



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



GENİŞ AÇIKLIĞA SAHİP ÇELİK
MAKASLARIN DIŞTAN ARD GERME
HALATLAR İLE KAPASİTELERİNİN
ARTTIRILMASI

Hüseyin ŞEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ekim-2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin ŞEN tarafından hazırlanan “Geniş Açıklığa Sahip Çelik Makasların Dıştan Ard Germe Halatlar ile kapasitelerinin Arttırılması” adlı tez çalışması 30/10/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOÇER

.....

Üye

Dr. Öğrt. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hüseyin ŞEN

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GENİŞ AÇIKLIĞA SAHİP ÇELİK MAKASLARIN DIŞTAN ARD GERME HALATLAR İLE KAPASİTELERİNİN ARTTIRILMASI

Hüseyin ŞEN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOÇER

2024, 89 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOÇER
Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Ülkemizde çelik konstrüksiyon yapı uygulamaları yaygındır. Çelik malzemenin yüksek dayanıma sahip olması, elastik tasarım imkânına sahip olması, hafif olması, depreme dayanıklı olması, uzun ömürlü ve sürdürülebilir olması, ön üretimli olması, hassas üretim olanakları sağlaması ve daha hızlı inşa edilmesi gibi sebeplerle özellikle sanayi yapılarında tercih sebebi olmaktadır. Günümüzde depremin yapıya olan etkileri göz önünde bulundurulduğunda, özellikle deprem bölgelerinde farklı yapı tipleri için de çelik konstrüksiyon kullanım alanı gün geçtikçe artmaktadır. Çevre bilincinin artmasıyla birlikte sürdürülebilir malzemelere verilen önem de artmaktadır. Ekonomik olanakların da gün geçtikçe arttığı göz önünde bulundurulduğunda, çelik konstrüksiyon yapıların inşasının ilerleyen dönemlerde artarak devam edeceği öngörülmektedir. Bu sebeple çelik konstrüksiyon için yapılan çalışmalar da artmaktadır. Bu çalışmalarda, klasik tasarımdan farklı olarak alternatif tasarım yöntemleri belirlenmeye çalışıldığı gibi mevcut yapıların, zaman şartlarına göre inşa edildiği göz önünde bulundurularak günümüz yönetmelik normlarına göre performansları da incelenmektedir. Yönetmeliklerin gün geçtikçe değiştiği göz önünde bulundurulduğunda mevcut yapıların bir kısmının günümüz yönetmelik şartlarına cevap veremeyecek durumda oldukları görülmektedir. Can ve mal güvenliğini sağlamak için bu yapıların yeniden inşa edilmesi veya uygun şekilde güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ard germe halatları ile güçlendirilen çelik makasların yatay ve düşey yüklemeler altında çelik yapı üzerine etkisini belirlemek için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak ard germe halat tasarım tipi belirlenmeye çalışılmış ve daha sonra optimum ard germe halat yükü göz önünde bulundurularak önerilen güçlendirme halat tipinin yüklemeler altındaki davranışı incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda ard germe halat etkisinin kesit tesirleri ve çelik konstrüksiyon tasarımı üzerinde ne gibi etkisi bulunduğu tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca mevcut yapıların güçlendirilmesi için de bir yöntem olarak kullanılıp kullanılamayacağı tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ard Germe Halatı, Çelik Portal Çerçeve, Güçlendirme, Sanayi Yapıları, Sap2000

ABSTRACT

MS THESIS

INCREASING THE CAPACITY OF WIDE SPAN STEEL TRUSS WITH EXTERNAL POST-TENSING STEEL ROPES

Hüseyin ŞEN

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Assist. Prof. Dr. Mustafa KOÇER

