ kN/m}^2 \text{ Karakteristik zemin kar yük değeri} \quad (TS EN 1991-1-3'deki Çizelge MA.1)$$

Burdur için,

$$\text{Çatı kar yükü } S = \mu_i \cdot 0,75 \quad \text{Antalya için} \quad TS EN 1991-1-3(5.2.3)$$

$$\text{Çatı kar yükü } S = \mu_i \cdot 1,15 \quad \text{Isparta için} \quad TS EN 1991-1-3(5.2.3)$$

$$\text{Çatı kar yükü } S = \mu_i \cdot 1,05 \quad \text{Burdur için} \quad TS EN 1991-1-3(5.2.3)$$

Endüstri yapısı çift eğimli çatıya sahip bir taşıyıcı sistemdir. Buna göre endüstri yapısının kar yükü dağılımı, yönetmeliğin 5.3.3 maddesi dikkate alınarak hesaplanmıştır.

μ_i Kar yükünün şekil katsayısı endüstri yapısının geometrisine ve çatı eğim derecesine göre değiştiği için, hesabı bir sonraki aşamada yapılmıştır (TSEN1991-1-3(5.3, Ek B)).

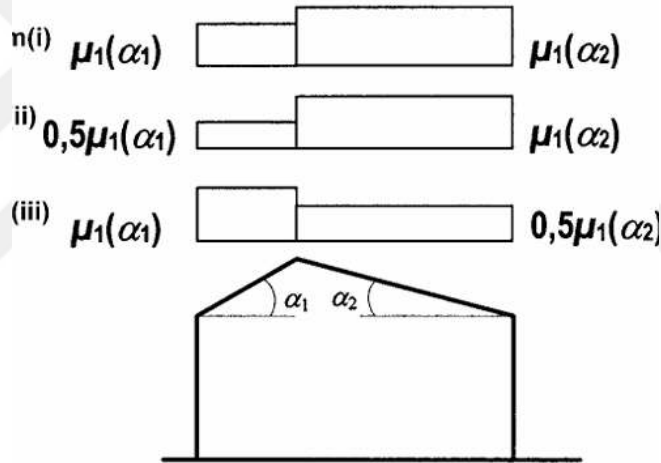
A. Çatı eğim derecesi 30 eşit veya küçükken

$\mu_1 = 0,8$ Durum 1 şekil katsayısı, düzgün yayılı kar dağılımı TS EN 1991-1-3(5.3.3)

Ayrıca $\mu_1 = 0,4$ üniform olamayan kar dağılımı için dikkate alınacaktır (Denklem 3.2).

B. Çatı eğim derecesi 30'den büyükken

$$\mu_1 = \frac{0,8(60-\alpha)}{30} \quad \text{TS EN1991-1-3(5.3.3)} \quad (3.2)$$



Şekil 3.9. Endüstri yapısı üzerine etki eden kar yükünün dağılımı (TS EN 1991-1-3 5.3.3)

Önceki aşamalarda hesaplanan şekil katsayıları kullanarak ve Şekil 3.9 yardımı ile Çizelge 3.2’de endüstri yapısına etkiyen kar yükleri hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2. Çatı üzerine etkiyen kar yük değerleri

Konum	Eğim derecesi (m)	Durum 1(kN/m ²)	Durum 2 (kN/m ²)	
			Tam yükleme	Yarım yükleme
Antalya	$\alpha < 30$	$0,8 \cdot 0,75 = 0,6$	0,6	0,3
Antalya	$\alpha = 35$	$0,67 \cdot 0,75 = 0,5025$	0,5025	0,2512
Antalya	$\alpha = 40$	$0,53 \cdot 0,75 = 0,3975$	0,3975	0,19875
Isparta	$\alpha < 30$	$0,8 \cdot 1,15 = 0,92$	0,92	0,46
Isparta	$\alpha = 35$	$0,67 \cdot 1,15 = 0,77$	0,77	0,385

Isparta	$\alpha = 40$	$0,53.1,15=0,6095$	0,6095	0,3047
Burdur	$\alpha < 30$	$0,8.1,05 = 0,84$	0,84	0,42
Burdur	$\alpha = 35$	$0,67.1,05 = 0,703$	0,703	0,351
Burdur	$\alpha = 40$	$0,53.1,05=0,5564$	0,5564	0,278

Çizelge 3.2’de hesaplanan kar yükleri, Şekil 3.9 dikkate alarak endüstri yapısının aşık elemanlarının üzerine yerçekimi yönünde uygulanmıştır.

3.4.3. Rüzgâr yükü hesabı

Rüzgâr yükü TS EN 1991-1-4 yönetmeliğine göre hesaplanmış ve hesap aşamaları sonraki şekilde yapılmıştır.

A. 20 m açıklıktaki endüstri yapısının rüzgâr yükünün hesabı:

Açıklık D = 20 m endüstriyel yapı yüksekliği h = 6 m ve $h_r = 9,64$ m

Çelik yapıların yönetmeliği 5.2 maddesine göre rüzgâr hızının temel değeri $V_{b,0} = 28$ m/s (100km/sa) olarak belirtmiştir.

Esas rüzgâr hızı (Denklem 3.3);

$$V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} \quad \text{TS EN 1991-1-4(D 4.1)} \quad (3.3)$$

$$c_{dir} = 1 \text{ Tavsiye edilen değeri} \quad \text{TS EN 1991-1-4(4 Not 2)}$$

$$c_{season} = 1 \text{ Tavsiye edilen değeri} \quad \text{TS EN 1991-1-4(4 Not 3)}$$

$$\text{Esas rüzgâr hızı } V_b = 1.1.28 = 28 \text{ m/s} \quad \text{TS EN 1991-1-4(D 4.1)}$$

Arazi engebeler durumu arazi kategori II olarak seçilmiştir ve buna göre

$$z_0 = 0,05 \text{ m ve } z_{min} = 2 \text{ m} \quad \text{TS EN 1991-1-4(Çizelge 4.1)}$$

İncelenen bina $h_m = (9,64 + 6)/2 = 7,82 \text{ m} \rightarrow z_{min} < h_m = 7,82 \text{ m} < z_{max} = 200 \text{ m}$ olduğundan dolayı $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ (TS EN 1991-1-4(D 4.4)) denklemini kullanarak;

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19 \quad \text{TS EN 1991-1-4(D 4.5)} \quad (3.4)$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{7,82}{0,05}\right) = 0,96 \quad \text{TS EN 1991-1-4(D 4.4)} \quad (3.5)$$

TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3.3 göre orografinin rüzgâr hızını artırmadığı varsayımıyla $c_0(z) = 1$ tavsiye edilen değer olarak alınır (TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3.1, Not 1).

Ortalama rüzgâr hızı

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)} \quad (3.6)$$

$$V_m(z) = 0,96 \cdot 1 \cdot 28 = 26,87 \text{ m/sn}$$

Yapının Z metre yüksekliğinde kısa süreli ve ortalama hız değişikliklerini içeren tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı $q_p(z)$ TSEN 1991-1-4 Bölüm 4.5 göre ve $z_{\min} < h_m = 7,82 \text{ m} < z_{\max} = 200\text{m}$ olduğuna göre Z metre yüksekliğindeki türbülans şiddeti $l_v(z)$

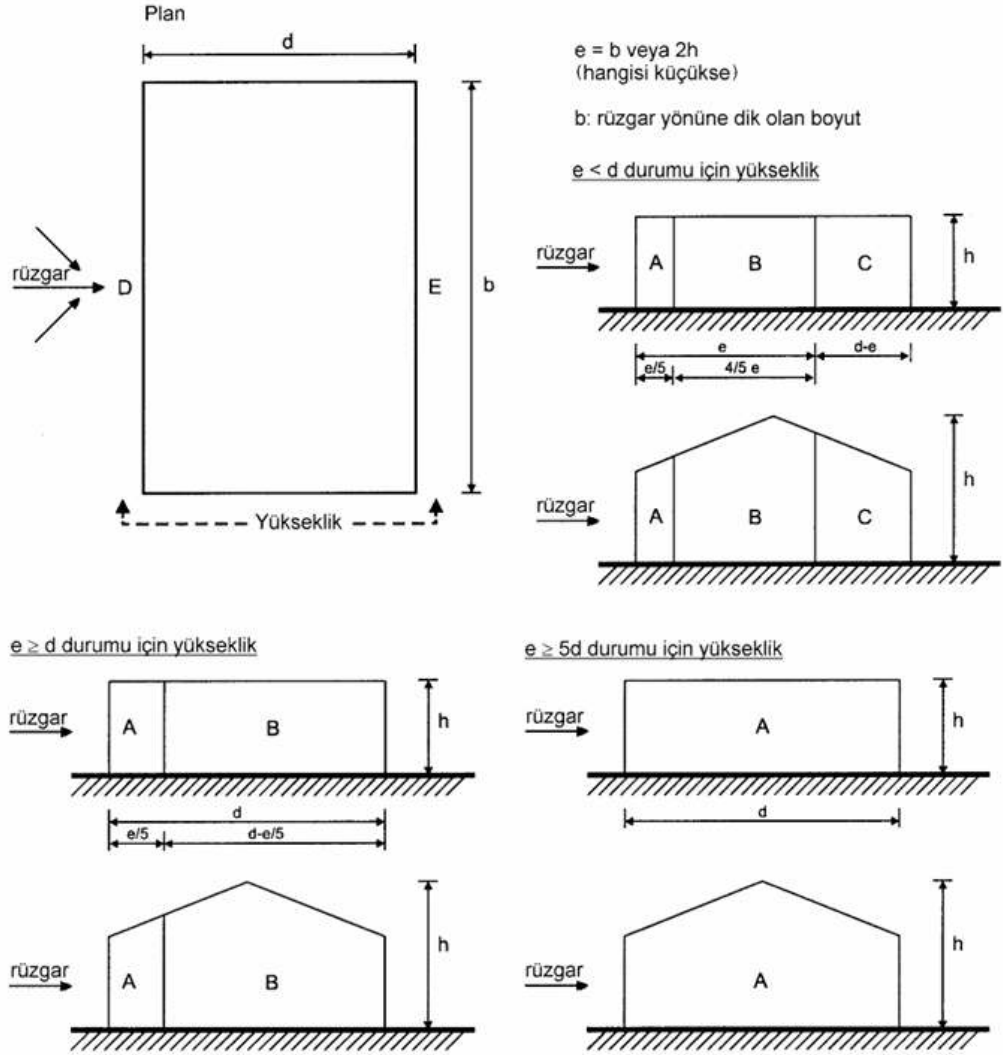
$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{7,82}{0,05}\right)} = 0,2 \quad \text{TS EN 1991-1-4 (4.7)} \quad (3.7)$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4 (4.8)} \quad (3.8)$$

$$q_p(z) = 1,077 \text{ kN/m}^2$$

İç ve dış basınçların yapıya aynı anda etki etmesi durumunda dikkate alınması gerekir. Yapıda oluşması muhtemel açıklıklar ile rüzgâr akımının sızdığı diğer hatların her bir kombinasyonu için en kötü durumu oluşturan iç ve dış basınç kombinasyonları dikkate alınmış olup TS EN 1991-1-4 (Bölüm 7.2.9 Not2) yönetmeliğ esas alınarak iç ve dış basınçların hesaplamasında c_{pi} değerleri +0,2 ve -0,3 en gayri müsait durum olarak dikkate alınmıştır.

Endüstri yapısı üzerindeki rüzgâr dağılımı TS EN 1991-1-4 (Şekil 3.10)'e göre yapılmıştır.



Şekil 3.10. (TS EN 1991-1-4) çift eğimli şekiller için tavsiye edilen dış basınç katsayıları

W_x rüzgâr yükün dağılımı (Şekil 3.11, Şekil 3.12)

$$e = \min(b, 2h) = 15,64 \text{ m}$$

Bölge A'nın genişliği 3,13 m

Bölge B'nin genişliği 12,51 m

Bölge C'nin genişliği 4,36 m

Bölge F, G ve J'nin genişliği 1,56 m

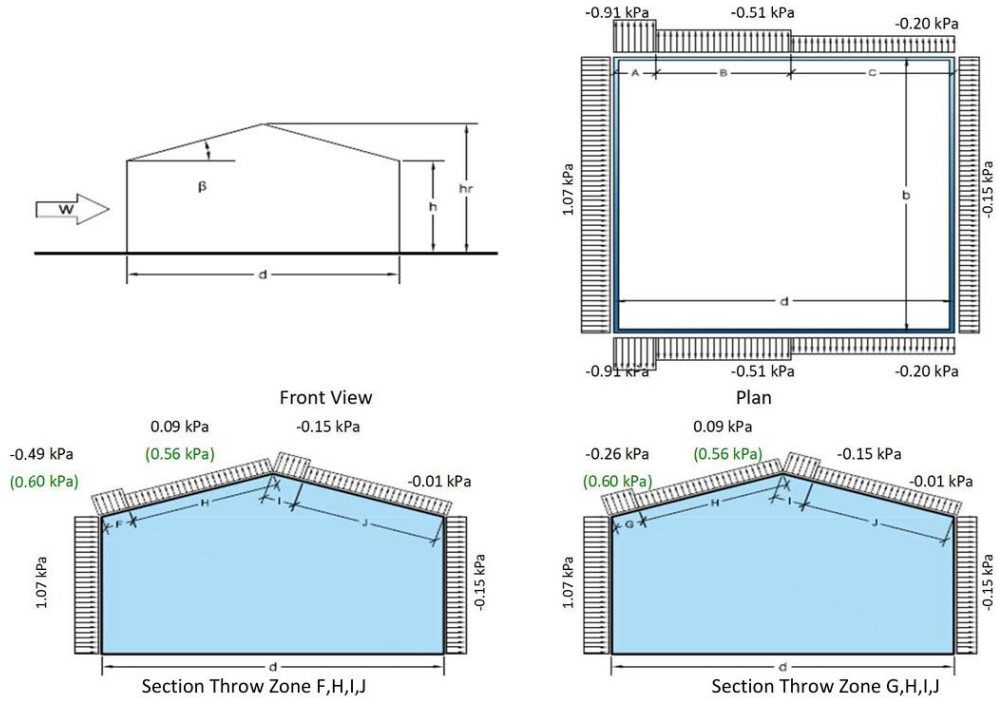
Bölge H ve I'nın genişliği 8,44 m

Bölge F'nin uzunluğu 3,91 m

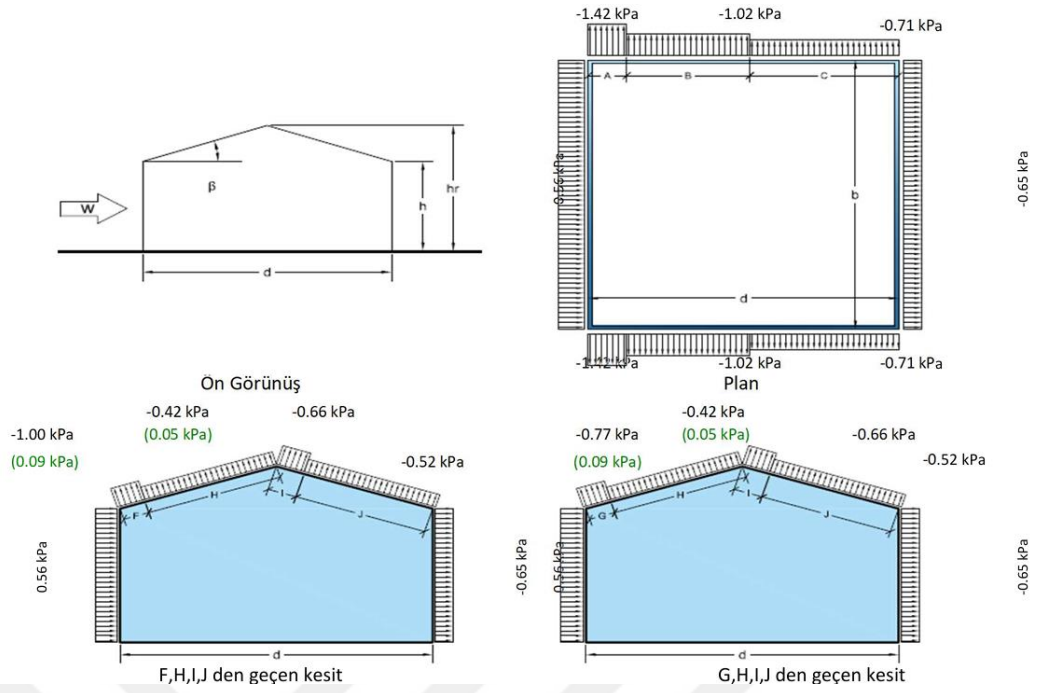
Bölge G'nin uzunluğu 22,18 m

Çizelge 3.3. $d=20$ m $h_m=7,82$ m $\alpha=20^\circ$ endüstri yapısının rüzgâr basınç değerleri

Bölge	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,4	-0,8	-0,6	-0,2	-0,3	-0,5
c_{penet} $= c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	-0,9	-0,5	-0,2	1,049	-0,14	-0,5	-0,3	0,1	-0,01	-0,15
c_{penet} $= c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	-1,4	-1	-0,7	0,549	-0,64	-0,98	-0,75	-0,41	-0,51	-0,65
$W(z)$ $= c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = -0,3$	-0,91	-0,51	-0,20	1,065	-0,14	-0,49	-0,26	0,08	0,013	-0,15
$W(z)$ $= c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = +0,2$	-1,42	-1,01	-0,71	0,557	-0,65	-1,01	-0,77	-0,42	-0,52	-0,66



Şekil 3.11. Endüstri yapısı üzerinde $+W_x$ rüzgâr yükünün dağılımı



Şekil 3.12. Endüstri yapısı üzerinde $-W_x$ rüzgâr yükünün dağılımı

W_y rüzgâr yükünün dağılımı (Şekil 3.13, Şekil 3.14)

$$e = \min(b, 2h) = 12 \text{ m}$$

Bölge A'nın genişliği 2,4 m

Bölge B'nin genişliği 9,6 m

Bölge C'nin genişliği 18 m

Bölge F ve G'nin genişliği 1,2 m

Bölge H ve I'nın genişliği 4,8 m

Bölge F'nin Uzunluğu 3 m

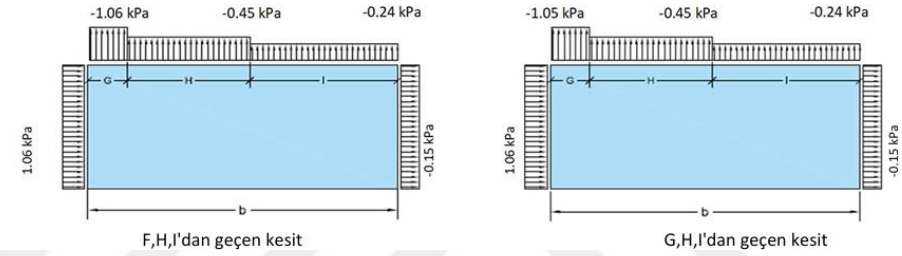
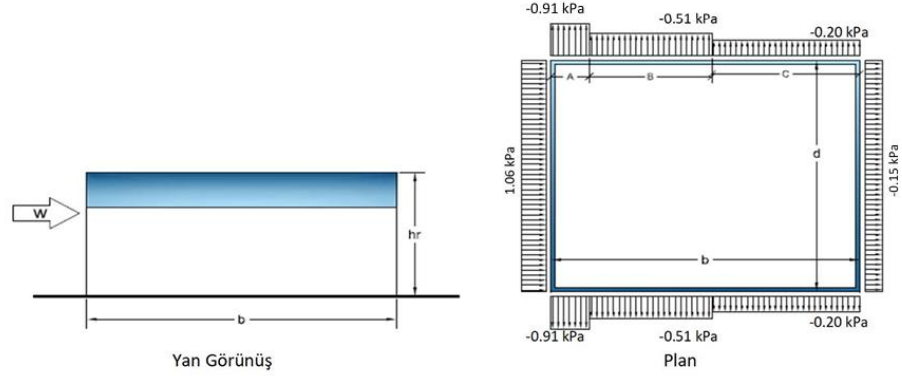
Bölge G'nin Uzunluğu 14 m

Bölge I'nın Uzunluğu 24 m

Çizelge 3.4. $d=20 \text{ m}$ $h_m=7,82 \text{ m}$ $\alpha=20^\circ$ endüstri yapısının rüzgâr basınç değerleri

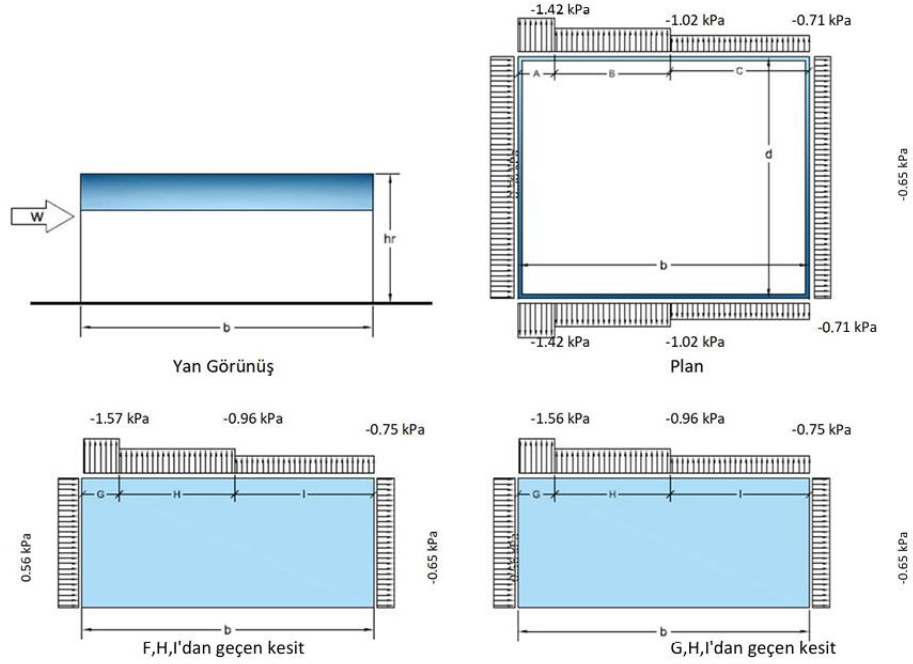
Bölge	A	B	C	D	E	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,2	-0,8	-0,5	0,75	-0,44	-1,34	-1,33	-0,74	-0,54
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	-0,9	-0,5	-0,2	1,049	-0,14	-1,04	-1,03	-0,44	-0,24
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	-1,4	-1	-0,7	0,549	-0,64	-1,546	-1,533	-0,945	-0,738
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = -0,3$	-0,91	-0,51	-0,20	1,065	-0,14	-1,06	-1,05	-0,452	-0,24
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = +0,2$	-1,42	-1,01	-0,71	0,557	-0,65	-1,57	-1,557	-0,96	-0,749

5-2-1 A Durumu



Şekil 3.13. Endüstri yapısı üzerinde +Wy rüzgâr yükünün dağılımı

5-2-1 B Durumu



Şekil 3.14. Endüstri yapısı üzerinde -Wy rüzgâr yükünün dağılımı

3.4.4. Deprem yükü hesabı

Yapıya etkiyen deprem yükü TBDY 2018 esaslarına göre hesaplanmıştır. Yapıya etkiyen deprem yükü eşdeğer hesap yöntem ile hesaplanıp sistem üzerine uygulanmıştır. Endüstri yapı sistemleri için deprem yükü hesabında dikkate alınan parametreler aşağıda gösterildiği şekilde seçilmiştir.

- Deprem yer hareketi düzeyleri DD-2 olarak seçilmiştir.
- Yerel zemin sınıfı ZC
- Konum olarak Antalya, Isparta ve Burdur
- S_s ve S_1 deprem değerleri Türkiye Deprem Tehlike Haritasından alınmıştır, Antalya ($S_s = 0,544$ $S_1 = 0,145$) Isparta ($S_s = 0,801$ $S_1 = 0,186$) ve Burdur ($S_s = 1,016$ $S_1 = 0,240$)
- Bina yükseklik sınıfı TBDY2018 (Çizelge 3.5) göre:

Çizelge 3.5. Endüstriyel yapıların TBDY2018'e göre BYS değerleri

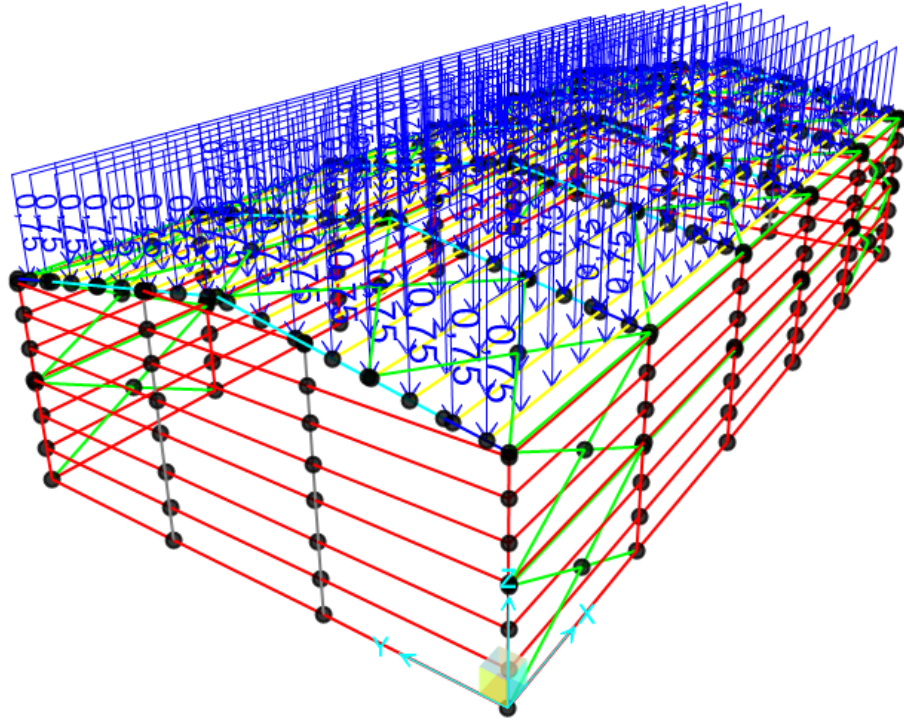
Endüstri yapı mahya yüksekliği	
h=7	BYS=8
h=10,5	BYS=7
h=17,5	BYS=6

- Bina kullanım sınıfı BKS = 1 TBDY 2018'deki Tablo 3.1 göre seçilmiştir.
- Deprem tasarım sınıfı DTS = 2a (Antalya) ve DTS= 1a (Isparta ve Burdur) TBDY2018'deki Tablo 3.2'ye göre seçilmiştir.
- Yatay deprem yükü için $R = 4$ ve $D = 2$ TBDY 2018'deki Tablo 4.1 C.33'e göre seçilmiştir.
- Yatay deprem yükü için $I = 1$ önem katsayısı TBDY 2018'deki Tablo 3.1 diğer binalara göre seçilmiştir.