2024, 89 Pages

Jury

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOÇER

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

There are steel construction applications in our country. Steel material is preferred especially in industrial structures due to its high strength, elastic design possibility, lightness, earthquake resistance, long life and sustainability, prefabrication, providing precision production opportunities and faster construction. Considering the effects of earthquake on the structure today, the area of use of steel construction is increasing day by day especially for different types of structures in earthquake zones. The importance given to sustainable materials is also increasing with the increase in environmental awareness. Considering that economic opportunities are also increasing day by day, it is foreseen that steel construction structures will continue to increase in the future. For this reason, studies carried out for steel construction are also increasing. In these studies, alternative design methods are tried to be determined as opposed to classical design, and considering that existing structures are built according to the conditions of the time, their performances are also examined according to today's regulation norms. Considering that the regulations change day by day, it is seen that some of the existing structures cannot meet today's regulation conditions. In order to ensure the safety of life and property, these structures must be rebuilt or properly strengthened. In this context, a parametric study was conducted to determine the effect of steel trusses strengthened with post-tensioning ropes on the steel structure under horizontal and vertical loading. In this study, firstly, the post-tensioning rope design type was tried to be determined and then, considering the optimum post-tensioning rope load, the behavior of the proposed reinforcement rope type under loading was examined. As a result of this study, it was tried to determine what kind of effect the post-tensioning rope effect has on the section effects and steel construction design. It was also discussed whether it can be used as a method for strengthening existing structures.

Keywords: Post Tensioning Rope, Steel Portal Frame, Reinforcement, Industrial Structures,
Sap2000

ÖNSÖZ

İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans Çalışmalarım süresince yardım, destek, hoşgörü ve bilgilerini hiçbir zaman esirmeyen kıymetli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa KOÇER' e teşekkürlerimi sunarım. Tez süresince bilgi ve tecrübeleriyle her zaman yolumu aydınlatan ve desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN' a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana her zaman destek olan ve beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Rümeysa'ya ve aileme şükranlarımı sunarım.

Hüseyin ŞEN
KONYA-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	3
1.2. Tezin Önemi	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
3. YAPISAL ÇELİĞİN GENEL ÖZELLİKLERİ	9
3.1. Yapısal Çelik Malzeme Özellikleri.....	10
3.2. Yapısal Çelik Mekanik Özellikleri	11
3.3. Yapısal Çelik Elemanları	16
3.4.1. Yapısal Çelik Profiller	16
3.3.2. Yapısal Çelik Birleşim Elemanları	19
3.4. Çelik Halat Özellikleri	23
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
4.1. ÇYTHY – 2016’ ya göre Tasarım Kriterleri	25
4.2. TBDY – 2018’ e göre Tasarım Kriterleri	28
4.3. TS 1991-1-3’ e göre Tasarım Kriterleri	30
4.4. TS 1991-1-4’ e göre Tasarım Kriterleri	30
4.5. İki Boyutlu Portal Çerçeve Tasarımı	30
4.5.1. Portal Çerçeve Geometrik Özellikleri.....	30
4.5.2. Portal Çerçeve Yük ve Tasarım Esasları	34
4.6. Üç Boyutlu Yapı Tasarımı	37
4.6.1. Üç Boyutlu Yapı Geometrik Özellikleri	37
4.6.2. Üç Boyutlu Yapı Yük ve Tasarım Esasları.....	39
5. ANALİZ VE TASARIM SONUÇLARI	47
5.1. Portal Çerçeve Analiz Sonuçları.....	47
5.1.1. İç Kuvvet Diyagramları	47
5.1.2. Talep/Kapasite Oranları	55
5.2. Üç Boyutlu Yapı Modeli Analiz Sonuçları.....	60
5.2.1. Mevcut Yapı Analiz Sonuçları	60
5.2.2. Güçlendirilmiş Yapı Analiz Sonuçları.....	64

6. ANALİZ VE TASARIM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	69
6.1. Portal Çerçeve Analiz ve Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi	69
6.1.1. Portal Çerçeve Analizinin Kolon Kiriş Birleşimi Yönünden Değerlendirmesi	70
6.1.2. Portal Çerçeve Analizinin İç Kuvvet Diyagramları ile Tasarım Tipleri Arasındaki İlişki Göz Önünde Bulundurularak Değerlendirilmesi	75
6.1.3. Portal Çerçeve Analizinin Tasarımı ve Talep/Kapasite Oranlarının İncelenmesi	76
6.2. Mevcut ve Güçlendirilmiş 3 boyutlu Yapı Modeli Analiz ve Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi	78
6.2.1. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Kolon ve Kiriş Elemanların 6 -6 Aksı Göz Önünde Bulundurularak Değerlendirilmesi.....	79
6.2.2. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Aşık Elemanlarının Talep/Kapasite Oranları Yönünden Değerlendirilmesi	82
6.2.3. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Çapraz Elemanlarının Talep/Kapasite Oranları Yönünden Değerlendirilmesi	82
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	84
7.1. Sonuçlar	84
7.2. Öneriler	85
KAYNAKLAR	86