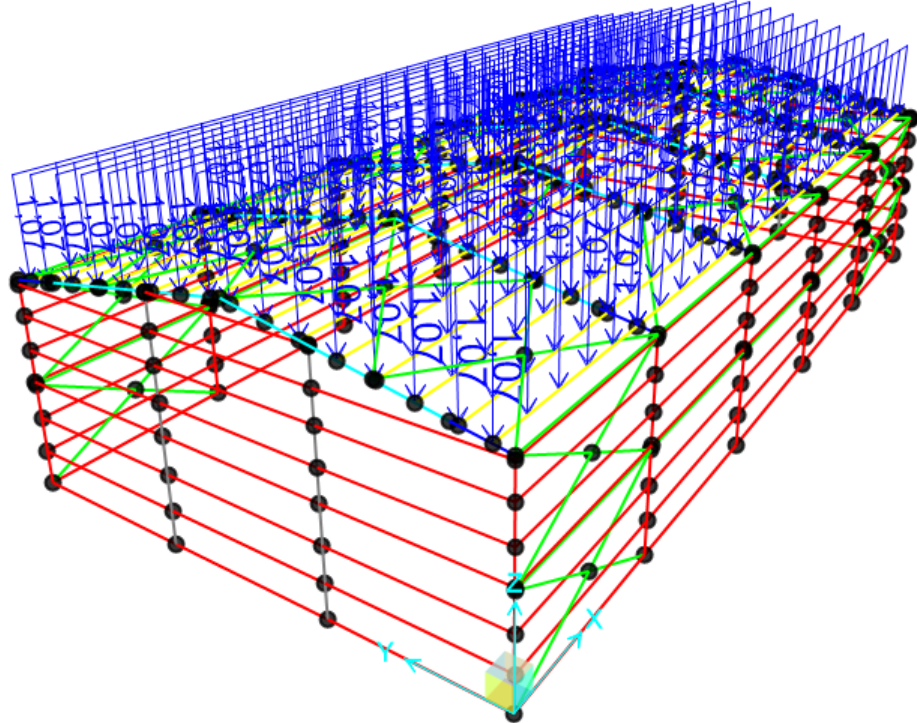
Endüstri yapılarının tasarım sınıfı DTS = 2a ve 1a ve açıklık 20 m'den büyük olduğu için düşey deprem hesabı da yapılması gerekmektedir (TBDY2018 4.4.3).

3.4.5. Burkulma analizi

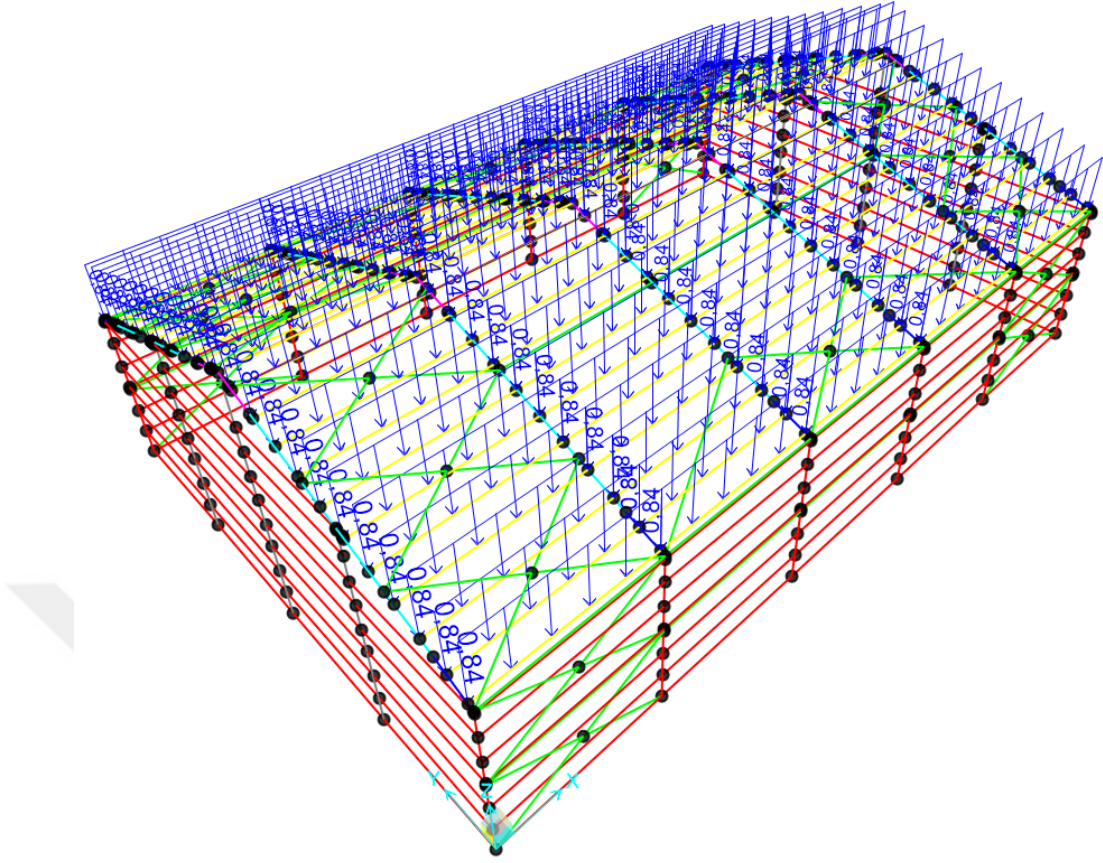
Endüstri yapılarının burkulma kontrolü için yapı üzerine gelebilecek en fazla yük Antalya için $0,75 \text{ kN/m}^2$, Burdur için $0,85 \text{ kN/m}^2$ ve Isparta için $1,07 \text{ kN/m}^2$ olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.15. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması (Antalya)



Şekil 3.16. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması (Isparta)

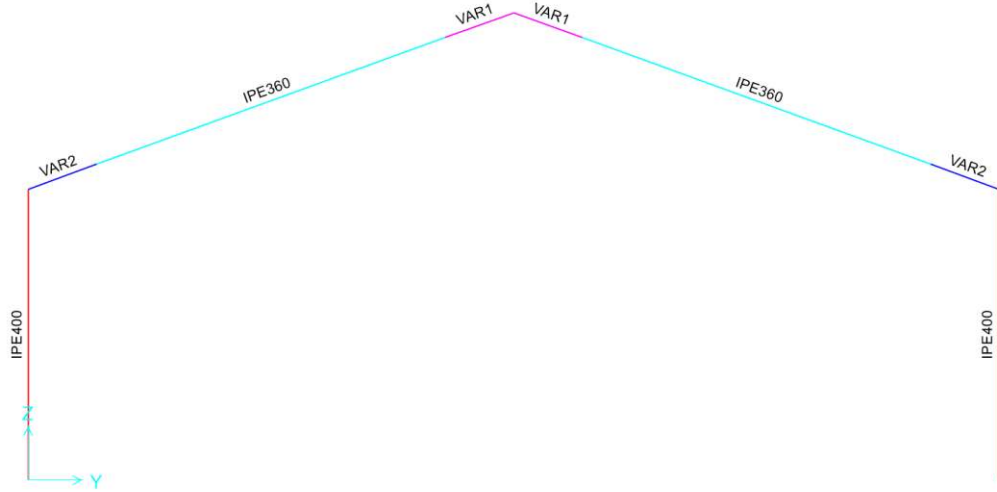


Şekil 3.17. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması (Burdur)

3.5. Endüstri Yapısının Analiz Modelinin Oluşturulması

3.5.1. Eleman kesit ve mesnet koşullarının tanımlanması

Endüstri yapısı sistemleri önce AUTOCAD v20 üzerinde modellenmiş, daha sonra programı SAP2000.V24 programı analiz modelleri kurulmuştur. Çalışmaya esas alınan endüstriyel yapı modelleri SAP2000 programına aktarıldıktan sonra yapılan boyutlandırmaya göre Şekil 3.18’de görüldüğü gibi eleman ataması yapılmıştır.



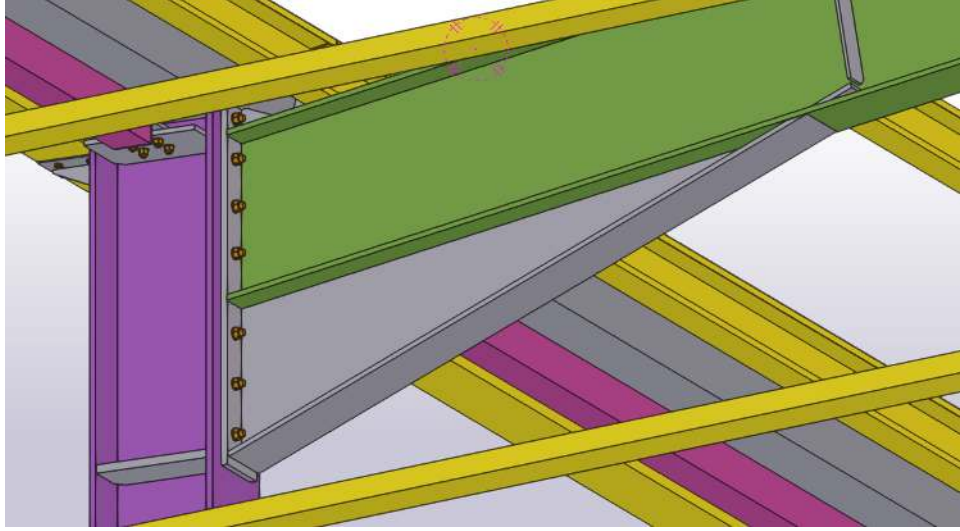
Şekil 3.18. SAP2000 ortamında endüstriyel yapı elemanlarına kesit atanması

SAP2000’de kurulan model uygulama şartları ve yöntemleri dikkate alınarak kurulmuştur. Kolon kiriş bağlantısında, prizma kesiti olan guse kullanılarak modellenmiştir (**Şekil 3.18**). Guse elemanı olan VAR1 ve VAR2 IPE360 ile başlayıp IPE600 ile bitmektedir. Şekil 3.4 gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

Start Section	End Section	Length	Length Type	EI33 Variation	EI22 Variation
IPE360	IPE600	1,5	Variable	Parabolic	Linear

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete

Şekil 3.19. Guse kesitin SAP2000 modelinde tanımlanması

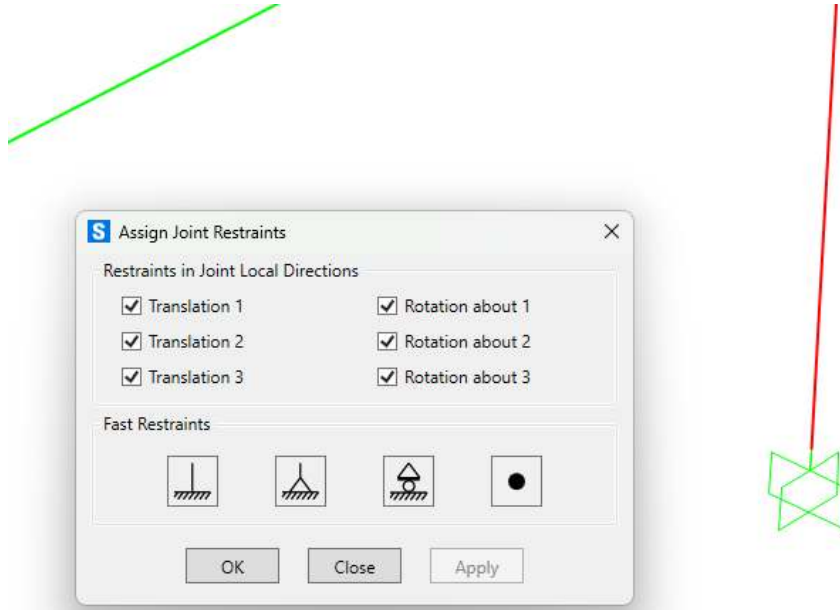


Şekil 3.20. Uygulamada guse kullanım şekli

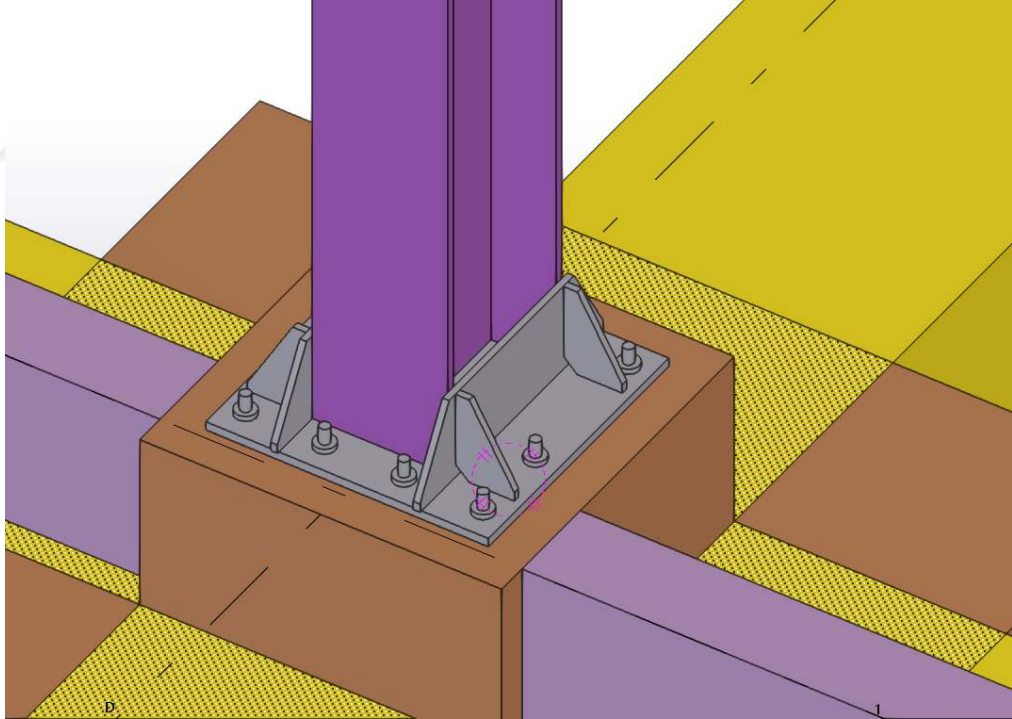
Temel-kolon birleşim bağlantısında genellikle ülkemizde endüstri yapılarında uygulandığı gibi moment aktaran bağlantı kullanılmıştır. SAP 2000 modelinde Şekil 3.21’de görüldüğü gibi tanımlanmıştır.

Endüstri yapılarının cephe ve çatı aşıklarında hafif çelik olan soğuk haddelenmiş C kesiti kullanılmıştır. Bu kesitin özelliği hafif olmasıdır. Bu şekilde dizayn edilerek sistem üzerine ağır çelik aşıklardan gelecek zati yükler yüksek oranda azaltılmış olur.

Şekil 3.21. SAP2000de soğuk haddelenmiş C kesiti tanımlama

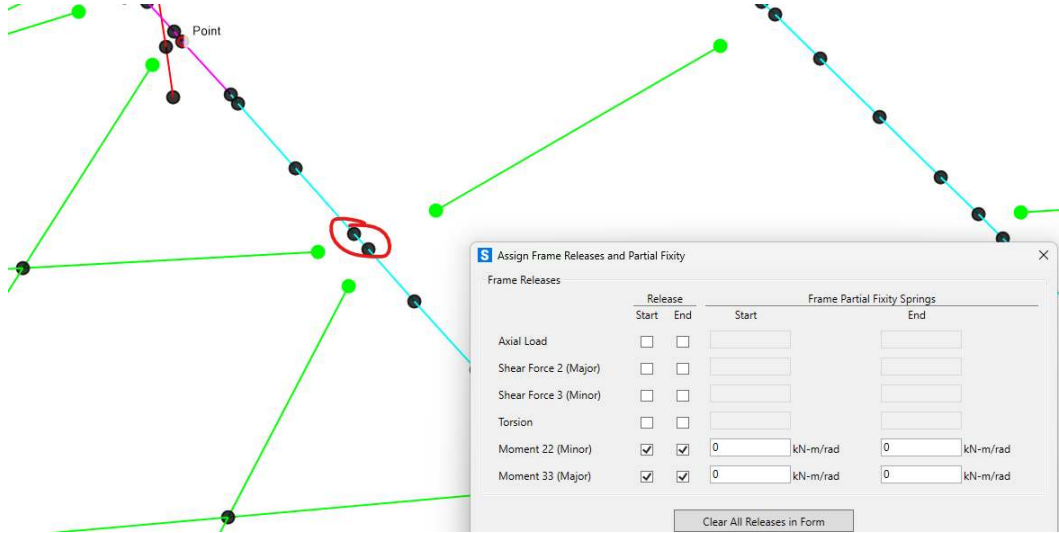


Şekil 3.22. SAP2000 programında kolon ile temel bağlantısı modelleme

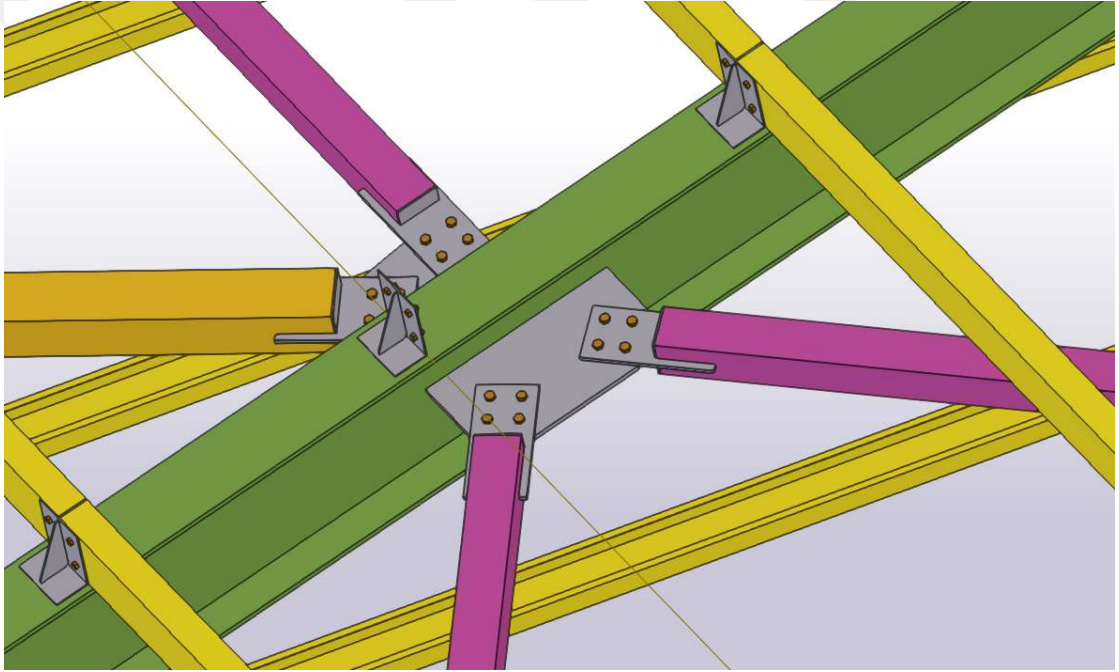


Şekil 3.23. Uygulamada moment aktaran kolon temel bağlantısı

Kolon ve çatı çaprazları ile kiriş bağlantısı mafsallı şekilde bağlantı kullanılır bu bağlantı Şekil 3.23'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.



Şekil 3.24. SAP2000 de çapraz ile ana kirişin mafsallı bağlantı tanımlaması

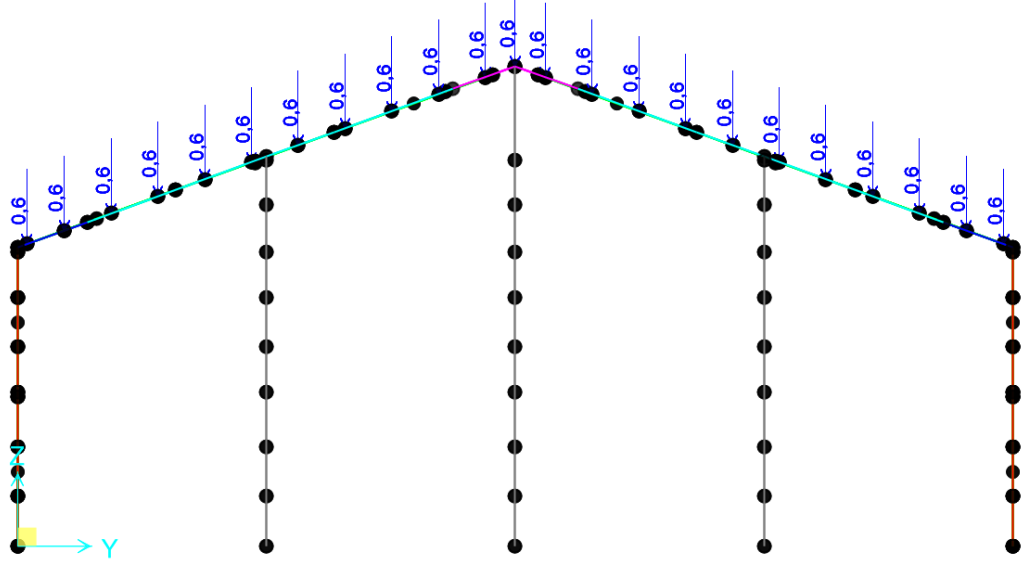


Şekil 3.25. Uygulamada çapraz ile ana kiriş bağlantı şekli

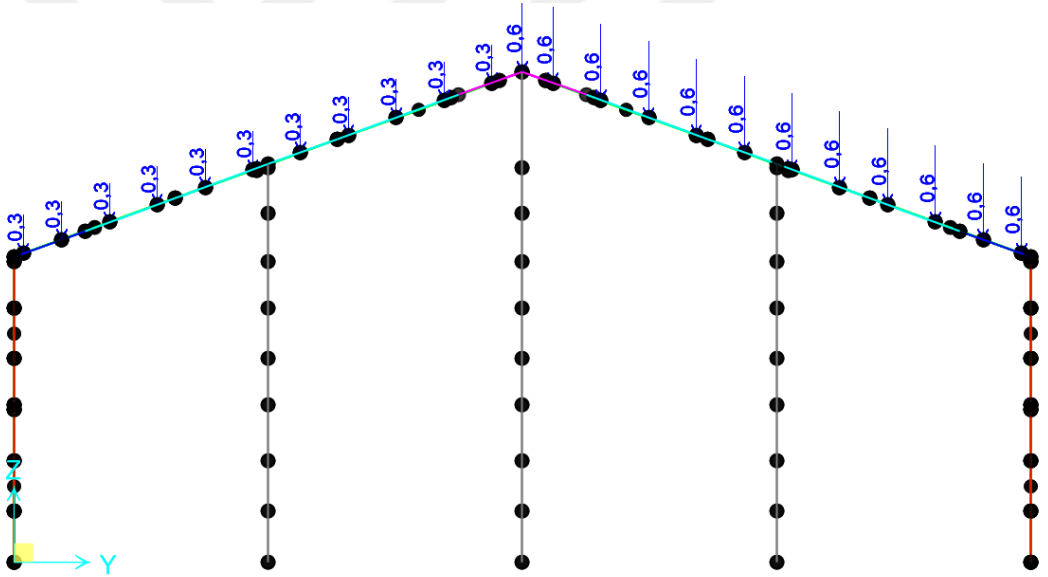
Yapıya etkiyen yüklerin tanımlanması

3.5.1.1. Kar yükünün taşıyıcı sistem üzerine uygulanması

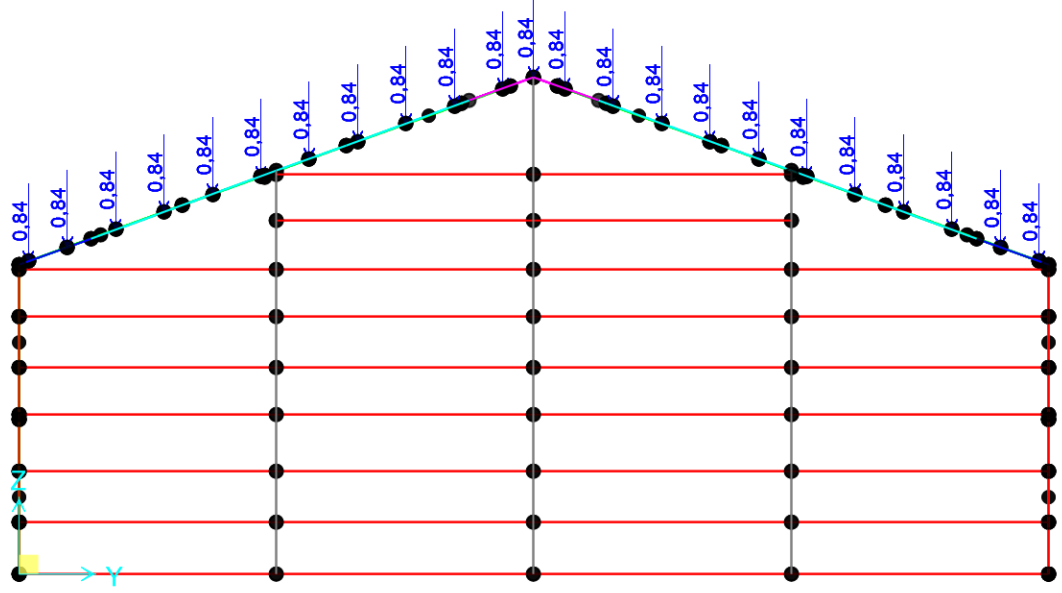
Çizelge 3.2’de hesaplanan kar yükleri her bir model için çatı aşık elemanlarının üzerine yerçekimi yönünde uygulanmıştır. (Şekil 3.25-3.26-3.27-3.28-3.29-3.30)



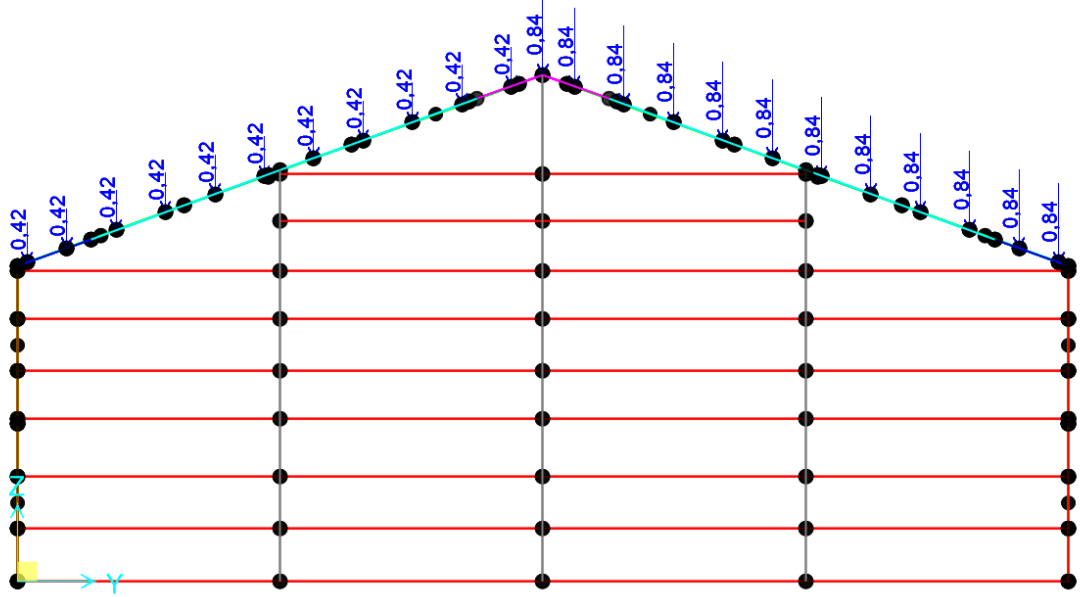
Şekil 3.26. Kar yüklemesi durum 1(S1) (Antalya)



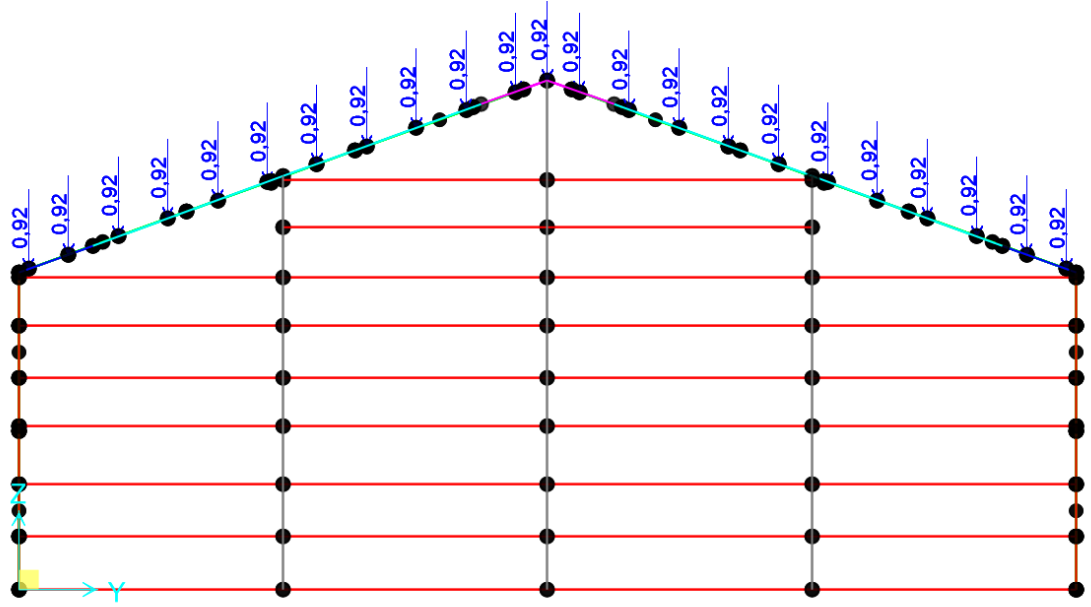
Şekil 3.27. Kar yüklemesi durum 2(S2) (Antalya)



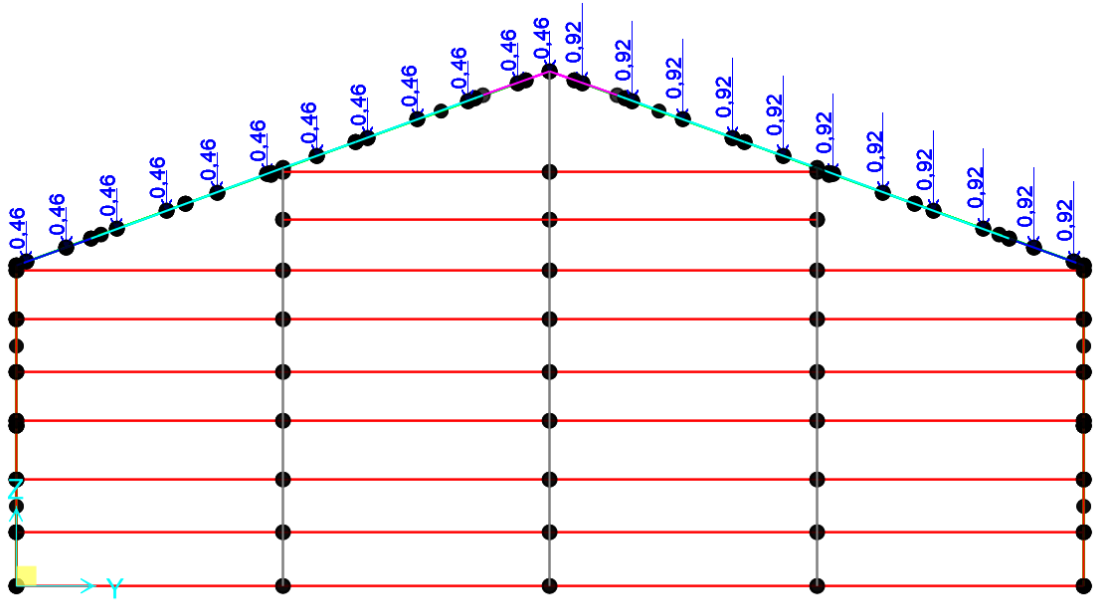
Şekil 3.28. Kar yüklemesi durum 1 (S1) (Burdur)



Şekil 3.29. Kar yüklemesi durum 2 (S2) (Burdur)



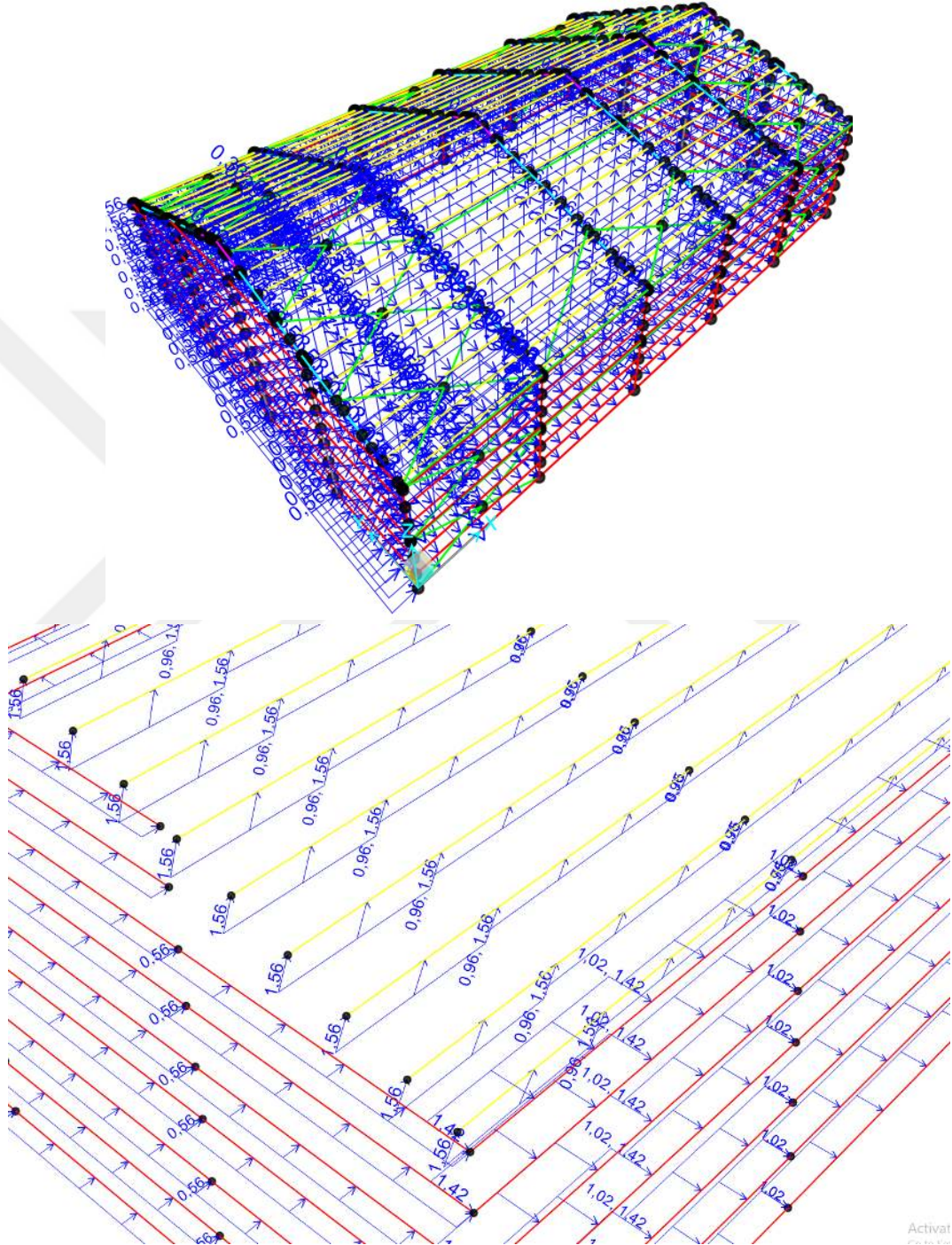
Şekil 3.30. Kar yüklemesi durum 1(S1) (Isparta)



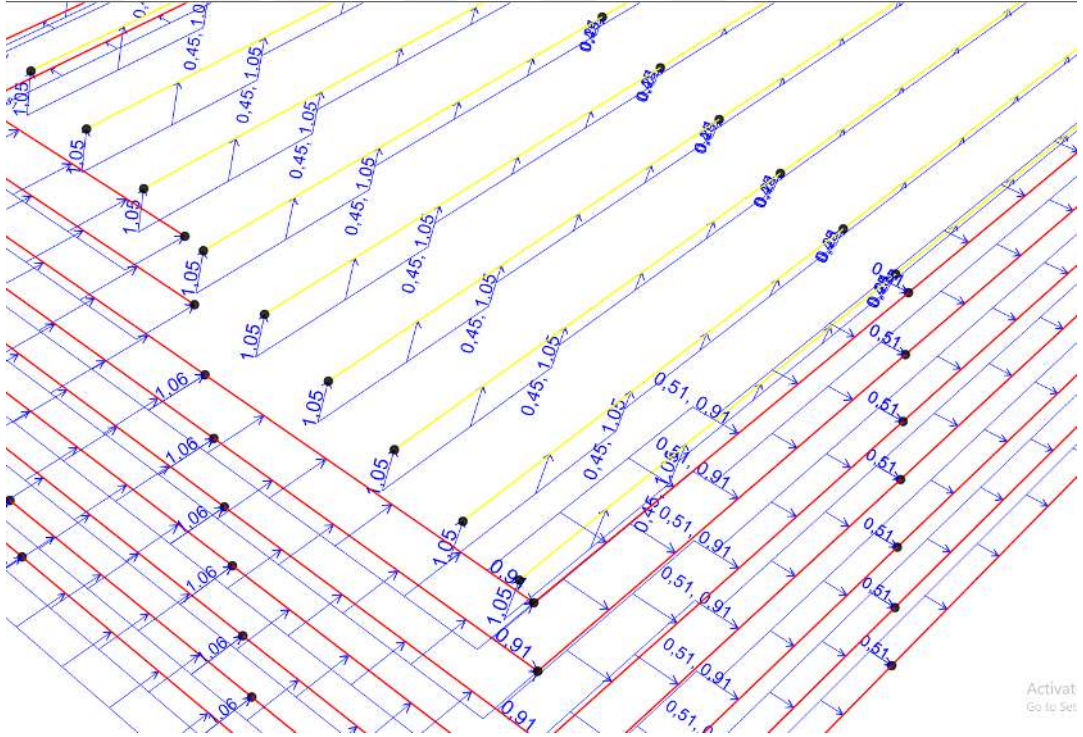
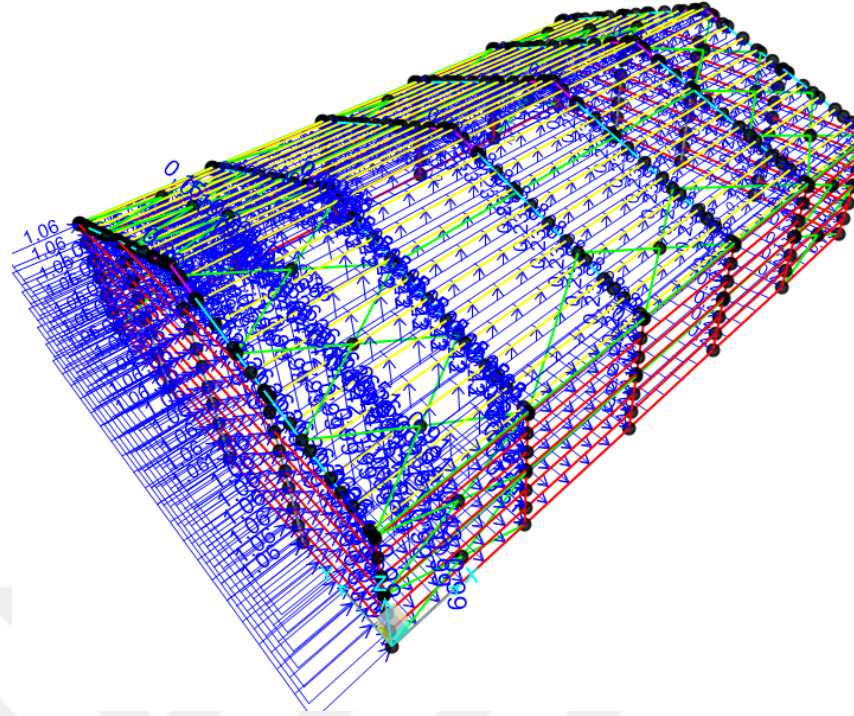
Şekil 3.31. Kar yüklemesi durum 2(S2) (Isparta)

3.5.1.2. Rüzgâr yükünün taşıyıcı sistem üzerine uygulanması

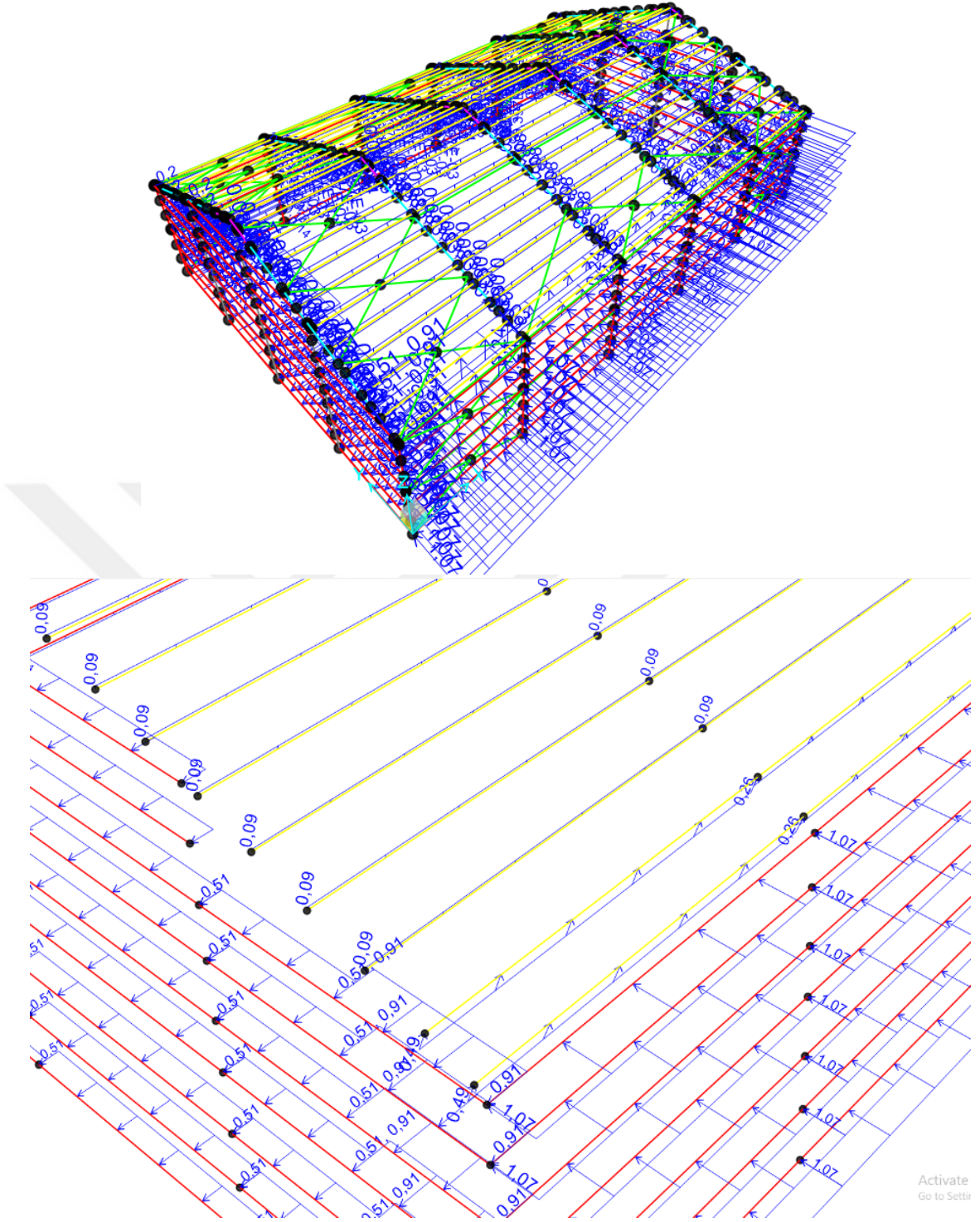
Hesaplanan rüzgâr kuvvetleri SAP2000.V24 programında aşık elemanları üzerinde çizgisel yük olarak yüzeylere dik olacak şekilde (lokal) uygulanmıştır. Rüzgâr yükleri SAP2000.V24’de $+W_x$, $-W_x$, $+W_y$ ve $-W_y$ olarak uygulanmıştır (Şekil 3.31- 3.34).



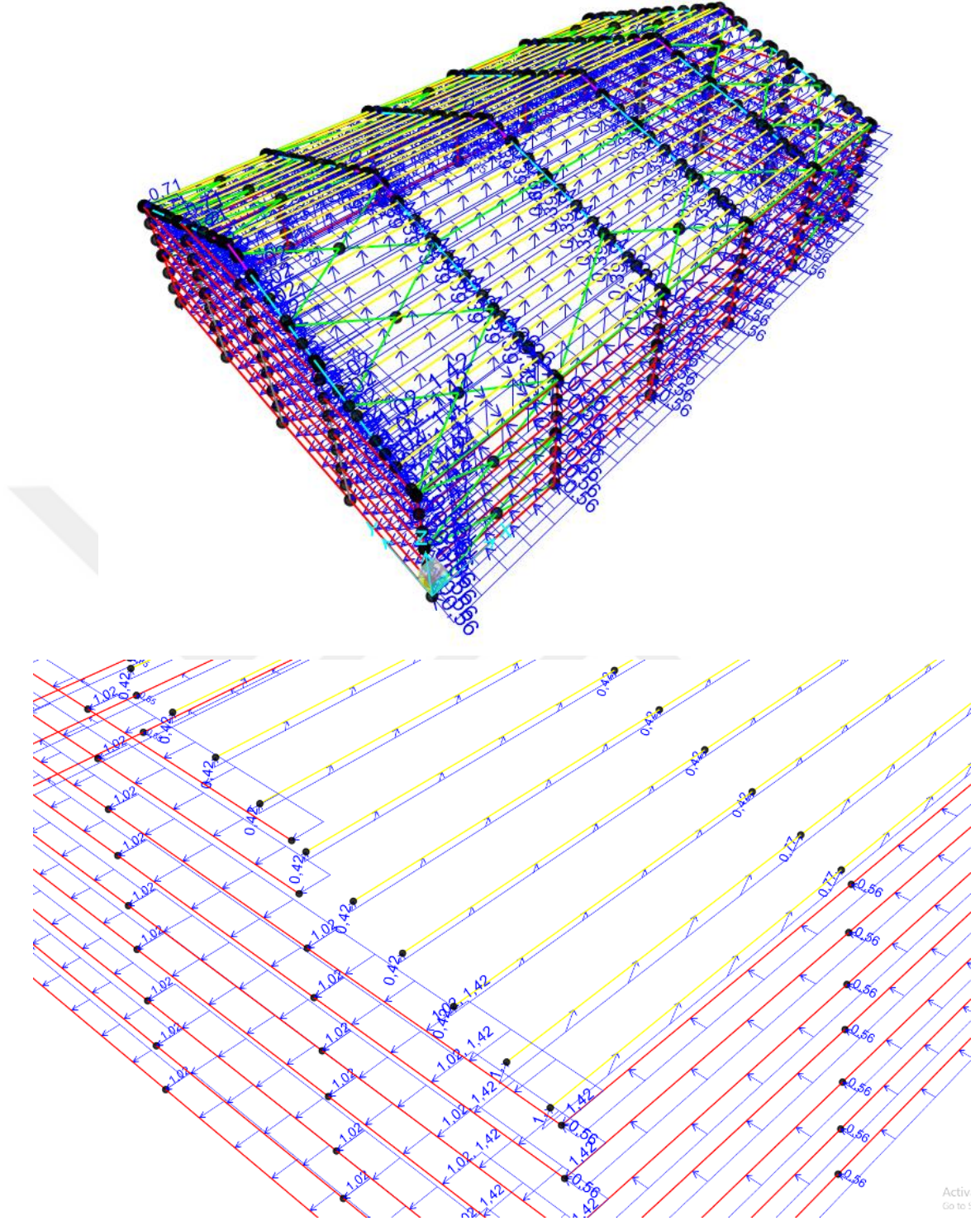
Şekil 3.32. $+W_x$ rüzgâr yükünün çatı üzerinde uygulaması



Şekil 3.33. $-W_x$ rüzgâr yükünün çatı üzerinde uygulaması



Şekil 3.34. $+W_y$ rüzgâr yükünün çatı üzerine uygulaması



Şekil 3.35. - W_y rüzgâr yükünün çatı üzerine uygulaması

3.5.1.3. Deprem yükünün taşıyıcı sistem üzerine uygulanması

Hesaplanan deprem yükleri SAP2000.V24 programında aşağıda verildiği şekilde tanımlanmıştır (Şekil 3.35, Şekil 3.36 ve Şekil 3.37).

A. Yatay deprem yükünün tanımlanması

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

☒ Global X Direction
☐ Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

☐ Approx. Period Ct (m), x =
☒ Program Calc Ct (m), x =
☐ User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

☒ Program Calculated
☐ User Specified

Max Z
Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss
1 Sec Spectral Accel, S1
Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fs
Site Coefficient, F1

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss
SD1 = F1 * S1

Factors

Response Modification, R
System Overstrength, D
Occupancy Importance, I

Şekil 3.36. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması (Antalya)

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

☒ Global X Direction
☐ Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Time Period

☐ Approx. Period Ct (m), x =
☒ Program Calc Ct (m), x =
☐ User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

☒ Program Calculated
☐ User Specified

Max Z
Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss
1 Sec Spectral Accel, S1
Long-Period Transition Period

Site Class

Site Coefficient, Fs
Site Coefficient, F1

Calculated Coefficients

SDS = Fs * Ss
SD1 = F1 * S1

Factors

Response Modification, R
System Overstrength, D
Occupancy Importance, I

Şekil 3.37. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması (Isparta)

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

☒ Global X Direction
☐ Global Y Direction
Ecc. Ratio (All Diaph.)
Override Diaph. Eccen.

Time Period

☐ Approx. Period Ct (m), x =
☒ Program Calc Ct (m), x =
☐ User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

☒ Program Calculated
☐ User Specified
Max Z
Min Z

Seismic Coefficients

0.2 Sec Spectral Accel, Ss
1 Sec Spectral Accel, S1
Long-Period Transition Period
Site Class
Site Coefficient, Fs
Site Coefficient, F1
Calculated Coefficients
SDS = Fs * Ss
SD1 = F1 * S1

Factors

Response Modification, R
System Overstrength, D
Occupancy Importance, I

Şekil 3.38. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması (Burdur)

Deprem yükü hesabında dikkate alınacak kütle G+0,3Q yük birleşiminden alınmıştır. TBDY 2018 Tablo 4.3'teki verilere göre bu yapı üzerinde hareketli yük olmadığı için hareketli yük yerine kar yükü dikkate alınmıştır.