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

C_{dir}	: Doğrultu katsayısı
C_e	: Maruz kalma katsayısı
C_o	: Orografi katsayısı
C_{pe}	: TS EN 1991-1-4 Bölüm 7’de iç basınç için verilen basınç katsayısıdır.
$C_{pe,10}$	: Dış rüzgar basınç katsayısı
C_{pi}	: TS EN 1991-1-4 Bölüm 7’de iç basınç için verilen basınç katsayısıdır.
C_{pnet}	: Net rüzgar basınç katsayısı
$C_r(z)$	: z metre yükseklikteki engebelilik katsayısı
C_{season}	: Mevsim katsayısı
C_t	: Isı katsayısı
$^{\circ}C$	: Santigrat derece
D	: Dayanım fazlalığı katsayısı
DTS	: Deprem Tasarım Sınıfı
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
E	: Elastisite Modülü
$E_d^{(H)}$	: Doğrultu birleştirilmesi uygulanmış tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(X)}$	: (X) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Y)}$	: (Y) doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
$E_d^{(Z)}$	: (Z) düşey doğrultusundaki depremin etkisi altında tasarıma esas deprem etkisi
F	: Akışkan madde basınç yükü
$^{\circ}F$	: Fahrenheit
F_s	: Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayısı
F_u	: Çekme dayanımı
F_y	: Sıcakta haddelenmiş yapısal çeliklerde karakteristik akma gerilmesi
F_{yb}	: Bulonların karakteristik akma gerilmeleri
F_{yu}	: Bulonların çekme dayanımları
G	: Sabit yük
G_k	: Kaplama yükü
H	: Yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı veya yığılı madde basıncı
I	: Bina önem katsayısı
k_r	: Engebelilik uzunluğu z_0 ’a bağlı arazi katsayısı
kg	: Kilogram
KN	: Kilonewton
KPa	: Kilopascal (kN/m^2)
m	: Metre
m^2	: Metrekare
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal (N/mm^2)
P_c	: Eksenel basınç kuvveti dayanımı
P_r	: Eksenel kuvvet dayanımı
S	: Kar yükü
S_{Ds}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_{D1}	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_s	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S₁: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_n: Saniye
T: Ton
M_r: Gerekli eğilme momenti dayanımı
M_c: Eğilme momenti dayanımı
y: Zayıf eksen gösteren alt indis
x: Kuvvetli eksen gösteren alt indis

Kısaltmalar

AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AISC 360-10: Amerikan şartnamesi Specification for Structural Steel Buildings, Haziran 2010
ASCE: American Society of Civil Engineers
ASTM: Amerika standart yönetmeliği
ANSYS Analysis System.
BYS: Bina Yükseklik Sınıfı
ÇYTHYE 2016: Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik 2016
GKT: Güvenlik Katsayıları ile Tasarım
HY: Hedef yükleme
IMF: Süneklik Düzeyi Sınırlı Moment Aktaran Çelik Çerçeveler
OCBF: Süneklik Düzeyi Sınırlı Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveler
Psi : Pound Per Square İnç
SCBF: Süneklik Düzeyi Yüksek Merkezi Çaprazlı Çelik Çerçeveler
SMF: Süneklik Düzeyi Yüksek Moment Aktaran Çelik Çerçeveler
TBDY 2018: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS EN 1991-1-3: Yapılar üzerindeki etkiler- Bölüm 1-3: Genel etkiler, kar yükleri
TS EN 1991-1-4: Yapılar üzerindeki etkiler- Bölüm 1-4: Genel etkiler, rüzgâr etkileri
TS: Türk Standartları
TT: Tasarım Tipi
TTRA: Referans Tasarım Tipi Ankastre Birleşim
TTRM: Referans Tasarım Tipi Mafsallı Birleşim
TT1A: 1 Numaralı Tasarım Tipi Ankastre Birleşim
TT1M: 1 Numaralı Tasarım Tipi Mafsallı Birleşim
TT2A: 2 Numaralı Tasarım Tipi Ankastre Birleşim
TT2M: 2 Numaralı Tasarım Tipi Mafsallı Birleşim
TT3A: 3 Numaralı Tasarım Tipi Ankastre Birleşim
TT3M: 3 Numaralı Tasarım Tipi Mafsallı Birleşim
Vb.: Ve benzeri
Vd.: Ve diğerleri
YDKT: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