Mass Source

☐ Element Self Mass and Additional Mass
☒ Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD	1.
KAR 1	0.3

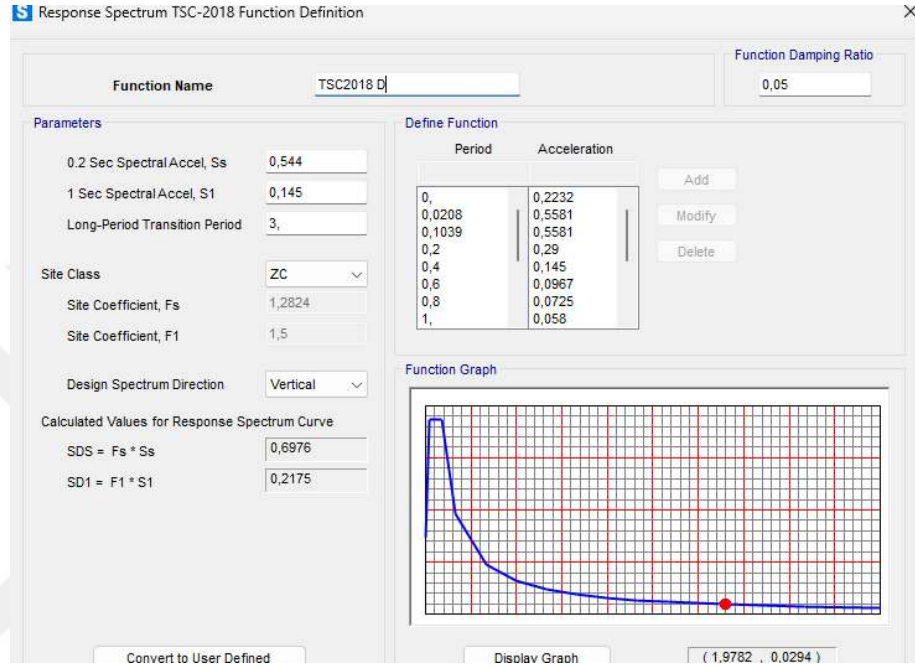
Şekil 3.39. Kütle katılım kombinasyonu

B. Düşey deprem yükünün tanımlanması

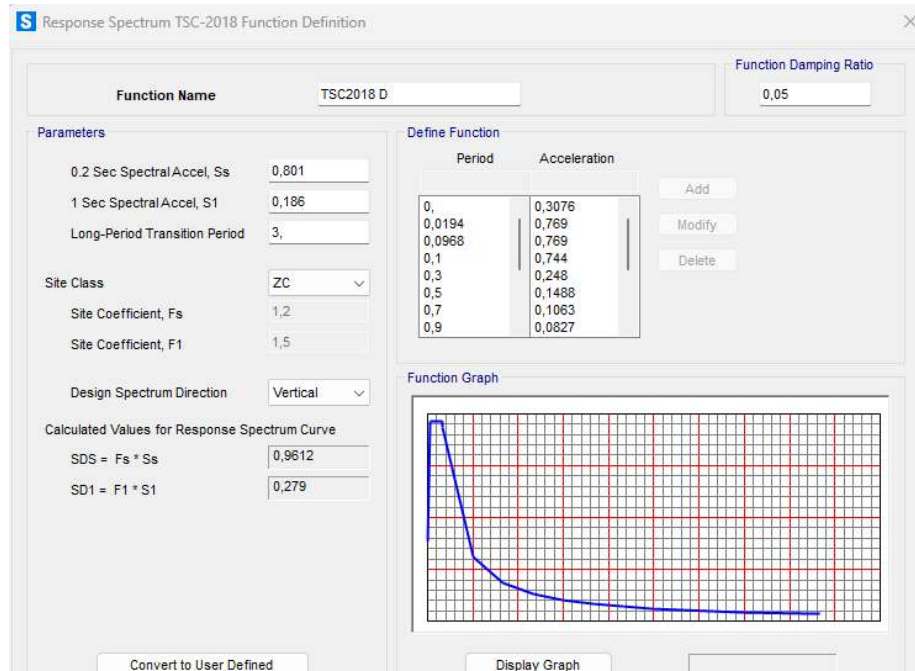
Düşey deprem yük hesabında $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınmıştır (TBDY 2018 4.4.3.1).

Düşey deprem yükünü hesaplamak için tepki spektrumu (Response Spectrum)

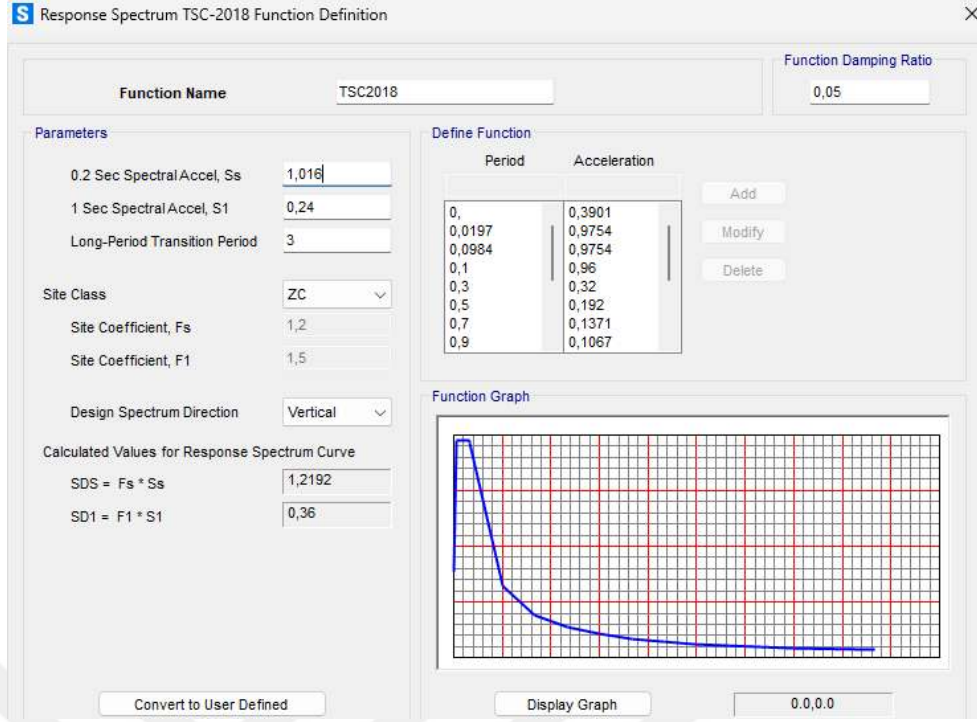
TBDY2018 2.3.5'e göre $T_{AD} = \frac{T_A}{3}$, $T_{BD} = \frac{T_B}{3}$ ve $T_{LD} = \frac{T_L}{3}$ olarak alınmıştır ve Şekil 3.39-3.40 ve 3.41 'de gösterildiği şekilde Antalya, Isparta ve Burdur SAP2000.V24'de tanımlanmıştır.



Şekil 3.40. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri (Antalya)



Şekil 3.41. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri (Isparta)



Şekil 3.42. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri (Burdur)

3.6. Endüstri Yapı Modellerinin Analiz ve Tasarımı

Sistemlerin analizleri üç boyutlu olarak, düşey yükler, kar yükleri, rüzgâr yükleri ve deprem yükleri altında SAP 2000 programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Bu yükler altında TBDY 2018 ve ÇYTHYE 2018 dikkate alınarak YDKT yöntemine göre toplamda 46 adet yük birleşimi oluşturulmuştur (Çizelge 3.6).

3.6.1. Yüklerin Birleşimleri

Yük kombinasyonları Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliğinin 5.3 maddesine göre ve TBDY2018 yönetmeliğinin 4.4.4 ve 4.4.2.1 maddeleri esas alınarak hazırlanmıştır.

Çizelge 3.6. Yönetmeliklere göre yük kombinasyonları

Yük kombinasyonları	Kombinasyon tipi	Yönetmelik
1.4G	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S1	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S2	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S1	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S2	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
W _x max	Envelope	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT

W_{Ymax}	Envelope	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+1.6S_1+0.8W_X+0.24W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+1.6S_2+0.8W_X+0.24W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+1.6S_1+0.24W_X+0.8W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+1.6S_2+0.24W_X+0.8W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.5S_1+1.6W_X+0.48W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.5S_2+1.6W_X+0.48W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.5S_1+0.48W_X+1.6W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.5S_2+0.48W_X+1.6W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1+E_X+0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1+E_X-0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1-E_X-0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1-E_X+0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1+E_Y+0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1-E_Y+0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1-E_Y-0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_1+E_Y-0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2+E_X+0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2+E_X-0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2-E_X-0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2-E_X+0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2+E_Y+0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2+E_Y-0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2-E_Y-0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$1.2G+0.2S_2-E_Y+0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G+1.6W_X+0.48W_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G+1.6W_Y+0.48W_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G+E_X+0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G+E_X-0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G-E_X-0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G-E_X+0.3E_Y$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G+E_Y+0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT

$0.9G+E_Y-0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G-E_Y-0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$0.9G-E_Y+0.3E_X$	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
ENV YDKT	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
$G+0.2S+E_X+0.3E_Y+0.3E_Z$	Linear Add	TBDY2018
$0.9G+H+E_X+0.3E_Y-0.3E_Z$	Linear Add	TBDY2018
$G+0.3S_1$	Linear Add	Deprem kütle katılımı
$G+0.5S_1$	Linear Add	Düşey deplasmanı kontrolü

Yüklemeler hesaplandıktan sonra sonlu elemanlar yöntemi tabanlı SAP2000.V24 programı ile endüstri yapısı üzerine yükler uygulanmıştır. Analiz sonuçlarının karşılaştırmaları için ön tasarım yapılarak uygun kesitler seçilmiştir. Hangi sistemin daha ekonomik bir çözüm vereceğini gözlemlemek amacıyla ilk olarak tüm yapı sistemlerine aynı kesite sahip elemanlar atanmıştır. Eleman kesitleri en gayri müsait durumundaki sistem için belirlenmiş ve tüm sistemlerde bu kesitler kullanılmıştır (Çizelge 3.7). Doğrusal analizleri yapılan yapı modellerinin iç kuvvet, yer değiştirme ve kapasite oranları değerlendirilerek ekonomik tasarımı veren çatı eğim açısı belirlenmiştir. Daha sonraki aşamada Burdur ilinde 15m, 20m ve 25 m açıklıklı yapı tekrar ele alınarak bulunduğu konumun yükleme koşullarına ve çatı eğim açısına göre tekrar tasarım yapılarak kesitler belirlenmiştir. Çelik malzeme giderleri hesaplanarak çatı eğim açısının değişimine göre kullanılan malzemenin değişimleri incelenmiştir.

Çizelge 3.7. Analiz modellerinde kullanılan eleman kesitleri

Eleman	Kesit	Malzemesi
Kolonlar	IPE400	S275
Ana Kirişler	IPE360	S275
Kolon kiriş bağlantı elemanı	IPE360 -IPE600	S 275
Kolon ve çatı çaprazları	120x120x4 kutu profil	S235
Yan aşıklar	CC300x3	S235

Endüstri yapı modellerinde kullanılan kesitlerini kompaktlık ve süneklik kontrolleri TBDY2018 ve ÇYTHYE 2018 göre yapılmıştır (Çizelge 3.8).

$$E=210000 \text{ MPa ve } F_y= 275 \text{ MPa}$$

Çizelge 3.8. TBDY 2018'e göre kesit süneklik kontrolü

Eleman		Narinlik	Süneklik Düzeyi Sınırlı Elemanlar	Sonuç
IPE400	Başlık	$\frac{b}{t} = \frac{90}{13,5} = 6,667$	$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10,3$ $\lambda_{md} = 0,38 \sqrt{E/F_y} = 10,3$	$\frac{b}{t} < \lambda_p$ $\frac{b}{t} < \lambda_{md}$
	Gövde	$\frac{h}{t} = \frac{346}{8,6} = 40,23$	$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 101,3$ $\lambda_{md} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2,75C_a) = 84,8$	$\frac{h}{t} < \lambda_p$ $\frac{h}{t} < \lambda_{md}$
IPE360	Başlık	$\frac{b}{t} = \frac{85}{12,7} = 6,69$	$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10,3$ $\lambda_{md} = 0,38 \sqrt{E/F_y} = 10,5$	$\frac{b}{t} < \lambda_p$ $\frac{b}{t} < \lambda_{md}$
	Gövde	$\frac{h}{t} = \frac{309}{8} = 38,6$	$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 101,3$ $\lambda_{md} = 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} (1 - 2,75C_a) = 87$	$\frac{h}{t} < \lambda_p$ $\frac{h}{t} < \lambda_{md}$
120x4 kutu	Başlık/ Gövde	$\frac{b}{t} = \frac{108,9}{3,7} = 29,4$	$\lambda_r = 1,4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 37,8$ $\lambda_{md} = 1,12 \sqrt{E/F_y} = 30,2$	$\frac{b}{t} < \lambda_r$ $\frac{b}{t} < \lambda_{md}$

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Analiz Sonuçları

4.1.1. Model analiz sonuçları

TBDY2018 4.7.3.4'e göre ampirik hâkim doğal titreşim periyodu $T_{pA} = C_t \cdot H_N^{3/4}$ olarak hesaplanmıştır. TBDY2018 4.7.3.2'e göre deprem hesabında dikkate alınacak hâkim periyod değeri ($1,4 \cdot T_{pA} sn$) değerinden küçük olmalıdır.

Çizelge 4.1. TBDY2018'e göre deprem hesabında dikkate alınacak en yüksek doğal titreşim değerler

Açıklık 15 M endüstri yapı	Eğim açısı	$T_{pA} sn$	$1,4 \cdot T_{pA} sn$
$h=6+1,32=7,32$	10	0,347	0,498427
$h=6+2=8$	15	0,3557	0,532765
$h=6+2,73=8,73$	20	0,3653	0,568825
$h=6+3,5=9,5$	25	0,381	0,606053
$h=6+4,3=10,3$	30	0,3959	0,643941
$h=6+5,25=11,25$	35	0,409	0,68799
$h=6+6,3=12,6$	40	0,4307	0,749

Model analizinde toplam kütle katılım oranları %95'ten az olmayacaktır (TBDY2018 4.8.1.2).

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0,95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)} \geq 0,95 m_t \quad \text{TBDY2018 (D 4.30)}$$

Bu durumlar dikkate alınarak yeterli titreşim modu sayısı seçilmiştir.

Çizelge 4.2. Modal analizinde toplam kütle katılım oranların toplamı

OutputCase	StepNum	Period	SumUX	SumUY	SumRZ
Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	1	0,430676	0,000004085	0,80837	9,806E-08
MODAL	2	0,332627	0,0000041	0,80837	0,58151
MODAL	3	0,193658	0,00003211	0,8088	0,58151
MODAL	4	0,172989	0,53953	0,80882	0,58152
MODAL	5	0,158933	0,53957	0,80882	0,58152
MODAL	6	0,152344	0,53959	0,80931	0,58214
MODAL	7	0,151678	0,54072	0,80945	0,58252
MODAL	8	0,150464	0,54074	0,81167	0,58466
MODAL	9	0,150097	0,54108	0,81171	0,58475
MODAL	10	0,149567	0,54115	0,81186	0,58475

MODAL	11	0,14933	0,54116	0,812	0,58593
MODAL	12	0,148352	0,54217	0,81218	0,58665
MODAL	13	0,147516	0,5422	0,81224	0,58706
MODAL	65	0,045643	0,87948	0,91362	0,88505
MODAL	66	0,045627	0,87979	0,91466	0,88884
MODAL	67	0,041036	0,89985	0,91473	0,88909
MODAL	68	0,039838	0,90014	0,91473	0,88915
MODAL	69	0,039715	0,90015	0,91473	0,88926
MODAL	70	0,039203	0,90016	0,91479	0,88929
MODAL	71	0,03876	0,90034	0,91502	0,88939
MODAL	72	0,038539	0,90036	0,91517	0,8894
MODAL	73	0,037886	0,9004	0,91563	0,89253
MODAL	74	0,037983	0,9004	0,92317	0,89265
MODAL	75	0,034841	0,90043	0,92319	0,93088
MODAL	76	0,034694	0,97529	0,92328	0,9309
MODAL	77	0,031701	0,97552	0,93778	0,93146
MODAL	78	0,031324	0,97557	0,94683	0,93865
MODAL	79	0,030752	0,97557	0,95127	0,93951
MODAL	80	0,031175	0,9756	0,9533	0,94684
MODAL	81	0,028306	0,97566	0,95352	0,95145

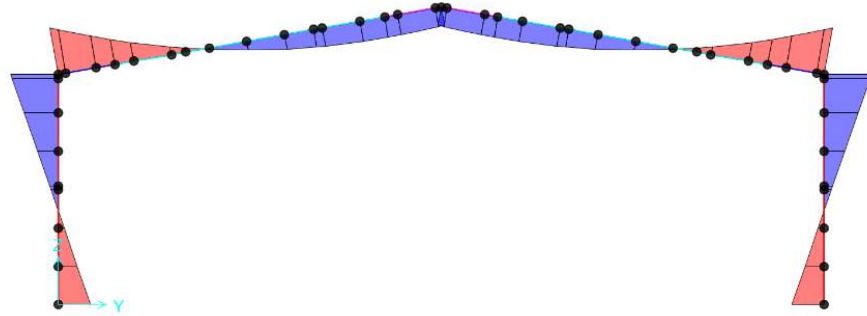
4.1.2. Endüstri yapısı moment ve kuvvet diyagramları

Çalışmaya esas alınan endüstri yapı modellerinin çerçeve elemanlarının tasarımı birleşik etkiler altında, yük ve dayanım katsayıları yöntemine (YDKT) göre yapılmıştır. Buna göre her üç il ve üç açıklık için tasarımda kar ve rüzgâr yükleri etkili olmuştur. Tasarımda etkili yük durumlarına ait moment ve eksenel kuvvet diyagramları Antalya ilinde konumlanan 20 m açıklıklı 10°, 20° ve 40° çatı eğim açısına sahip modeller için verilmiştir.

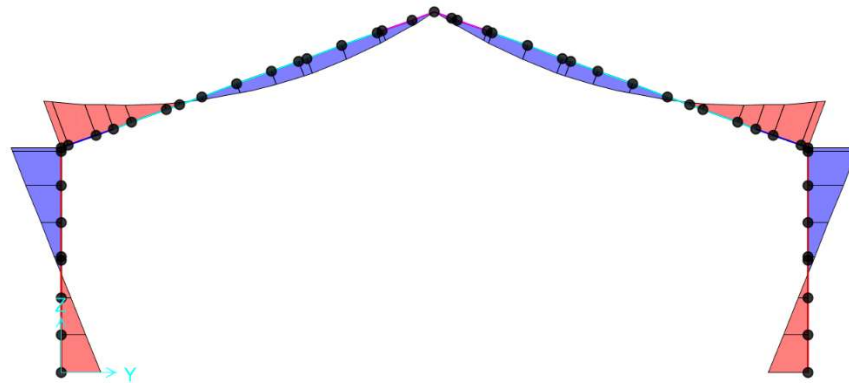
M3-3 moment diyagramları incelendiğinde;

- Ölü (zati) yük için genel olarak çatı eğim açısının 10°'den 20° 'ye artması ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde negatif moment, açıklıkta pozitif moment azalmaktadır. Mahyada ise pozitif moment azalarak sifıra yaklaşmakta veya yön değiştirerek negatif olmaktadır. Açının 20°'den 40°'ye artması ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde negatif moment bir miktar azalmakla birlikte birbirine yakın değerler almaktadır. Açıklıkta ise yine pozitif moment birbirine yakın değerler almakta, mahyada ise negatif moment artmaktadır.

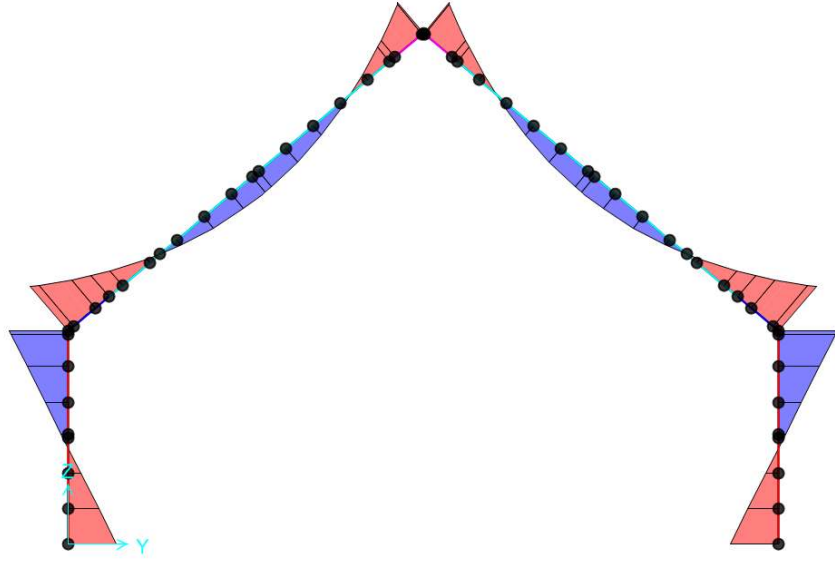
- Kar yükü için genel olarak çatı eğim açısının 10° 'den 20° 'ye artması ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde negatif moment, açıklıkta pozitif moment azalmaktadır. Mahyada ise pozitif moment azalarak sıfıra yaklaşmakta veya yön değiştirerek negatif olmaktadır. Açının 20° 'den 40° 'ye artması ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde negatif moment ve açıklıkta pozitif moment azalmaktadır. Açıklıkta ise negatif moment artmaktadır.
- Rüzgâr yükü için genel olarak çatı eğim açısının 10° 'den 20° 'ye artması ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde pozitif moment azalmakta, açıklıkta pozitif moment artmakta veya bölgeye göre negatif moment azalmaktadır. Mahyada ise negatif moment azalarak sıfıra yaklaşmakta veya yön değiştirerek pozitif olmaktadır. Açının 20° 'den 40° 'ye artması ile kolon-kiriş birleşim bölgesinde pozitif veya negatif moment azalırken, açıklıkta pozitif moment artmıştır. Mahyada ise bölgeye göre pozitif moment azalmakta veya negatif moment artmaktadır. Rüzgâr yüklemesinde kiriş açıklığındaki momentler en büyük değeri almış ve tasarıma etki etmiştir.



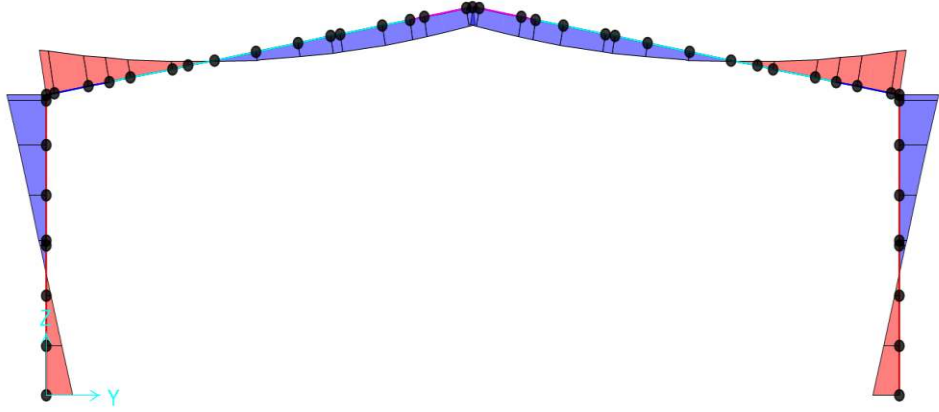
Şekil 4.1. Ölü yük altında M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)



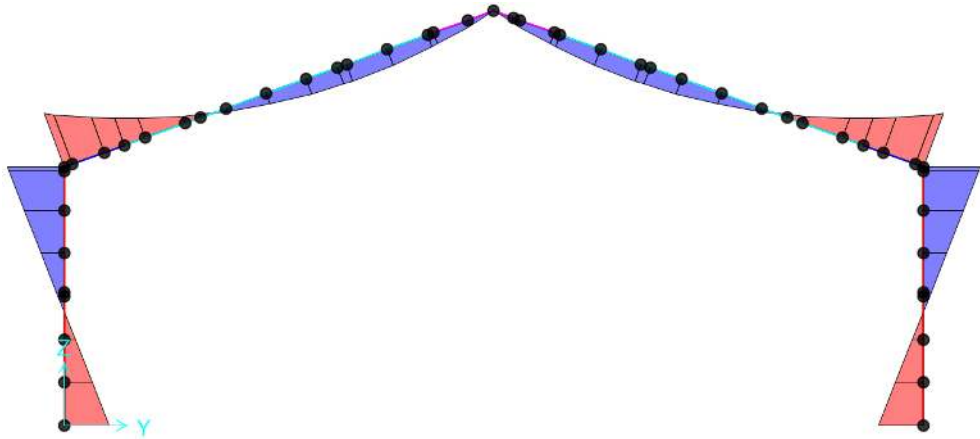
Şekil 4.2. Ölü yük altında M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)



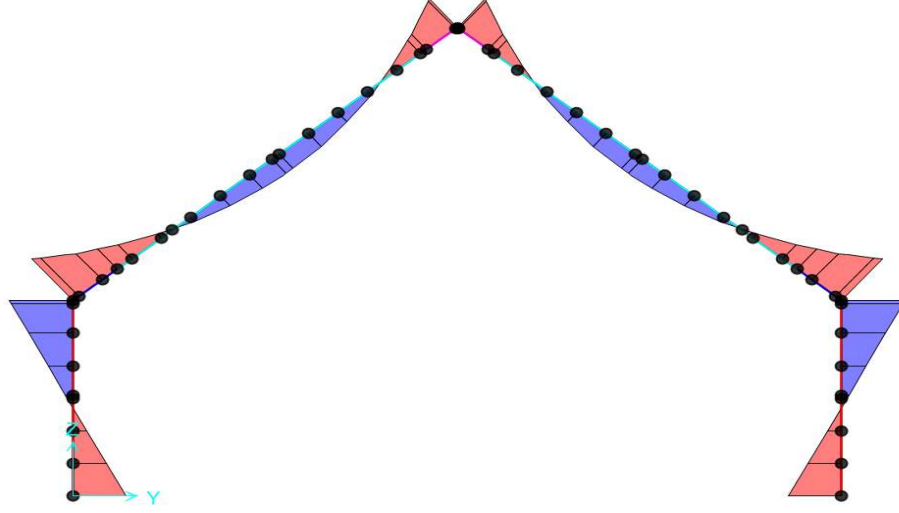
Şekil 4.3. Ölü yük altında M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)



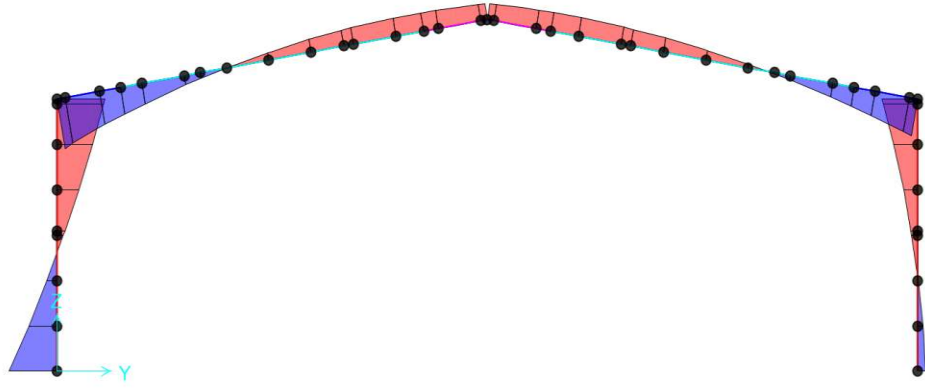
Şekil 4.4. Üniform kar yükün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)



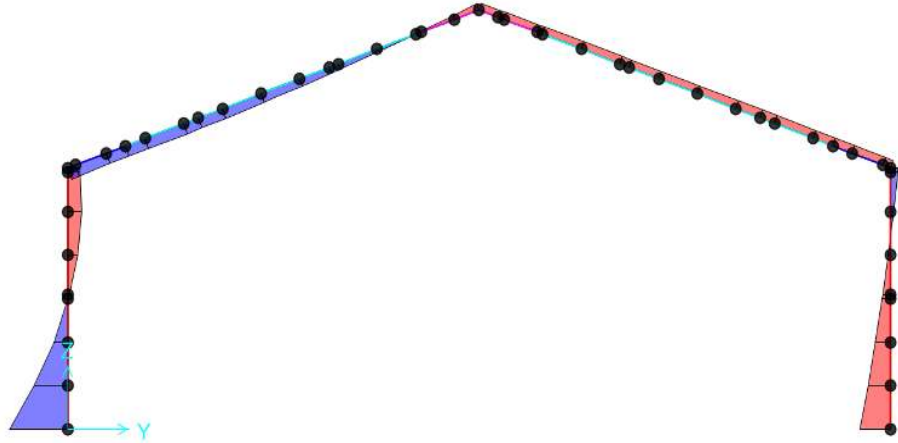
Şekil 4.5. Üniform kar yükün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)



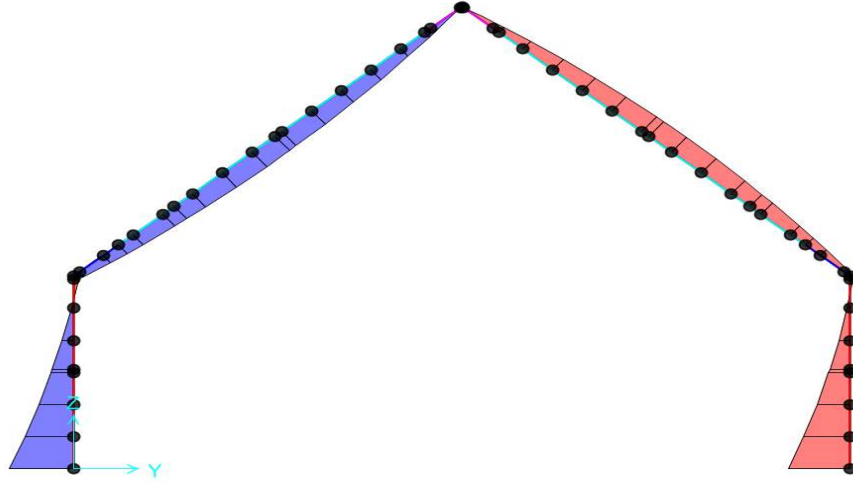
Şekil 4.6. Üniform kar yükün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)



Şekil 4.7. Wy rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)



Şekil 4.8. Wy rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)

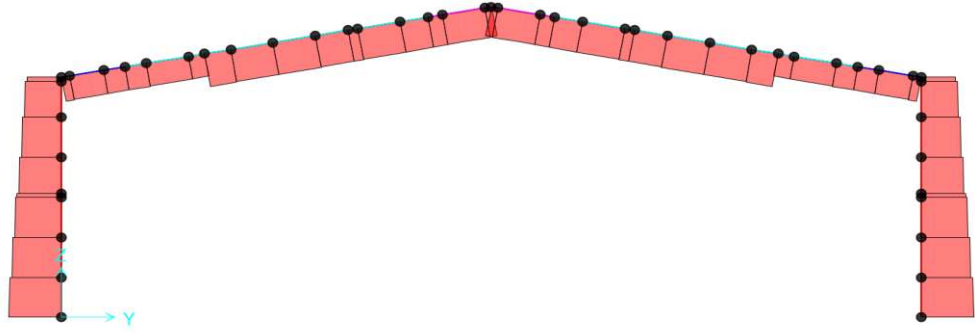


Şekil 4.9. Wy rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)

Antalya ilinde konumlanan 20 m açıklıklı endüstri yapı modeli için ölü yük altında en küçük moment değerleri mahyada 0 kNm ve en büyük moment değeri kolon- kiriş birleşim bölgesinde (guse) 61,3 kNm olmuştur. Düzgün kar yüklemesinde altında en küçük moment değerleri mahyada 10,44 kNm ve en büyük moment değeri kolon- kiriş birleşim bölgesinde (guse) 91,3 kNm olmuştur. Rüzgâr yükü altında en küçük moment değerleri mahyada 0kNm ve en büyük moment değeri kiriş orta bölgesinde 110 kNm olmuştur.

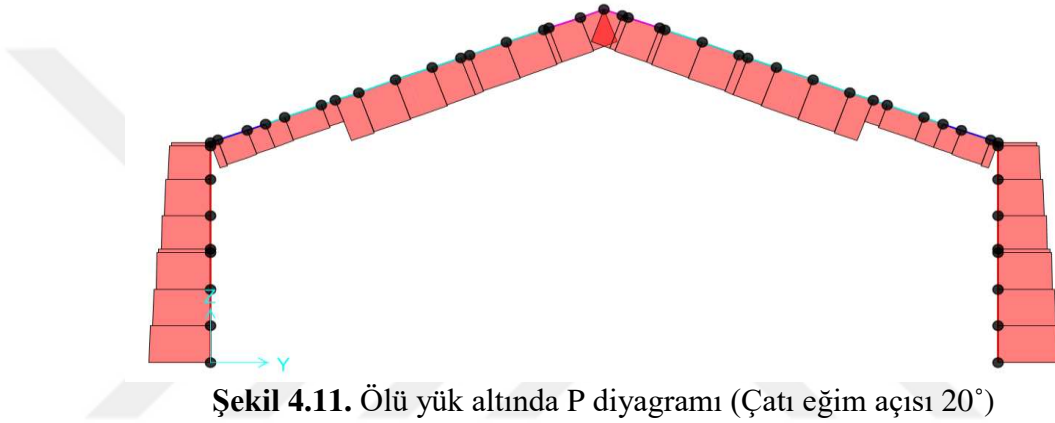
P Eksenel kuvvet diyagramları incelendiğinde;

- Ölü yük altında genel olarak çatı eğimi artmasıyla ya da azalmasıyla birlikte ana kirişler üzerine gelen eksenel yükün çok önemli bir şekilde değişmediği fark edilmiştir.
- En düşük eksenel yükün değerleri -16 kN ve en büyük eksenel yük değeri -38 kN, Ama az olan değişiklik dikkate alındığında 20° olan eğim açısı bize en düşük eksenel basınç yükünü verir, sonraki şekillerde 40° 20° ve 10° çatıların eksenel kuvvetin diyagramları görülmektedir.



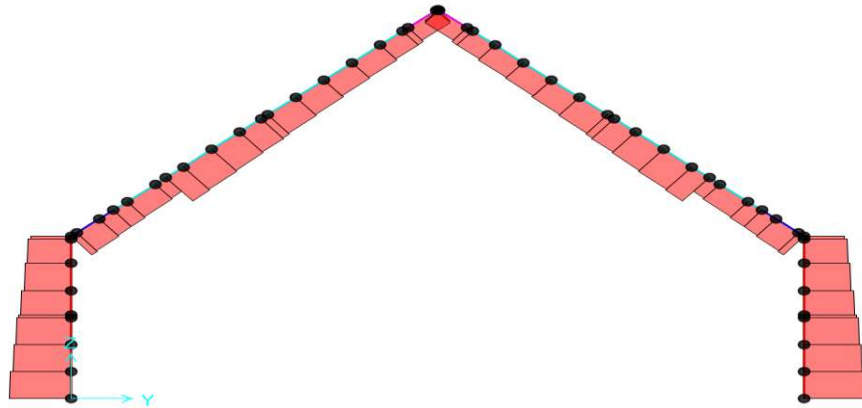
Şekil 4.10. Ölü yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)

Ölü yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük $-27,5$ kN ve min eksenel yükün değeri $-18,8$ kN.



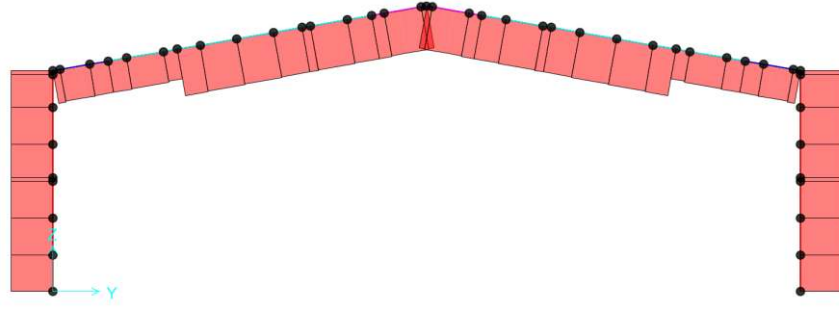
Şekil 4.11. Ölü yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)

Ölü yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük $-29,3$ kN ve min eksenel yükün değeri $-15,6$ kN.



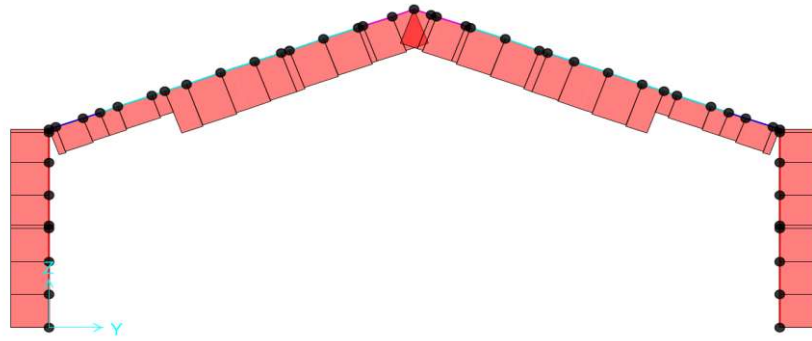
Şekil 4.12. Ölü yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)

Ölü yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük $-28,2$ kN ve min eksenel yükün değeri $-16,9$ kN.



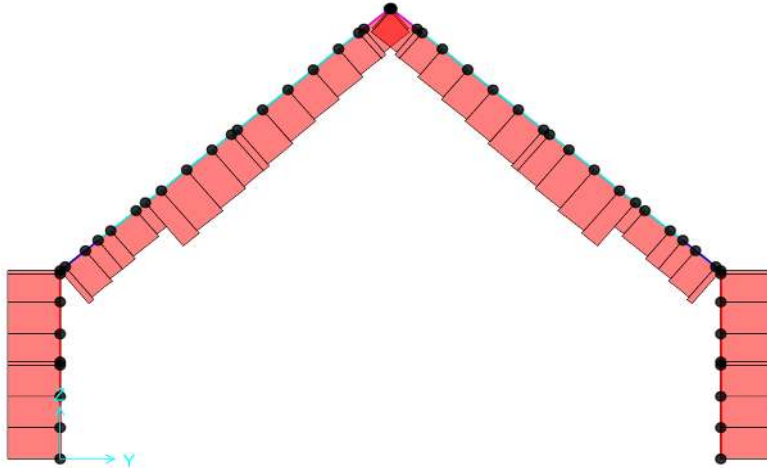
Şekil 4.13. Kar yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)

Kar yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük -42,7 kN ve min eksenel yükün değeri -27,4 kN.



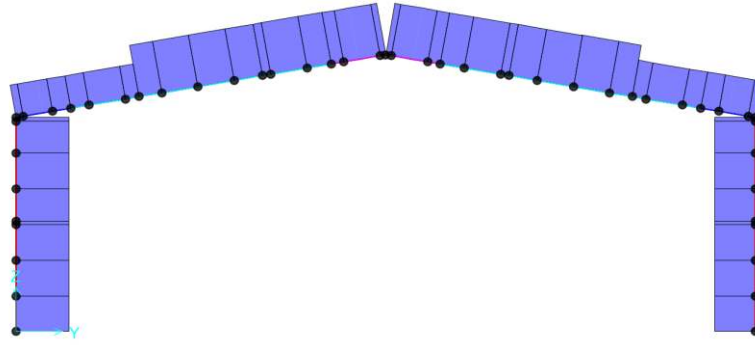
Şekil 4.14. Kar yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)

Kar yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük -45,7 kN ve min eksenel yükün değeri -22,4 kN.



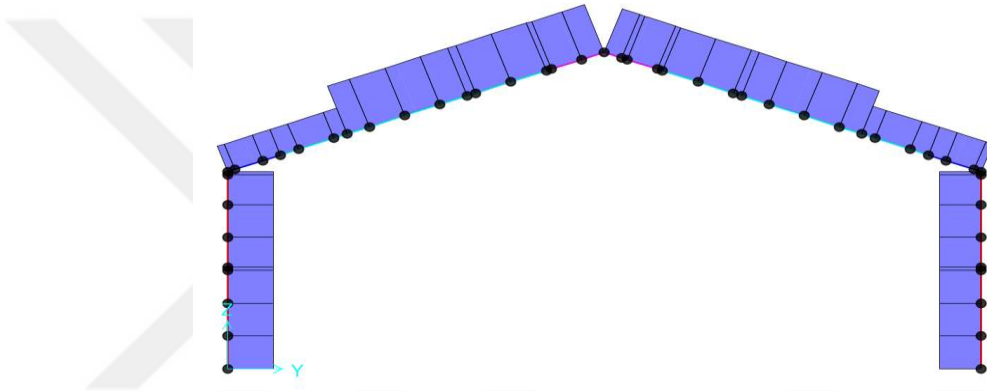
Şekil 4.15. Kar yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)

Kar yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük -29,8 kN ve min eksenel yükün değeri -16,4 kN.



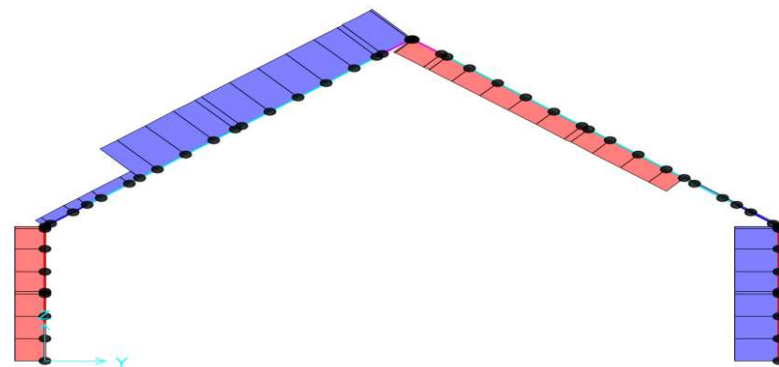
Şekil 4.16. Rüzgâr yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 10°)

Rüzgâr yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük 48,8 kN ve min eksenel yükün değeri 30,7 kN.



Şekil 4.17. Rüzgâr yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 20°)

Rüzgâr yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük 38,8 kN ve min eksenel yükün değeri 20,7 kN.



Şekil 4.18. Rüzgâr yük altında P diyagramı (Çatı eğim açısı 40°)

Rüzgâr yük etkisinde çatı ana kiriş elemanında oluşan max eksenel yük 18,8 kN ve min eksenel yükün değeri 4,3 kN.

Üniform kar yükü: min eksenel yük değerleri -16,4 kN ve max değeri -45,7 kN sistem üzerine gelen üniform kar yüklemesinden oluşan eksenel yükler sistem

Sistem üzerine gelen rüzgâr yönünün değişmesiyle birlikte, elemanların üzerine gelen eksenel yükün değişmesine neden olmaktadır, yani W_y yönünden gelen rüzgârdan dolayı ana kirişler üzerinde basınç yükü varken W_x yönünden gelen rüzgârdan dolayı ana kirişler üzerine çekme yükü oluşmaktadır. Bu nedenden dolayı analizlerde hem W_x hem de W_y rüzgâr yüklerinin dikkate alınması gerekmektedir ve çatı eğim açısı artmasıyla birlikte çatı ana kirişlerinde oluşan çekme yükü azaltılmaktadır.

Bu bölümde yapılan yer değiştirme kontrolü çalışması kapsamındaki tüm endüstri yapılarının üzerine uygulanmıştır. Yer değiştirmeler 20m açıklıklı ve çatı eğim derecesi 20° olan endüstri yapısı üzerinde detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

Düşey yer değiştirme kontrolü ÇYTHYEEY 15.1.not (a)'ya göre $G+0,3S$ kombinasyonu altında kontrol edilmesi gerekmektedir ve düşey yer değiştirme sınırı ÇYTHYEEY 15.2'ye göre $L/300$ değerinden az olmalıdır.

The screenshot displays a structural analysis software interface. A central pop-up window titled "Joint Displacements" shows the following data:

Joint Object	591	Joint Element	591
Trans	2,189E-04	0,	-0,02194
Rotn	0,	2,338E-04	0,

The background shows a structural model of a bridge with a central span and two side spans. A coordinate system with X and Y axes is visible at the bottom left.

➤ Yatay deplasman kontrolü:

Yatay yer değiştirme kontrolü ÇYTHYFY 15.1.not (d)'ye göre G+0,5Q+W kombinasyonu altında kontrol edilmesi gerekmektedir ve yatay yer değiştirme sınırı ÇYTHYFY 15.3'e göre binanın cephe kaplaması ve bina türüne göre kontrol edilmelidir.

Endüstri yapısında yatay yer değiştirme değeri $\delta_y = 7,2$ mm sandviç panel kaplaması için uygun bir değerdir.



şekil 4.20. Yatay yer değiştirme G+0,5Q+W

➤ Etkin görelı kat ötelemenin kontrolü:

$$\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)} = 6,5\text{mm} - 0 = 6,5\text{ mm}$$

$$\text{Etkin görelı kat ötelemesi } \delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \cdot \Delta_i^{(x)} = \frac{4}{1} \cdot 6,5 = 26,0\text{ mm}$$

$$\text{TBDY2018 (D 4.34a)'göre } \lambda \frac{\delta_{i\max}^{(x)}}{h_i} \leq 0,008 \kappa \implies 0,45 \cdot \frac{26,0}{8,73 \cdot 10^3} = 0,00137 < 0,004$$

$$\kappa = 0,5$$

TBDY2018 4.9.1.4

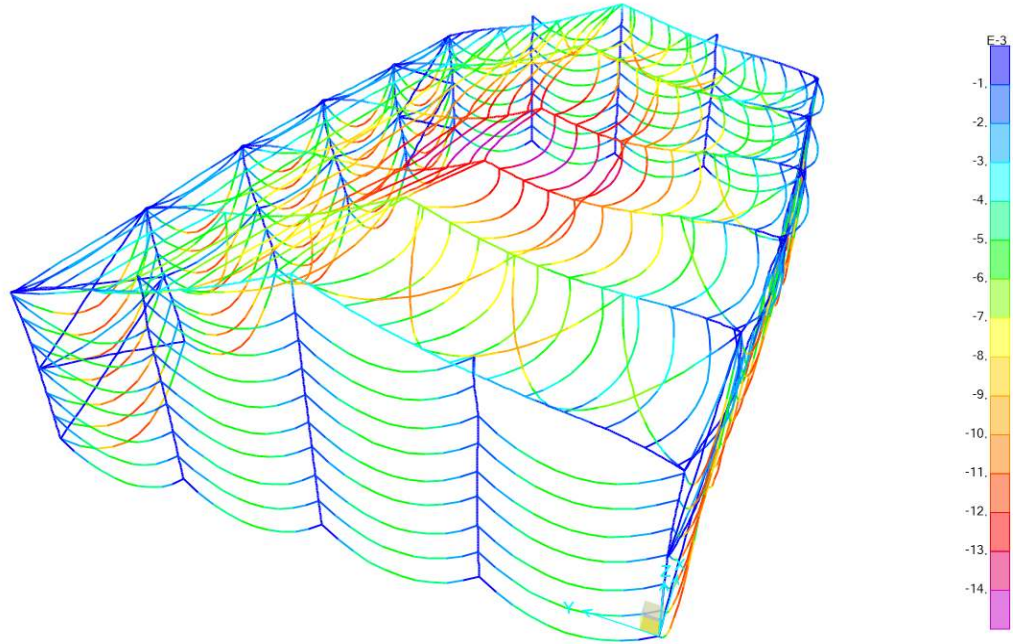
Etkin görelı kat ötelemenin kontrolü güvenliđir.



Şekil 4.21. Ey yatay öteleme şekli

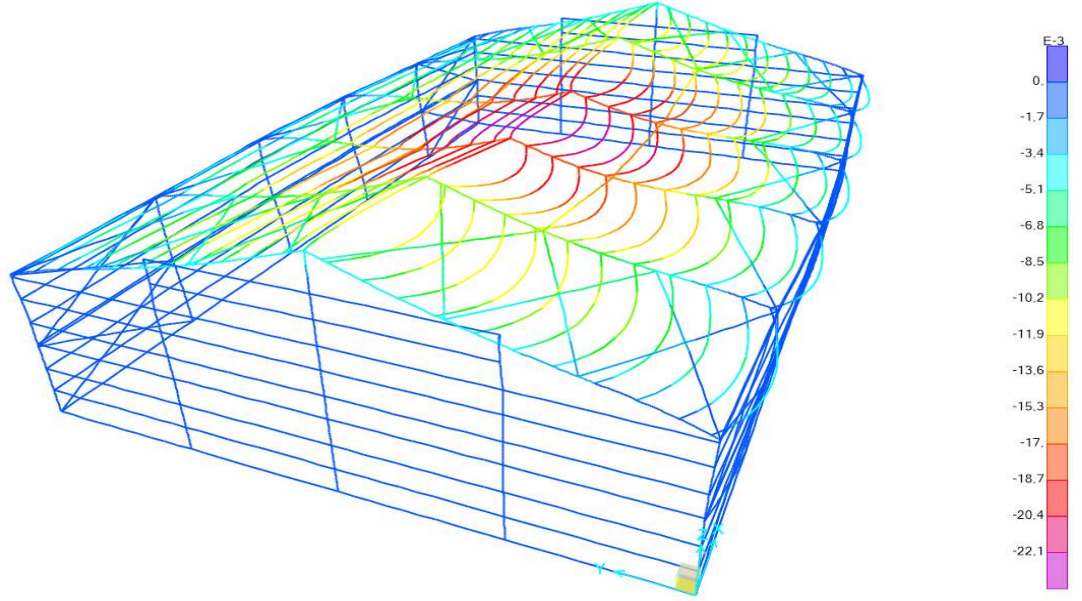
4.1.4. Endüstri yapısı yer değiştirme davranışları

a) Ölü yük yer değiştirme



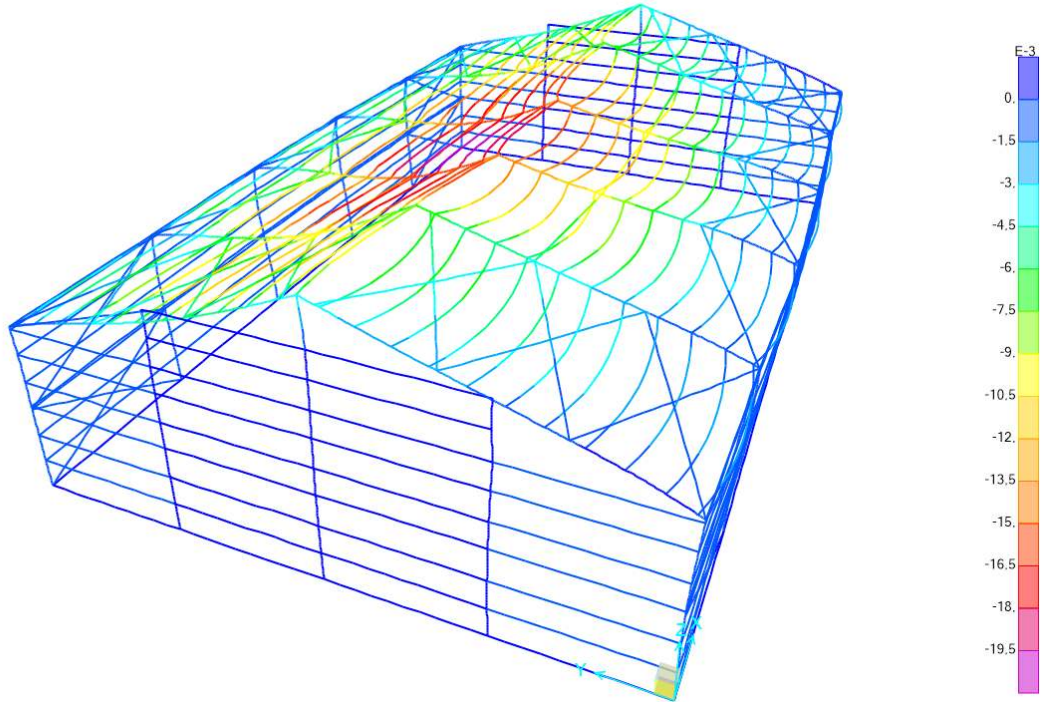
Şekil 4.22. Ölü yük yer değiştirme

b) Kar yükü yer değiştirme, düzgün yayılı yük durumu



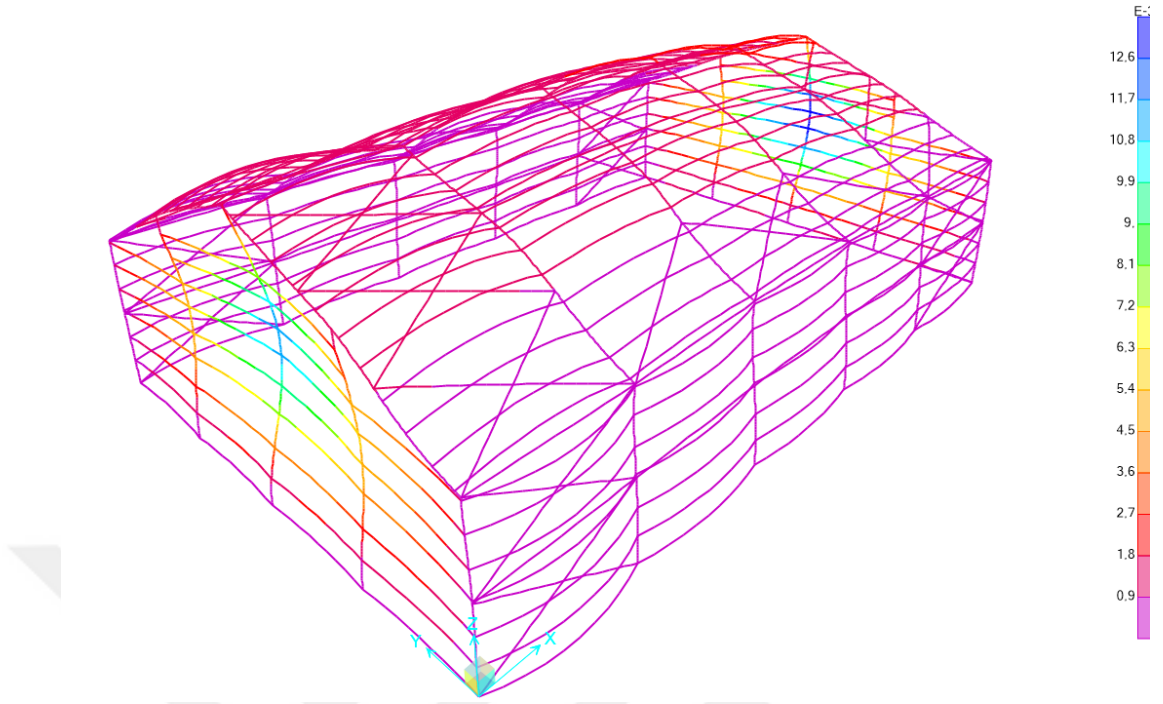
Şekil 4.23. Kar yükü yer değiştirme, düzgün yayılı durumu

c) Kar yükü yer değiştirme, düzgün yayılı olmayan durum



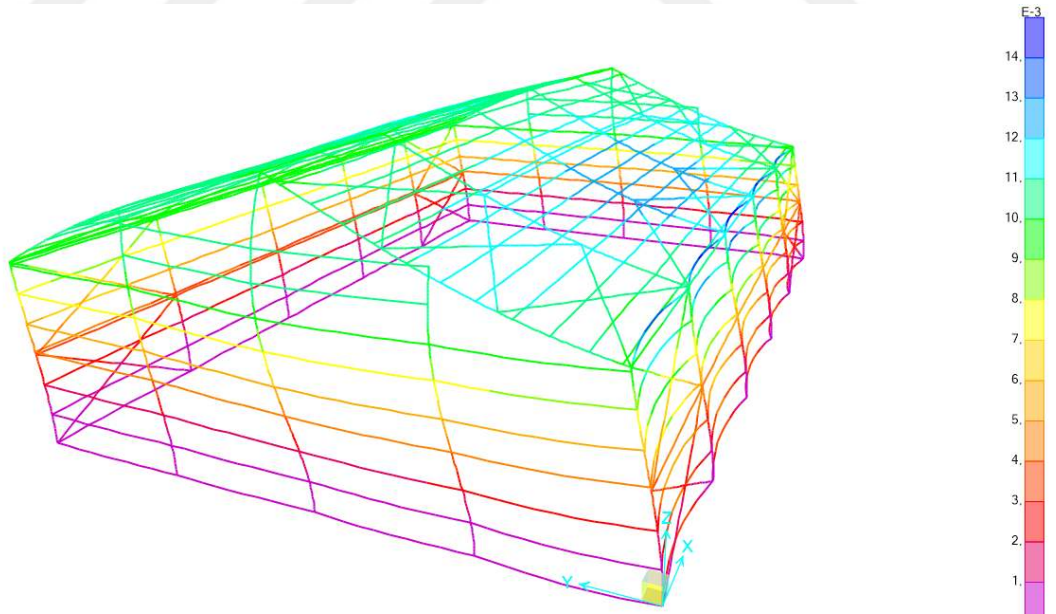
Şekil 4.24. Kar yükü yer değiştirme, düzgün yayılı olmayan durum

d) Rüzgâr x yükü yer değıştirme durumu



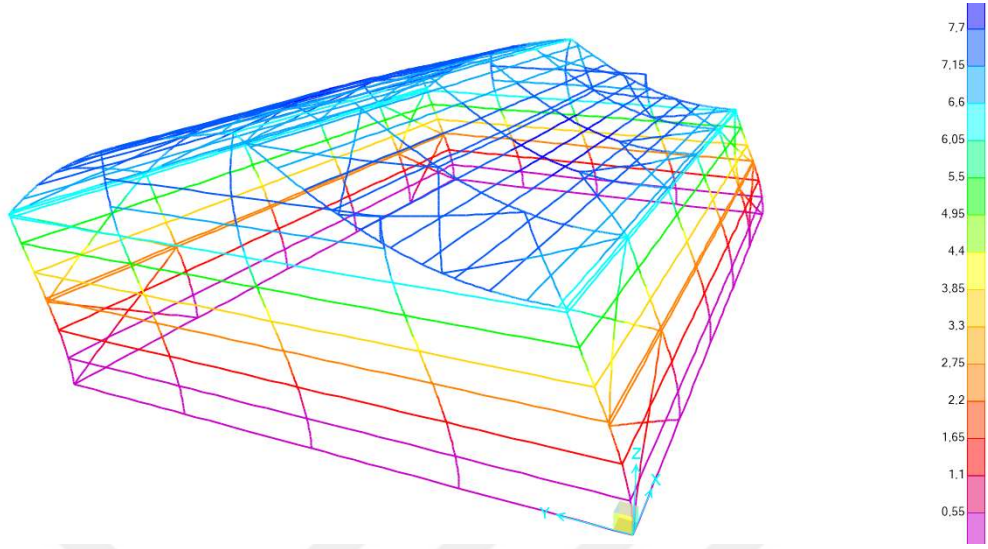
Şekil 4.25. Rüzgâr X yükü yer değıştirme durumu

e) Rüzgâr Y yükü yer değıştirme durumu



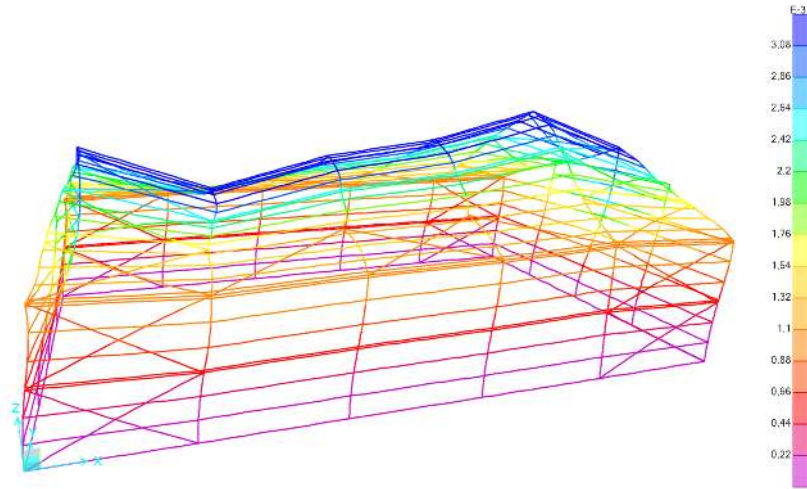
Şekil 4.26. Rüzgâr Y yükü yer değıştirme durumu

f) Ey deprem yükü yer değıştirme durumu



Şekil 4.27. Ey deprem yükü yer değıştirme durumu

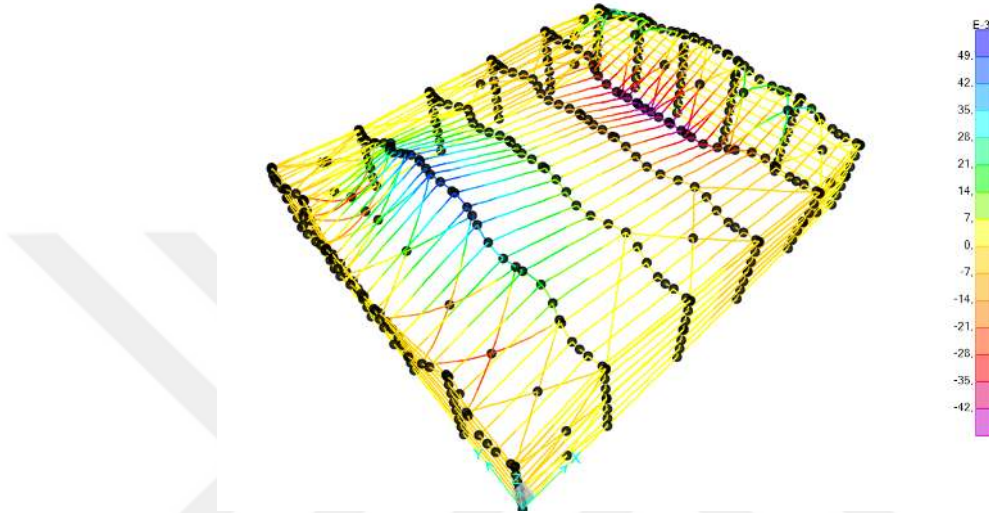
g) Ex deprem yükü yer değıştirme durumu



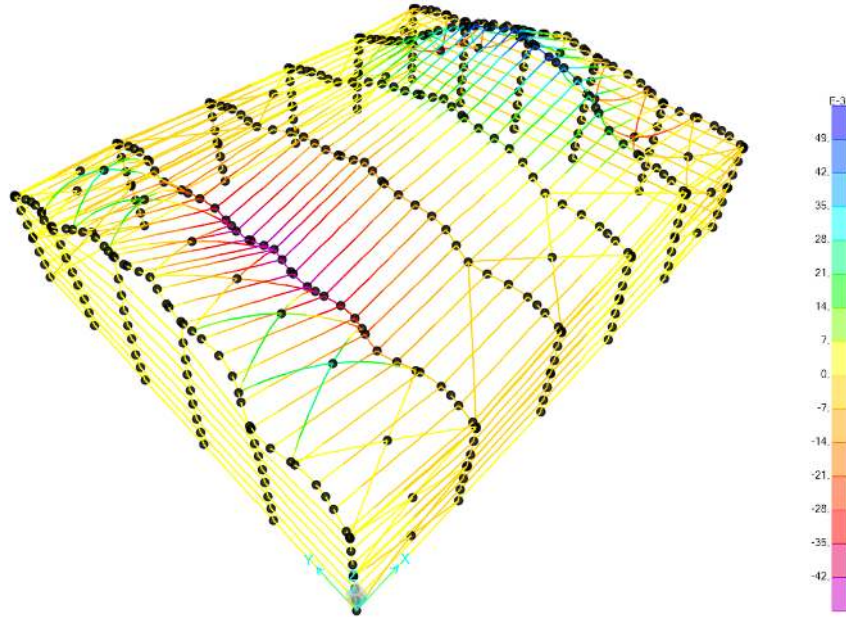
Şekil 4.28 Ex deprem yükü yer değıştirme durumu

4.1.5. Burkulma kontrolü

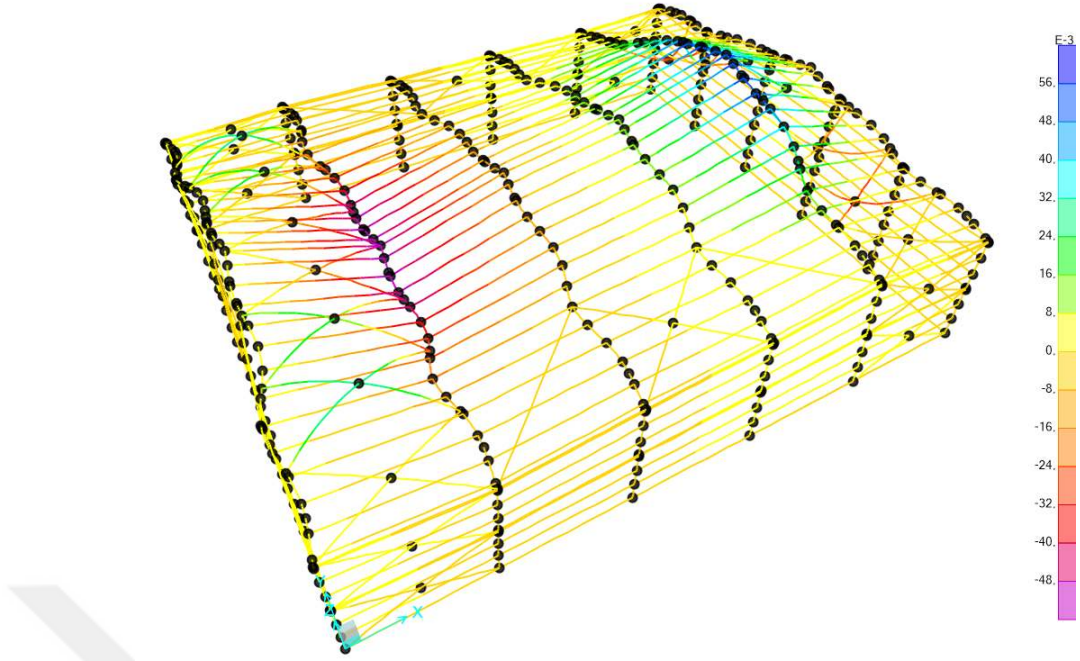
Endüstri yapı modellerinin SAP2000.V24 programı ile burkulma analizleri yapılmış ve burkulma katsayısı hesaplanmıştır. Bu çalışmada Antalya için max 0,75 kN/m² Isparta için 1,07 kN/m² ve Burdur için 0,84 kN/m² birim burkulma yükü sistem üzerine uygulanarak Şekil 4.29 teki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.29. Antalya’da konumlanan 25 m açıklık ve 10° çatı eğime sahip endüstri yapısının 1. burkulma modu (k=14,7)



Şekil 4.30. Isparta’da konumlanan 25 m açıklık ve 10° çatı eğime sahip endüstri yapısının 1. burkulma modu (k=10,36)



Şekil 4.31. Burdur’da konumlanan 25 m açıklık ve 10° çatı eğime sahip endüstri yapısının 1. burkulma modu (k=13,2)

4.1.6. SAP2000.V24 ile tasarım

SAP2000.V24 programı ve AISC 360-16 yönetmeliğin YDKT yöntemine göre kolon, kiriş ve sistemin bütün elemanlarının farklı yük kombinasyonları altında tasarımı yapılmıştır. Tasarım sonuçları ve kapasite kullanım oranları sonraki bölümlerde karşılaştırarak yorumlanmıştır.

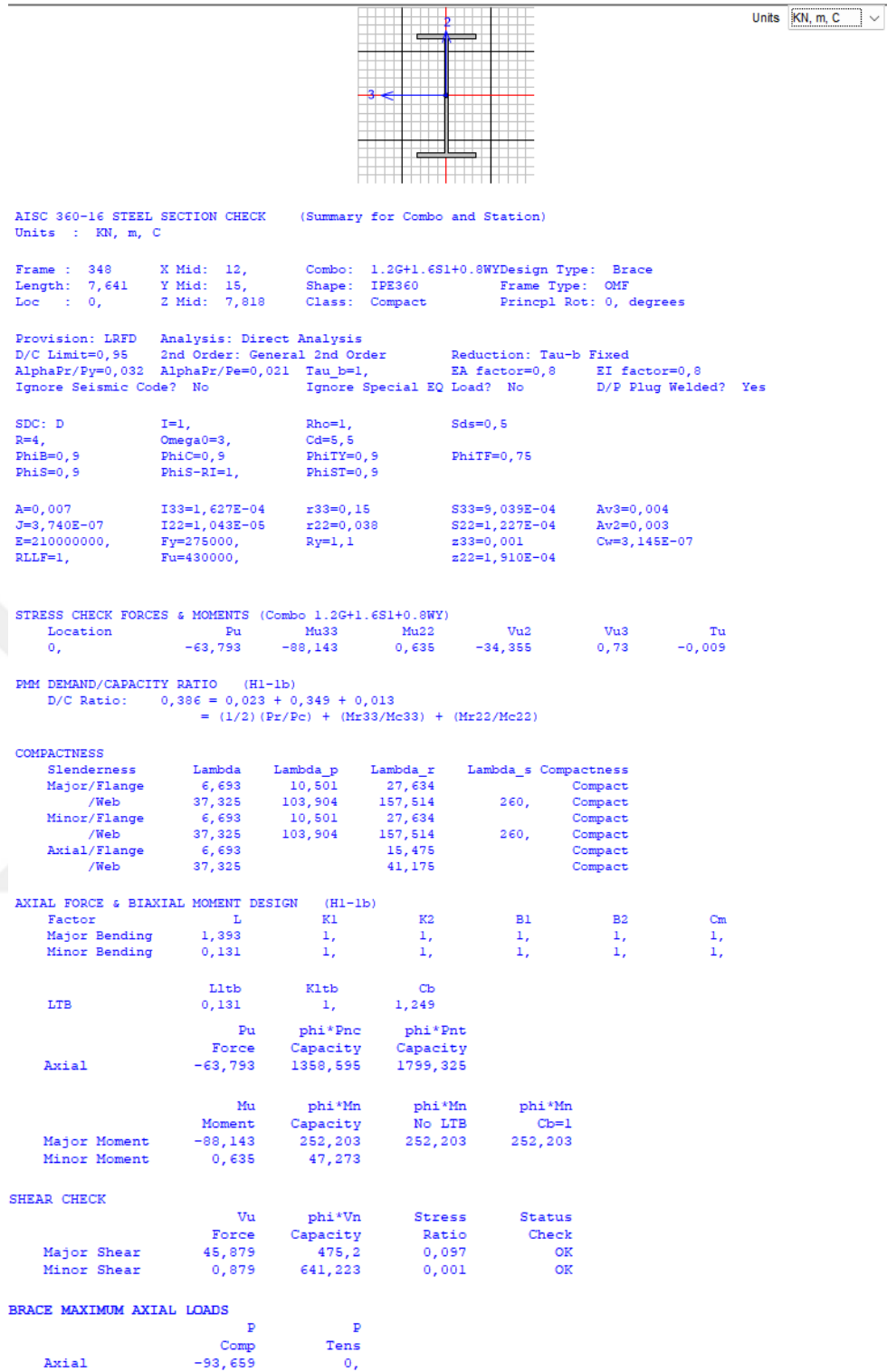
- Yük dayanım katsayılarına göre tasarım

Tasarımda dikkate alınan parametreler sonraki şekilde görüldüğü gibi

1. Tasarım yönetmeliği AISC 360-16- ÇYTHYEEY-2018)
2. Tasarım sünekliği normal sünek sistemler OMF
3. Deprem tasarım sınıfı C
4. Önem katsayısı 1
5. Tasarım Sds değeri 0,6976
6. Deprem azaltma katsayısı R= 4
7. Tasarımda deprem yönetmeliğin kısıtlamaları dikkate alınmıştır.

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	OMF
4 Seismic Design Category	C
5 Importance Factor	1,
6 Design System Rho	1,
7 Design System Sds	0,6976
8 Design System R	4,
9 Design System Omega0	3,
10 Design System Cd	5,5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	0,9
16 Phi(Compression)	0,9
17 Phi(Tension-Yielding)	0,9
18 Phi(Tension-Fracture)	0,75
19 Phi(Shear)	0,9
20 Phi(Shear-Short Webbed Rolled I)	1,
21 Phi(Torsion)	0,9

Şekil 4.32. YDKT tasarım parametrelerinin belirlenmesi



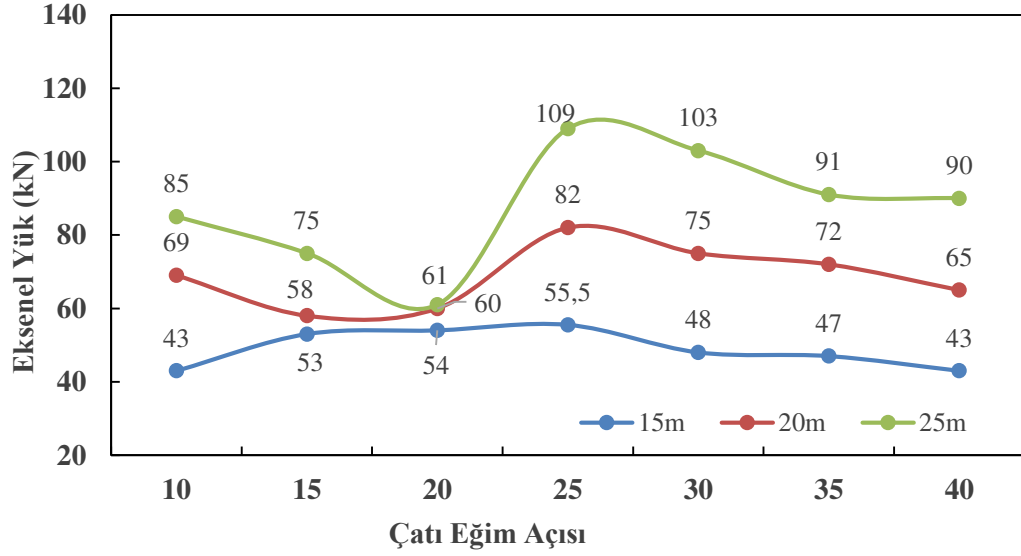
Şekil 4.33. YDKT ana kesit tasarım detayları

SAP2000.V24 ten alınan kiriş hesap detay özetinde kiriş kesitinin eğilme etkisi, eksenel kuvvet etkisi ve kesme kuvveti etkisi altında yük ve dayanım katsayıları yöntemine (YDKT) göre tasarım dayanımları ve bileşik etkiler altında dayanım kontrolü görülmektedir (Şekil 4.33). Tüm yapı modelleri için kontroller gerçekleştirilmiştir.

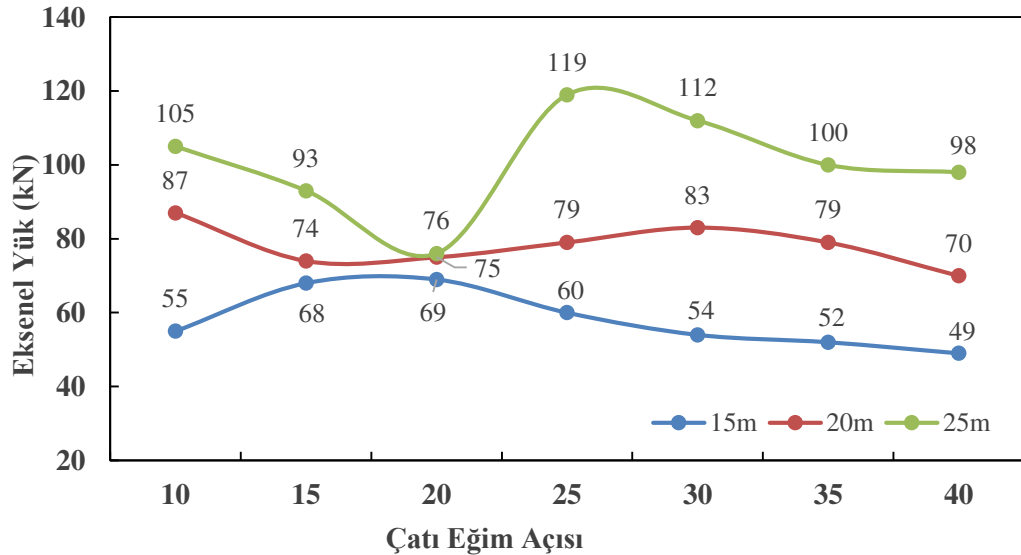
4.2. İç kuvvet ve yer değiştirmelerin incelenmesi

Çalışmaya esas alınan endüstri yapılarında ekonomik tasarıma etken olan iç kuvvet ve değiştirmeler incelenmiş, yapının konumu, açıklığı ve çatı eğim açısı ile ilişkisi grafikler halinde sunulmuştur.

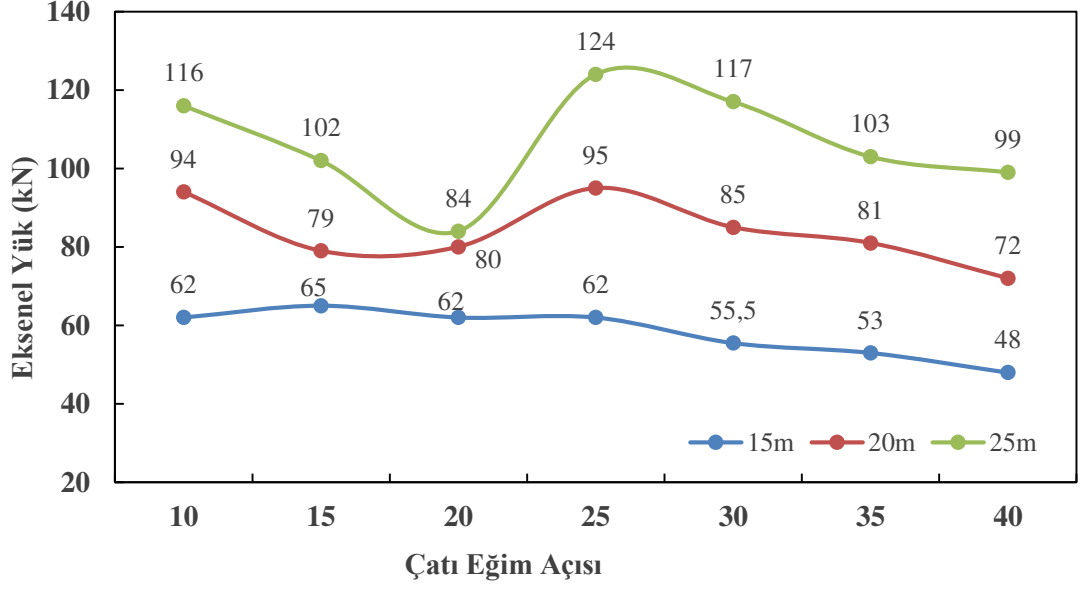
Çelik çerçeve kirişi için tasarıma esas alınan eksenel kuvvet ve moment değerlerinin çatı eğim açısına göre değişimi Şekil 4.34 – 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.34. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerinde oluşan eksenel yük (Antalya)

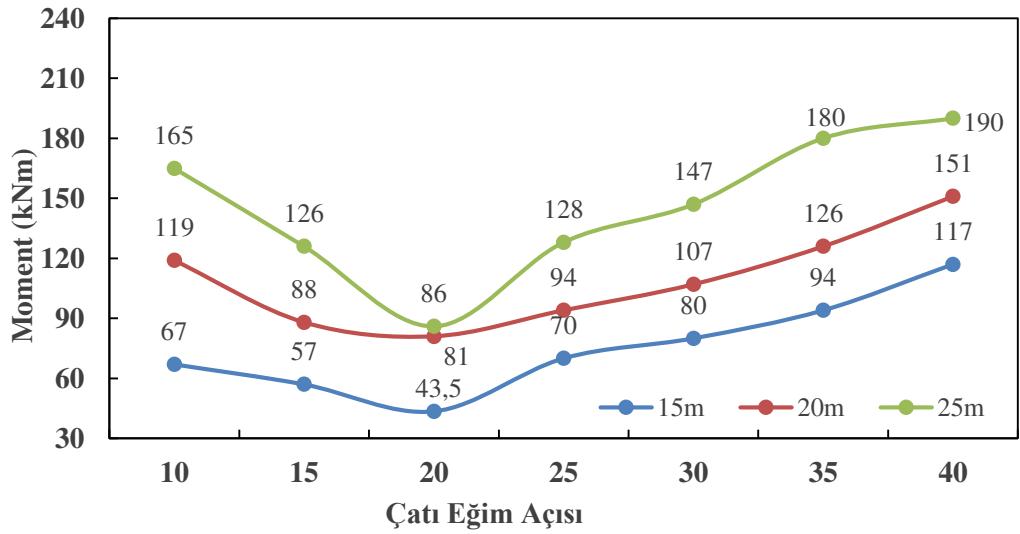


Şekil 4.35. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerinde oluşan eksenel yük (Burdur)

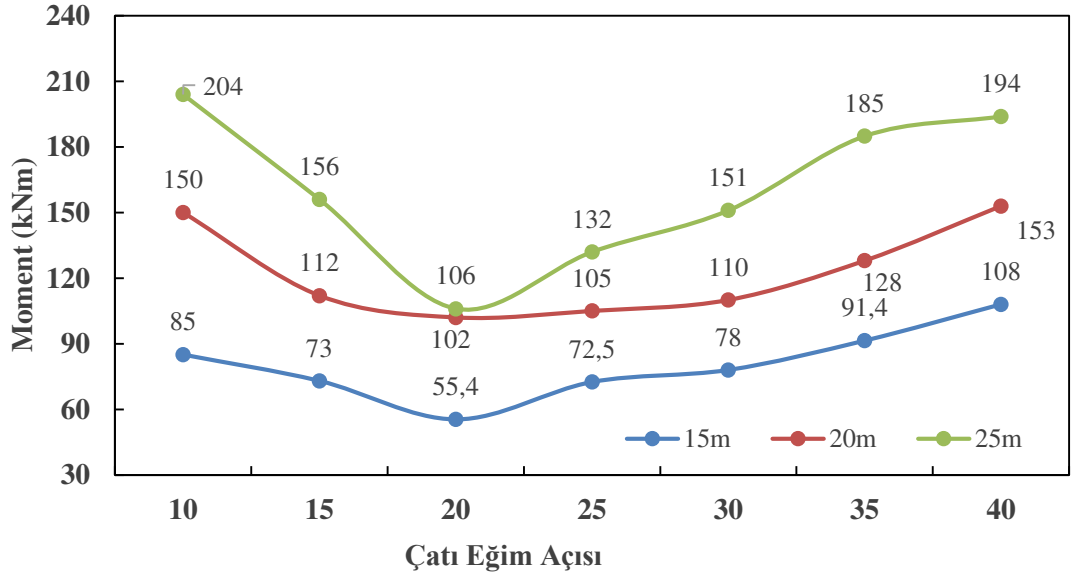


Şekil 4.36. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerinde oluşan eksenel yük (Isparta)

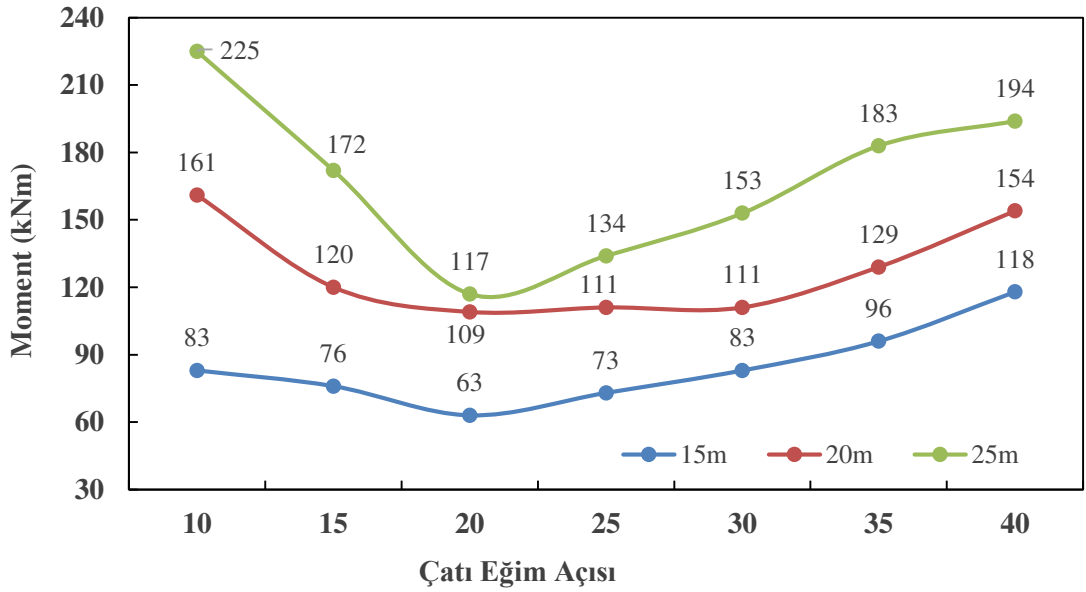
Endüstri yapı modellerine ait ana kiriş üzerinde tasarıma esas eksenel basınç kuvveti değerleri incelendiğinde; her üç ilde 20 ve 25 m açıklıklı modeller için çatı eğim açısı 10°'den 20°'ye artarken eksenel basınç kuvveti azalmakta, 25°'de ise tekrar artmaktadır. 25°'den sonra genel olarak tekrar azalmaktadır. 15 m açıklıklı modelde ise genel olarak 20°'ye kadar eksenel basınç kuvveti artmakta, 20°'den sonra genel olarak azaldığı görülmekle birlikte eğri yatay seyretmektedir. Buna göre eksenel basınç kuvveti bakımından, 15m açıklık için çatı eğiminin önemli bir etkisi görülmezken, 20 ve 25 m açıklık için daha belirgin bir etki görülmektedir.



Şekil 4.37. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerine gelen tasarım moment (Antalya)



Şekil 4.38. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerine gelen tasarım momenti (Burdur)

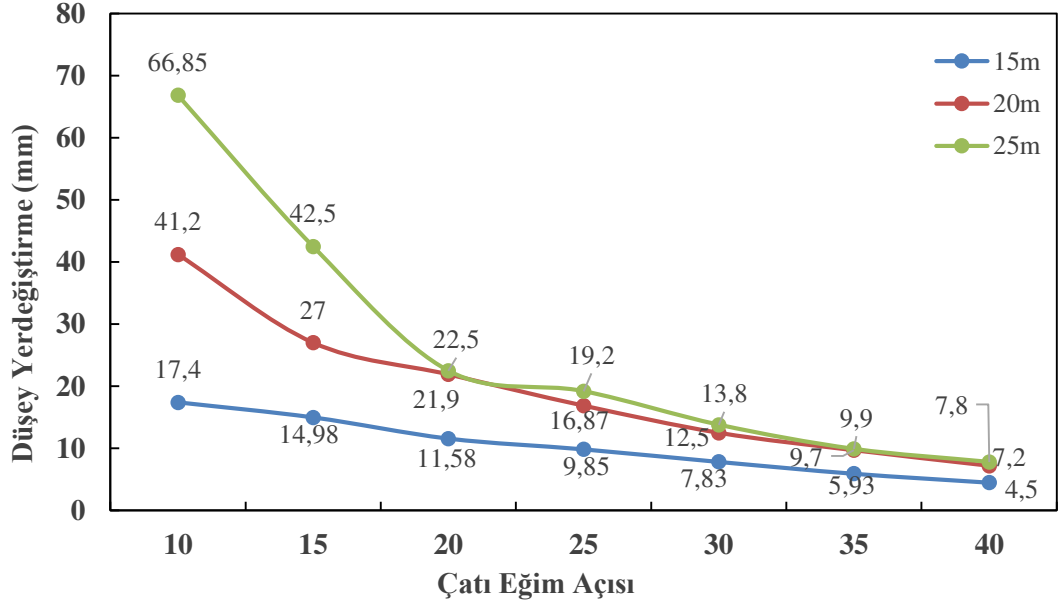


Şekil 4.39. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre ana kiriş üzerine gelen tasarım momenti (Isparta)

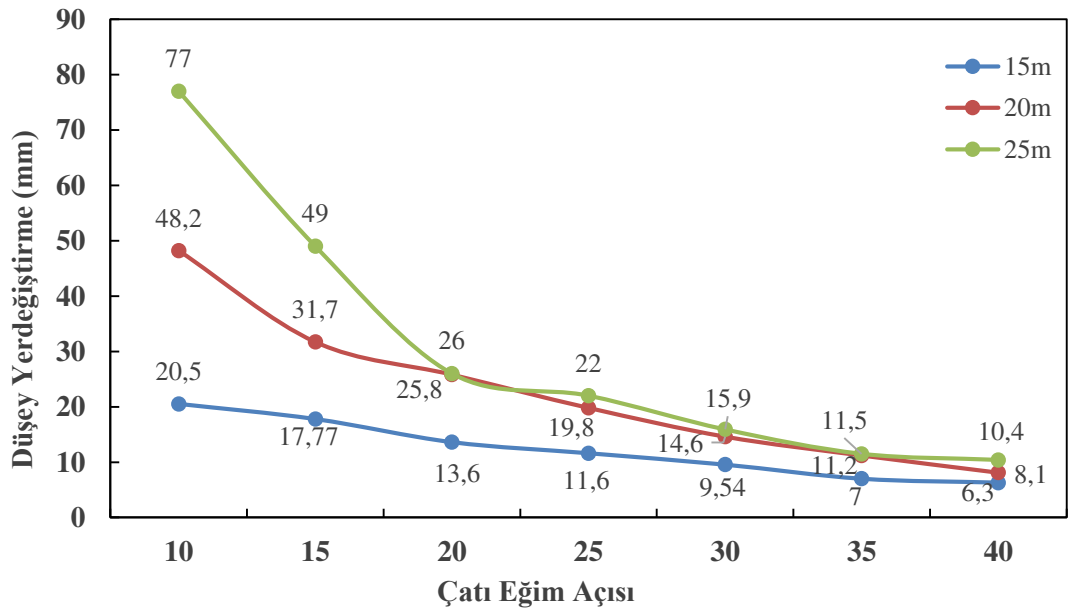
Endüstri yapı modellerine ait ana kiriş üzerinde tasarıma esas moment değerleri incelendiğinde; her üç ilde, her üç açıklık için çatı eğim açısı 10°'den 20°'ye artarken moment değeri azalmakta ve 20° açıda en düşük değere ulaşmaktadır. 20°'den sonra ise tekrar artmaktadır. Bu durumun tasarıma esas yük kombinasyonları ile ilişkili olduğu görülmektedir. 10°-20° çatı eğim açısına sahip modellerde tasarım yük kombinasyonu 1.2G+ 1.6S kombinasyonudur. Buna göre rüzgârın etkisi momenti azaltıcı yönde etkisi

olduğu ve dolayısıyla kar yükü etken olduğu görülmektedir. Çatı eğim açısı 20° - 40° olan modellerde tasarım kombinasyonu $1.2G + 0.5S + 1.6W$ kombinasyonudur. Bu modellerde rüzgâr etkisi artmakta ve kar yükü ile birlikte rüzgâr yükünün de etkisi görülmektedir.

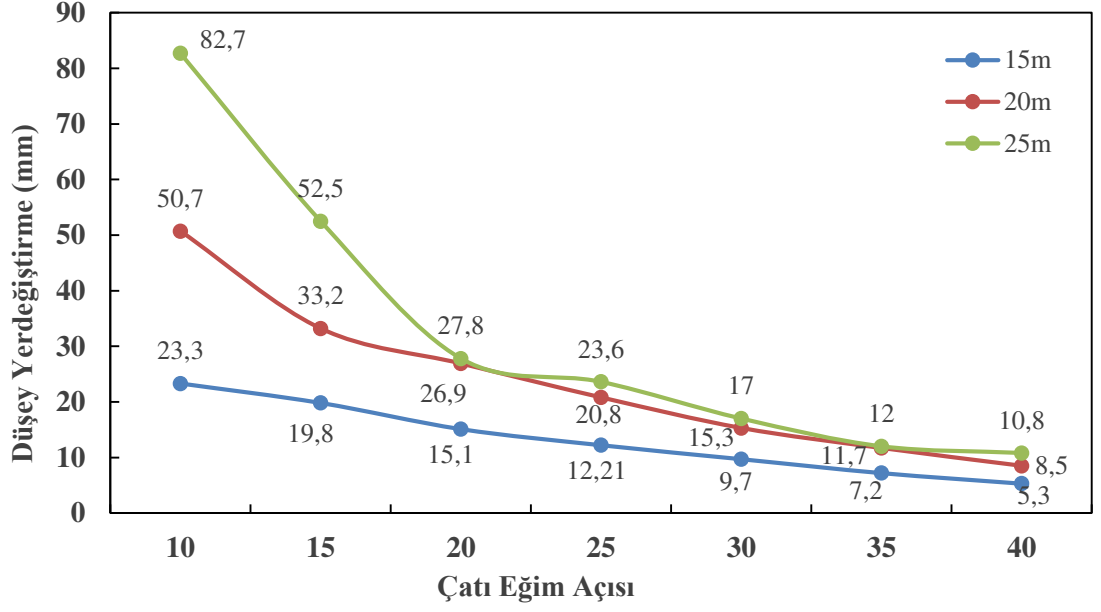
Çelik çerçeve kirişi üzerinde oluşan en büyük düşey yer değiştirme değerlerinin çatı eğim açısına göre değişimi Şekil 4.40_4.42’da verilmiştir.



Şekil 4.40. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre en büyük düşey deplasman (Antalya)



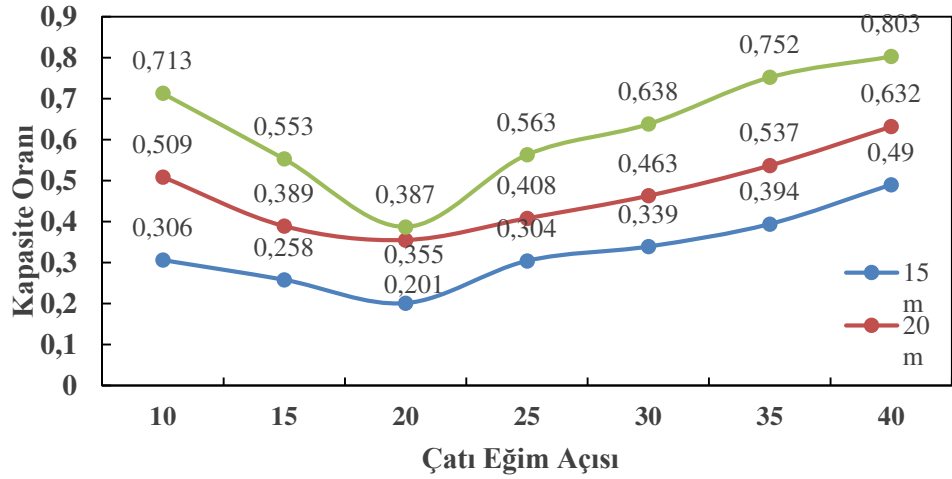
Şekil 4.41. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre en büyük düşey deplasman (Burdur)



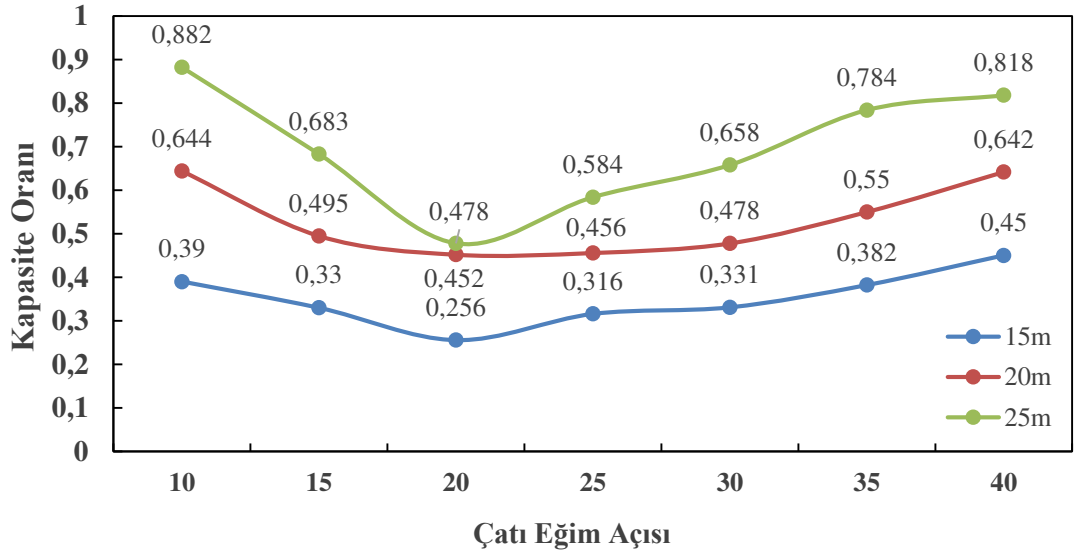
Şekil 4.42. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre en büyük düşey deplasman (Isparta)

Her üç ilde en büyük düşey deplasman değerleri incelendiğinde; 15 m açıklıklı modellerde çatı eğim açısı 10°'den, 40°'ye artarken düşey deplasman azalmakla birlikte yataya yakın bir eğri ile devam etmektedir. 20 ve 25 m açıklıklı modellerde ise en büyük deplasman, çatı eğim açısı 10°'den 20°'ye kadar olan kısımda sert bir düşüşle azalırken, 20°- 40° açılı kısımda azalırken daha yatay bir eğri oluşturmaktadır. Bu durum özellikle 20-25 m açıklıklı modellerdeki düşey yükün etkinliğini göstermektedir.

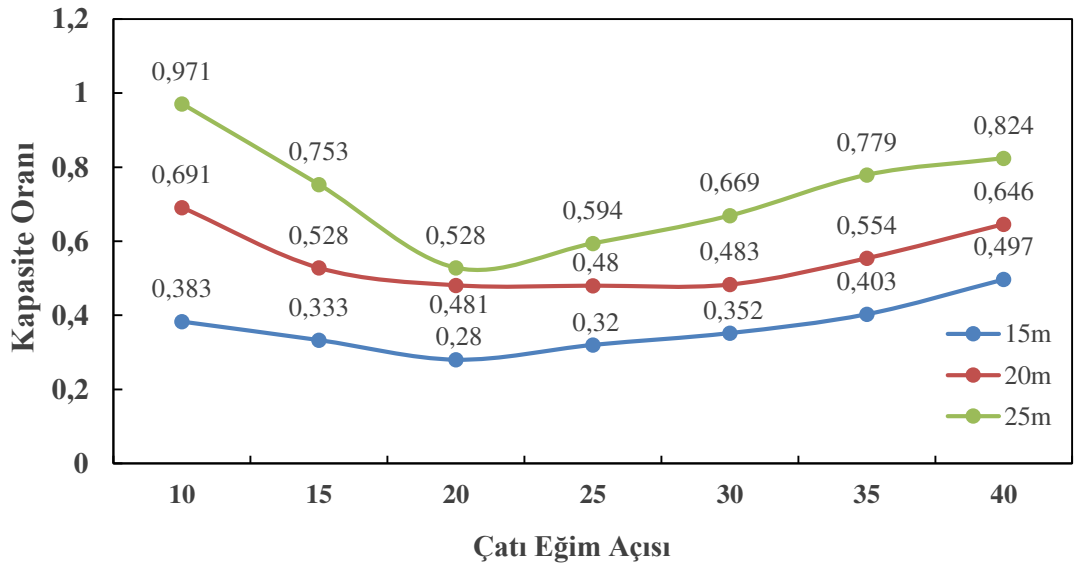
Çelik çerçeve kirişi için tasarım oranlarının (PMM/Kapasite) çatı eğim açısına göre değişimi Şekil 4.43-Şekil 4.45'de verilmiştir.



Şekil 4.43. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre kapasite oranı (Antalya)



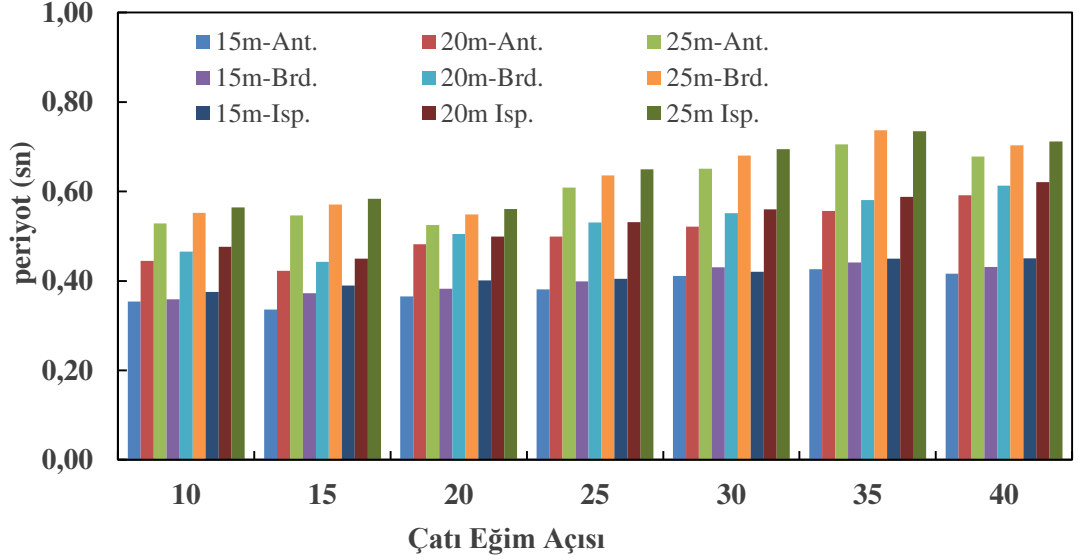
Şekil 4.44. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre kapasite oranı (Burdur)



Şekil 4.45. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre kapasite oranı (Isparta)

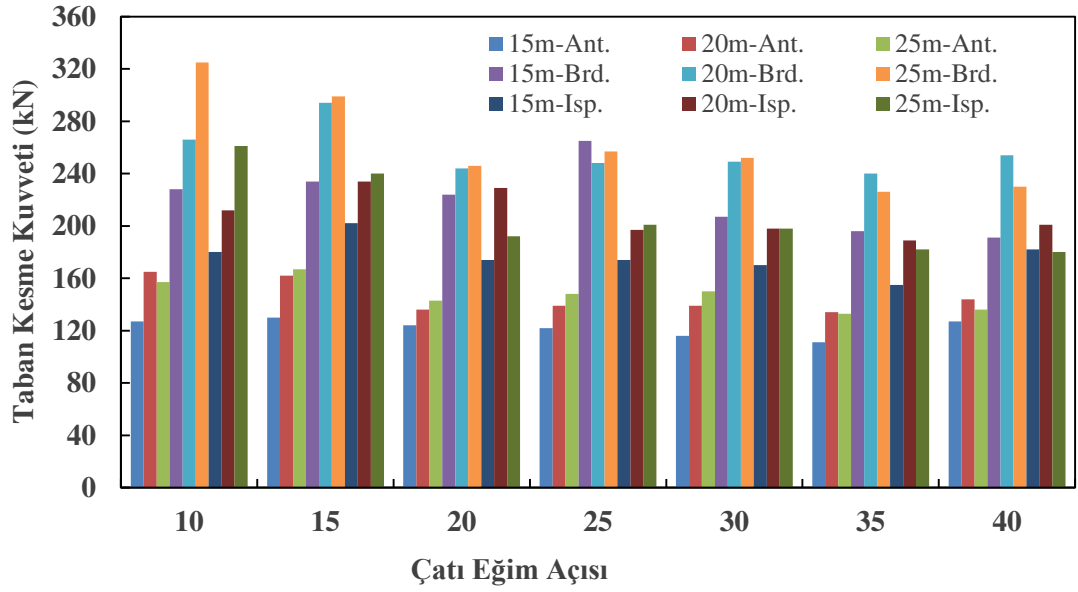
Ana kirişlerin PMM/Kapasite oranları incelendiğinde konuma ve açıklığa göre PMM/Kapasite oranları genel olarak moment değerlerindeki değişim ile paralel gitmektedir. Endüstri yapı modellerinde aynı eleman kesitleri kullanılarak analizler gerçekleştirildiği için en ekonomik tasarıma işaret eden en düşük PMM/Kapasite oranıdır. Buna göre en düşük oranı 20° çatı eğim açısına sahip modellerde görülürken, en yüksek oran Antalya’da tüm açıklıklar için 40°’de, Burdur ve Isparta için ise 15 m açıklık 40°, 20 ve 25 m açıklıklı modeller için 10° açığa sahip modellerde görülmüştür.

Çelik çerçeve sistemin doğal titreşim periyotlarının çerçeve açıklığı, çatı eğim açısı ve konumuna göre değişimi Şekil 4-44'de verilmiştir. Yapı periyotları Antalya ili 15 m açıklık için 0.35- 0.43 sn, 20 m için 0.44-0.55sn ve 25 m açıklık için 0.53-0.71 sn aralığında değişmiştir. Burdur ili 15 m açıklık için 0.35- 0.44 sn, 20 m için 0.44-0.61sn ve 25 m açıklık için 0.55-0.74 sn aralığında değişmiştir. Isparta ili 15 m açıklık için 0.38- 0.45 sn, 20 m için 0.45-0.62sn ve 25 m açıklık için 0.56-0.76 sn aralığında değişmiştir (Şekil 4.46).



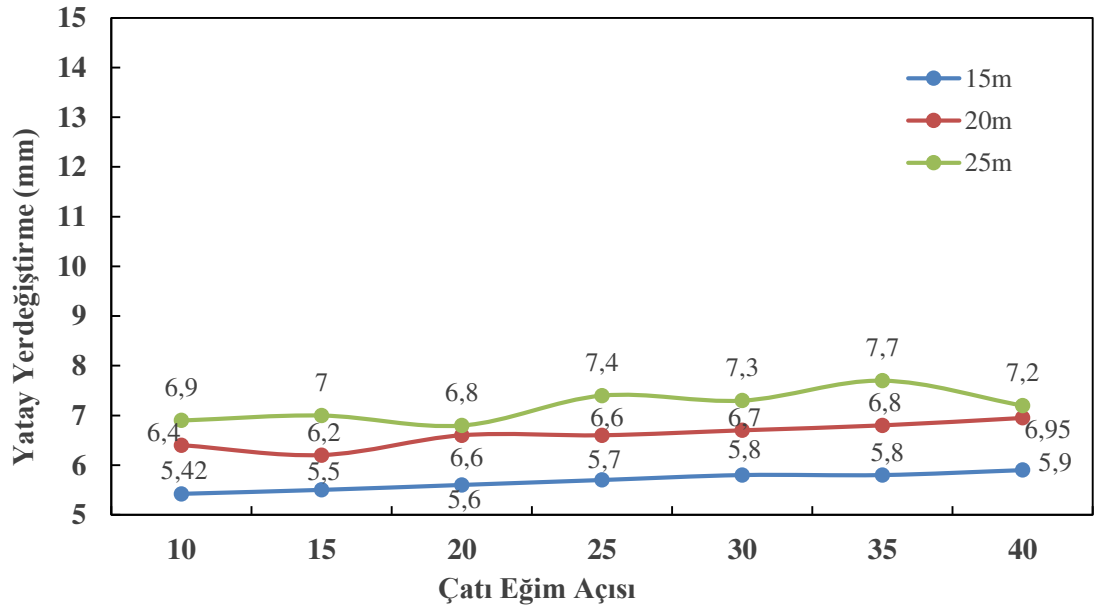
Şekil 4.46. Çalışma yapılan illerde açıklık ve çatı eğim açısına göre yapının titreşim periyot değişimi

Deprem etkisi altında en büyük taban kesme kuvveti sırasıyla Burdur, Isparta ve Antalya'da elde edilmiştir. Ayrıca yapının çatı eğim açısının artmasıyla birlikte yapıya etkileyen deprem taban kesme kuvveti azalmaktadır Şekil 4.47.

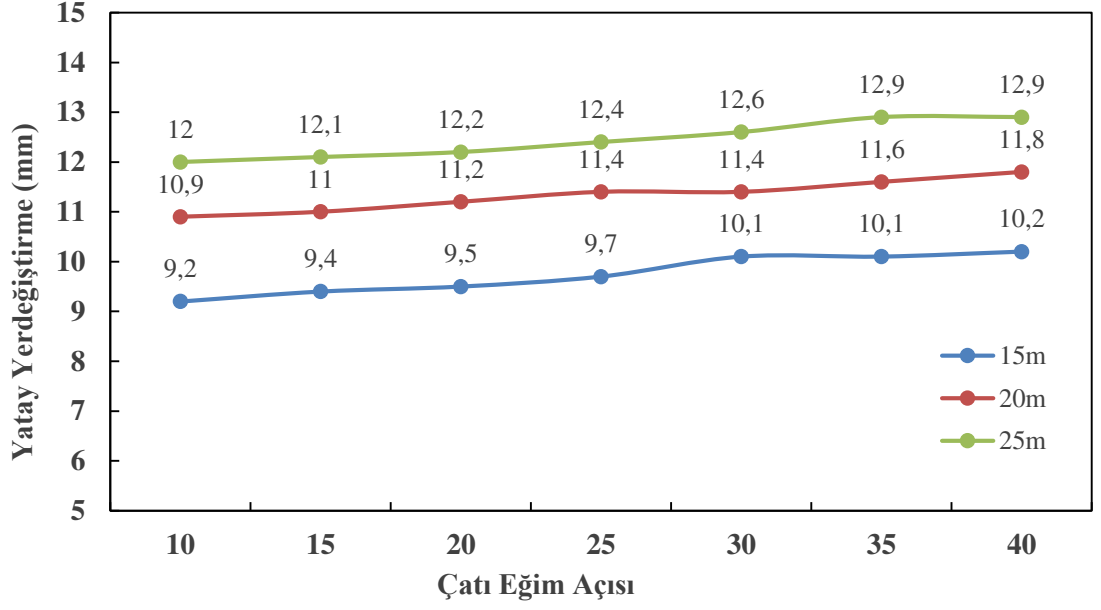


Şekil 4.47. Çatı eğim açısı, konum ve açıklığa göre deprem etkisi altında taban kesme kuvvetinin değişimi

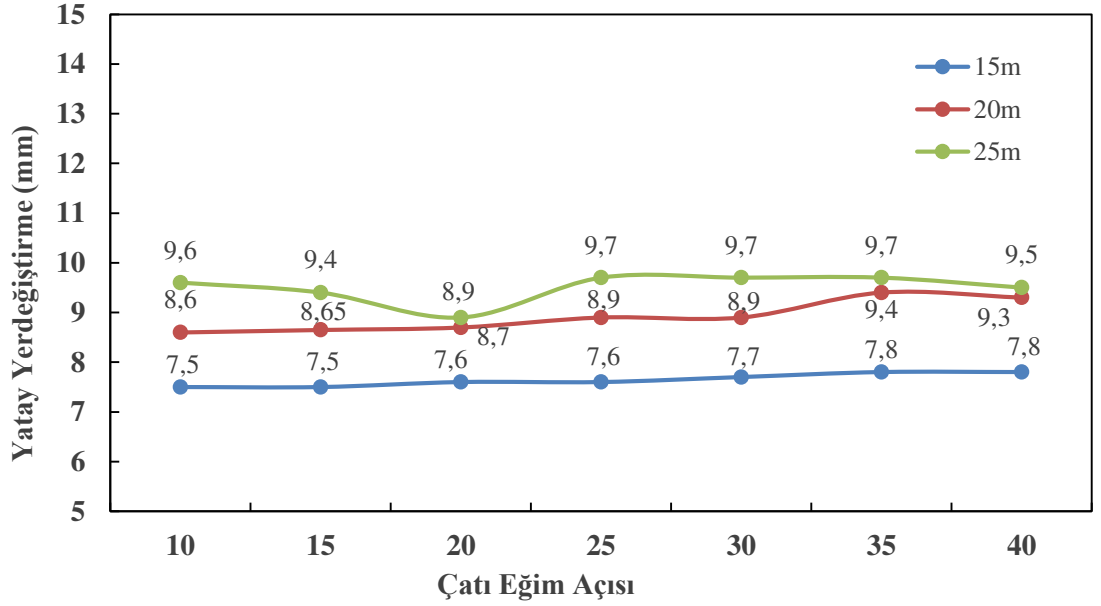
Çelik çerçeve sistemin deprem etkisi altında yatay ötelenmesinin çatı eğim açısına göre değişimi Şekil 4.48 - 4.50’de verilmiştir.



Şekil 4.48. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre sistemde oluşan en büyük yatay yer değiştirme (Antalya)



Şekil 4.49. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre sistemde oluşan en büyük yatay yer değiştirme (Burdur)

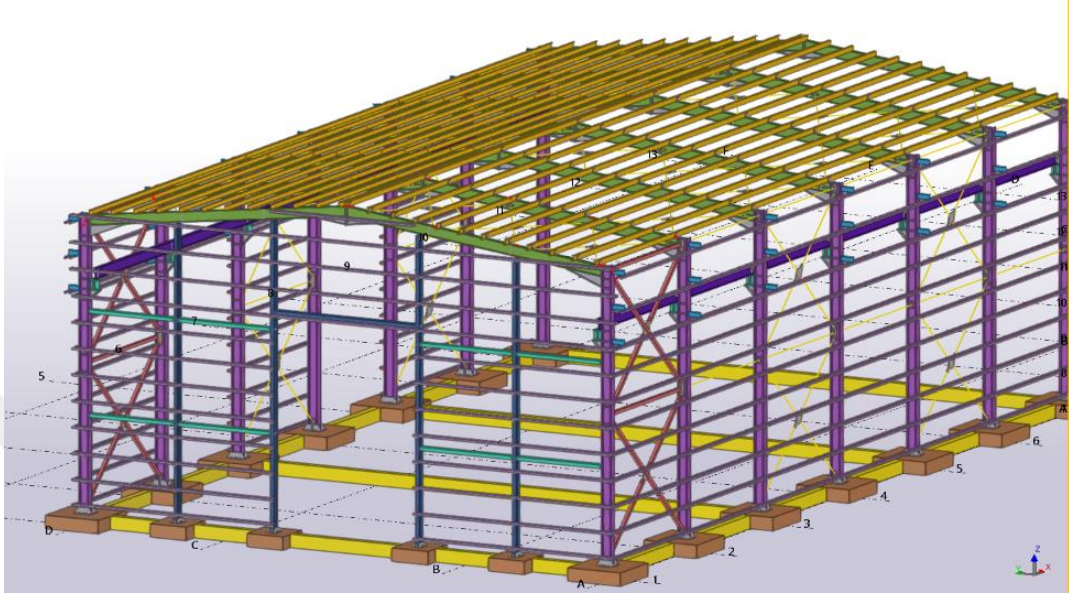


Şekil 4.50. Çatı eğim açısı ve açıklık değişimine göre sistemde oluşan en büyük yatay yer değiştirme (Isparta)

Endüstri yapı modellerinde her üç ilde de yapının açıklığının artmasıyla birlikte yapının yanal ötelemesi artmaktadır. Aynı şekilde yapının çatı eğim açısının artmasıyla birlikte yapının az da olsa yanal ötelemesi artmaktadır. Bunun nedeni yapı ağırlığının ve dolayısıyla yapıya etkiyen deprem yükünün artması olduğu söylenebilir.

4.3. Tasarımın Çelik Malzeme Giderine Etkisi

Çelik endüstri yapı modelleri şekil 4.51’de görüldüğü gibi tüm elemanları ile modellenmiştir. Buna göre her bir açıklık ve çatı eğim açısı için toplam ve birim m² çelik malzeme miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 4.3).



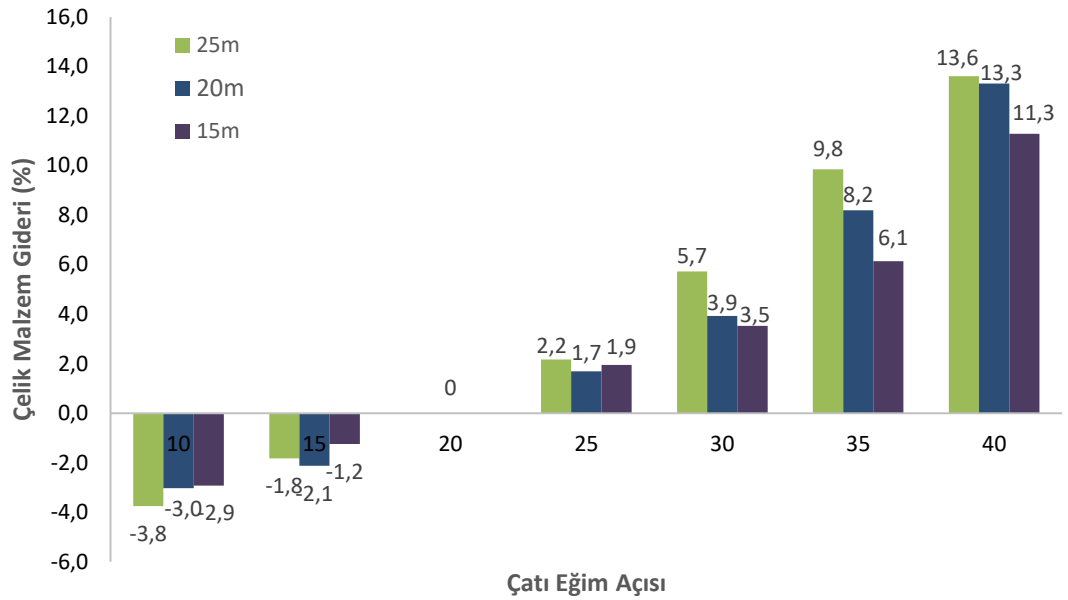
Şekil 4.51. Çelik endüstri yapısının Tekla V20 modeli

Çizelge 4.3. Burdur ilinde konumlanan yapı modeli için çelik malzeme gideri (kg/m²)

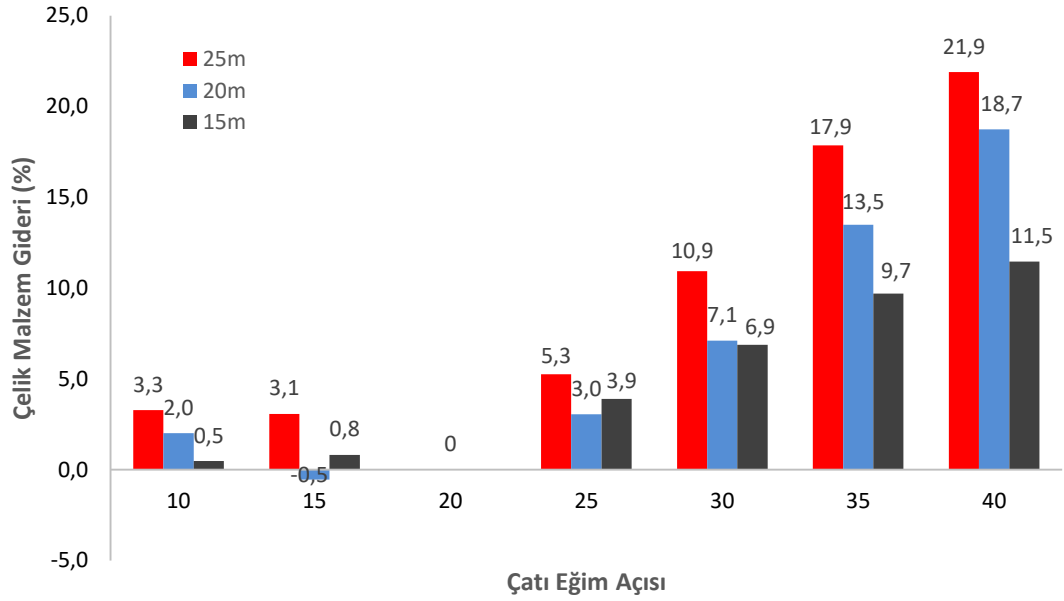
Açıklık	Kesit boyutu	Çatı eğim açısı						
		10	15	20	25	30	35	40
15 m	İlk tasarım	67.0	68.2	69.1	70.4	71.5	73.3	76.8
	Son tasarım	61.0	61.2	60.7	63.1	64.9	66.6	67.6
20 m	İlk tasarım	62.2	62.8	64.1	65.2	66.7	69.4	72.7
	Son tasarım	61.1	59.5	59.9	61.7	64.1	68.0	71.1
25m	İlk tasarım	56.8	58.0	59.0	60.3	62.4	64.8	67.1
	Son tasarım	56.8	56.7	55.0	57.9	61.0	64.8	67.1

Sistem ilk belirlenen tasarım kesitleri ile yani sadece geometrisi bakımından malzeme gideri değerlendirildiğinde çatı eğim açısının artması ile kullanılan malzeme miktarı da artmaktadır. 20° ‘den daha küçük çatı eğim açısına sahip sistemlerde malzeme miktarı ortalama olarak 15m, 20m ve 25m için sırasıyla %2.1, %2.6, %2.8 daha az iken 20°’den daha büyük açılı sistemler için ise sırasıyla % 5.7, % 6.8 ve % 7.8 daha fazladır (şekil 4.50). Bunun nedeni kirişin boyunun uzaması ve aşık gibi çatı elemanlarının sayısının artması olduğu söylenebilir. Ancak tasarım oranları ve iç kuvvet değerleri

incelendiğinde en ekonomik tasarımın 20° çatı eğim açısına sahip modelde olacağı görülmektedir. Bu durum açıklık arttıkça daha belirgin şekilde görülmektedir. 20 m açıklıklı Burdur’da konumlanan modeller için tekrar tasarım yapılmış ve malzeme giderleri hesaplanmıştır. Buna göre kullanılan çelik malzeme miktarları incelendiğinde en düşük malzeme giderinin her üç açıklık için 20 ° çatı eğim açısına sahip modelde elde edildiği görülmektedir (çizelge 4.3). 20°’den küçük eğim açısına sahip sistemlerde kullanılan çelik malzeme miktarı 15m, 20m ve 25 m için sırasıyla ortalama olarak %0.6, %0.7 ve %3.2 artmıştır. 20°’den büyük açılarda ise 15m açıklık için %3,9- 11.5, 20 m açıklık için %3-%18,7 ve 25 m açıklık için %5,3-21,9 arasında değişmiştir. (Şekil 4.52) Açıklık ve çatı eğim açısına göre çelik malzeme giderinin değişimi hem yalnızca geometri değişimi dikkate alan hem de son tasarım durumuna göre grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.53).



Şekil 4.52. Çatı eğim açısına göre geometri değişimden dolayı birim malzeme giderindeki değişim



Şekil 4.53. Tasarımın çatı eğim açısına göre birim malzeme giderindeki değişimi

Ayrıca açıklık arttıkça birim (m^2) malzeme gideri azalmaktadır. Yapı modelleri açıklık bakımından değerlendirildiğinde açıklık arttıkça kapatılan alana kıyasla birim malzeme gideri daha az olmaktadır. Genel olarak, 15 m açıklıklı yapıya göre 20 m açıklıklı yapı için; kapatılan alan %33 artarken birim alana düşen malzeme miktarı ortalama olarak %7 azalmaktadır. 25 m açıklıklı yapı için; kapatılan alan %66 artarken birim alana düşen malzeme miktarı ortalama olarak %14 azalmaktadır. Burdur ilinde konumlanan yapının yeni tasarım kesitlerine göre ise; 15 m açıklıklı yapıya göre birim alana düşen malzeme miktarı ortalama olarak, sırasıyla 20 m açıklıklı yapıda %1,8, 25 m açıklıklı yapıda ise %5,84 azalmaktadır. Buna göre ekonomik tasarım açısından endüstri yapı modelleri 25m, 20 m ve 15 m açıklıklı yapılar şeklinde sıralanmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Batı Akdeniz bölgesinde bulunan Burdur, Isparta ve Antalya illerinde konumlanan üç farklı açıklık ve yedi farklı çatı eğim açısına sahip toplam 63 adet tek katlı çelik endüstri yapı sistemi analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Endüstri yapı sistemlerine ait ana kiriş üzerinde tasarıma esas eksenel basınç kuvvetinin etkisi her üç il için; 20 ve 25m açıklıklı sistemlerde 20° çatı eğim açısında en düşük mertebededir. 15 m açıklıklı yapılarda ise eğim açısı arttıkça eksenel basınç kuvvetinde genel olarak azalma gözlenmektedir.

Endüstri yapı sistemlerine ait ana kiriş üzerinde tasarıma esas moment değerleri ve kapasite oranları incelendiğinde; her üç ilde her üç açıklık için 20° çatı eğim açısına sahip yapı en düşük moment ve kapasite oranı değerine sahiptir. Bu durum tasarıma esas yük kombinasyonları ile ilişkilidir. 10° -20° çatı eğim açısına sahip sistemlerde tasarım yük kombinasyonu 1.2G+ 1.6S kombinasyonu iken, 20° - 40° çatı eğim açısına sahip sistemlerde tasarım kombinasyonu 1.2G + 0.5S+1.6W kombinasyonudur. Buna göre 10°- 20° çatı eğim açısına sahip sistemlerin tasarımında kar yükünün, 20° - 40° çatı eğim açısına sahip sistemlerin tasarımında ise rüzgâr yükünün etkili olduğu görülmektedir.

Analiz edilen tüm yapı sistemleri için en düşük kapasite oranı 20° çatı eğim açısına sahip modellerde görülürken, en yüksek oran Antalya'da tüm açıklıklar için 40°'de, Burdur ve Isparta için ise 15 m açıklık 40°, 20 ve 25 m açıklıklı modeller için 10° açığa sahip modellerde görülmüştür.

Her üç ilde en büyük düşey deplasman değerleri incelendiğinde; çatı eğim açısı 10°'den, 40°'ye artarken düşey deplasman azalmaktadır. Ancak bu azalma 20 ve 25 m açıklıklı sistemlerde çatı eğim açısı 10°'den 20°' ye kadar olan kısımda daha yüksek bir eğimle, 20° - 40° açılı kısımda düşük bir eğimle olmaktadır. Buna göre özellikle 20-25 m açıklıklı sistemler için 20°'den daha küçük eğim açılarında sehim değerinin kritik olacağı söylenebilir.

Deprem etkisi altında en büyük taban kesme kuvveti sırasıyla Burdur, Isparta ve Antalya'da elde edilmiştir. Ayrıca yapının çatı eğim açısının artmasıyla birlikte yapıya etkileyen deprem taban kesme kuvveti genel olarak azalmaktadır. Her üç ilde de yapının açıklığının ve çatı eğim açısının artmasıyla birlikte sistemin yanal ötelemesi artmaktadır. Bu durumun yapı ağırlığının ve dolayısıyla yapıya etkileyen deprem yükünün artması ile ilişkili olduğu söylenebilir.

Analiz edilen sistemlerin malzeme gideri değerlendirildiğinde çatı eğim açısının artması ile kullanılan çelik malzeme miktarının arttığı görülmektedir. Bu durum açıklık arttıkça daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Burdur’da konumlanan kullanılan çelik malzeme miktarları incelendiğinde en düşük malzeme giderinin her üç açıklık için 20 o çatı eğim açısına sahip modelde elde edildiği görülmektedir. 20°’den küçük eğim açısına sahip sistemlerde kullanılan çelik malzeme miktarı 15m, 20m ve 25 m için sırasıyla ortalama olarak %0,6, %0,7 ve %3,2 artmıştır. 20°’den büyük açılarda ise 15m açıklık için %3,9- 11,5, 20 m açıklık için %3-%18,7 ve 25 m açıklık için %5,3-21,9 arasında değişmiştir. Açıklık arttıkça ekonomik tasarım bakımından çatı eğim açısının öneminin arttığı söylenebilir.

Ayrıca açıklık arttıkça birim (m²) malzeme gideri azalmaktadır. Sistemler açıklık bakımından değerlendirildiğinde açıklık arttıkça kapatılan alana kıyasla birim malzeme gideri daha az olmaktadır. Burdur ilinde konumlanan yapının yeni tasarım kesitlerine göre; 15 m açıklıklı yapıya göre birim alana düşen malzeme miktarı ortalama olarak, sırasıyla 20 m açıklıklı yapıda %1,8, 25 m açıklıklı yapıda ise %5,84 azalmaktadır. Buna göre ekonomik tasarım açısından endüstri yapı modelleri 25m, 20 m ve 15 m açıklıklı sistemler şeklinde sıralanmaktadır.

Sonuç olarak çatı eğim açısı çatı tasarımına doğrudan etki eden bir parametredir. Özellikle geniş açıklıklı sistemlerde bu etki daha belirgin olarak görülmektedir. Analiz sonuçları rüzgâr ve kar yüklerinin sisteme en az etkidiği 20° çatı eğim açısı ekonomik tasarım için en uygun açı olduğu göstermektedir.

İleriki çalışmalarda farklı çerçeve sistemleri ve çatı eğimleri için analizler geliştirilebilir.

6. KAYNAKLAR

- ÇYTHYE Çelik Yapıların Tasarım Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Esaslar 2018, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Design Guide AISC 360-16 Specification For Structural Steel Building, American Institutes Of Steel Construction
- Erdal, F. (2016). 'Effect of stiffeners on failure analyses of optimally designed perforated steel beams', *Steel and Composite Structures*, 22: 183-201.
- TS EN 1991-1-4 Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-4 Genel Etkiler – Rüzgâr Etkiler (EUROCODE 1)
- TS EN 1991-1-3 Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-3 Genel Etkiler – Kar Etkiler (EUROCODE 1)
- Venkayya, VB. (1973). "Application of optimality criteria approaches to automated design of large practical structures, AGARD-CPP-123." In Second Symposium on Structural Optimization.
- Nuryadı H. (2023). Çelik ve Karma Taşıyıcı Sistemli Sanayi Bina Örneklerinin Kaba Yapım Maliyetlerinin Trakya Bölgesi için Karşılaştırılması. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli
- Salama A (2021). Konik çelik çerçevelerin çatı eğimini optimize etmek için geliştirilmiş bir meta-sezgisel algoritim. Civil Engineering, Southern Illinois University Edwardsville.
- Çelik S.V. (2019). Çelik Konstrüksiyon Sanayi Yapılarının Eski ve Yeni Yönetmeliklere Göre Karşılaştırılmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- Kürçe .(2019), Bir çelik endüstri yapısının süneklik düzeyi yüksek olarak tasarımı ve doğrusal olmayan dinamik analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sancıoğlu, S., ve İlgün, A. (2018). Hangar Tipi Çelik Endüstri Yapılarında Optimum Çerçevenin Belirlenmesi. International Conference on Science and Technology ICONST 2018 5-9 September 2018 Prizren – Kosova
- Şamandar A. (2018). Çelik Ve Betonarme Prefabrik Fabrika Yapılarında İnşaat Maliyetlerinin Karşılaştırılması. Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, DÜZCE
- Yıldız Ö. (2018) çelik sanayi yapılarının 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 'ne göre analiz ve tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Uşak Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uşak
- Gökmen Ö. (2015). Sanayi yapılarında çelik malzemeli taşıyıcı sistem kullanımının irdelenmesi ve bir proje önerisi geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

- Aslan Z.Ü., (2015), Mevcut Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Çok Katlı Çelik Yapı Olarak Tasarlanması ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması: Tokat Ahi Evleri Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.
- Ünal M.Ç.(2015), Çelik Yapıların Farklı Standartlara Göre Karşılaştırılmalı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon
- Harberdar (2015). Şed tipi çelik çatıların kar yükü değerlerinin TS-498, Eurocode 1-3 ve ASCE 07-10 kapsamında analizi, karşılaştırılması ve değerlendirilmesi
- Bingöl C. (2014). ağır sanayi yapısının AISC 360-10 ve TS-648 yönetmeliklerine göre karşılaştırmalı boyutlandırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Aydeniz Z. (2012). Tek Açıklıklı Endüstri Yapılarında Değişken Kesit ve Hadde Profillere Göre Çelik Taşıyıcı Sistem Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zorlar D. (2011), Tek Katlı Çelik Hal Yapılarında Stabilité Bağlantılarının Sistem Davranışına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli
- Uğur, S. (2010). Tek Katlı Çelik Endüstri Yapılarının Farklı Bilgisayar Programları ile Yapılan Analizlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Mungan Ö. (2009). Tek Açıklıklı Endüstri Yapılarında Çelik Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kocabaş S. (2005). Çelik Yapıların SAP2000 Programı ile Analiz ve Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Daloğlu A. (1999). Kafes sistemlerin uygulamaya yönelik optimum tasarımı. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Sap2000 sonlu elemanlar yöntemi ile yapısal analiz ve tasarım programı.
- Tekla structures çelik konstrüksiyon çizim ve imalat programı.