1. GİRİŞ

Ülkemizde var olan yapılar göz önünde bulundurulduğunda çelik yapılar önemli bir yer kapladığı düşünülmektedir. Birçok alanda hizmet verebilen çelik konstrüksiyon yapılar; imalatının atölyelerde yapılabilmesi, hassas işçilik imkânı sağlanması, hafif olması, depreme dayanıklı davranması, geniş açıklıkların geçilebilmesi, projelendirilip hızlı bir şekilde inşa edilebilmesi vb. sebeplerle tercih edilmektedir. Bunların yanında çevre dostu bir malzeme olan çeliğin tamamına yakını, geri dönüştürülerek yeni yapılacak yapıların hammadde olarakta kullanılabilmektedir. Bu da çeliğin ekonomiye verdiği katkıyı arttırmaktadır (İrban ve Fenkli, 2022). Çelik taşıyıcı sistem köprü, depo, hastane, spor salonları, konutlar, sanayi tipi yapılar vb. yapılarda kullanılabilmektedir. Ülkemizin önemli bir kısmının deprem bölgesi olduğu bilinmektedir (Aral ve Tunç, 2021). Bu bakımdan çelik yapıların depreme karşı birçok yapıya göre daha dayanıklı olması çelik yapıları avantajlı kılmaktadır. Ülkemizde belirli ölçüde çelik yapı stoku bulunduğu gibi çelik yapıların inşası da devam etmektedir. Geçmişten günümüze yapılan yapıların uygun olmayan tasarım yöntemlerine göre tasarlanması yapı sağlığı açısından olumsuz durumlar oluşturmaktadır (Ekinci ve İpek, 2023). Örneğin uzun zamandır kar yağmayan bir bölgede yoğun kar yağışının görülmesi durumunda, yapılar hasar almakta kimileri ise göçmektedir. Bu durum deprem için de geçerlidir. Bir bölgede uzun süredir deprem olmaması o yapıların güvenli olduğu anlamına gelmemektedir. Buna ek olarak yaşanan afetlerden sonra yönetmelikler de değişiklik gösterebilmekte ve yaşanan problemlerin tekrar oluşmasının önüne geçilmek istenmektedir. Ülkemiz de değişen teknoloji, gelişen bilgi ve ihtiyaçlar doğrultusunda deprem yönetmeliği birçok kez revize edilmiştir. Son olarak TBDY 2018 (TBDY,2018) olarak kullanıma sunulan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile depreme karşı en uygun yapıların tasarlanmasına gayret edilmektedir. Ancak bu yönetmelikten önce yapılan yapılar bulunduğu gibi yönetmeliklere uygun yapılmayan yapıların da olduğu bir gerçektir (Ekinci ve İpek, 2023). Mevcut yapı stokunun önemli bir kısmının depreme dayanıksız olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesi bir ihtiyaç olmaktadır (Yılmaz ve Cumhuriyet, 2023). Ard germe halatlarının çekme etkisini taşıma konusunda yüksek mukavemet özellikleri gösterdikleri bilinmektedir. Malzeme çeşitliliğinin de fazla olduğu halat yapıları, mühendislik problemlerinde kullanılabilmektedir (Evans ve Ridge, 2005).

Günümüzde, mevcut yapı stoğu düşünüldüğünde, dayanımına katkı sağlayacak ve aynı zamanda işletme faaliyetleri sektöre uğratmayacak bir güçlendirme yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır. Ard germe halatları kullanılarak çevresel yükler altında bulunan ve yeterli dayanıma sahip olmayan yapıların yeterli dayanıma ulaşip/ulaşamayacağı ve yatay yükler altında mafsallı /ankastre birleşim detaylı çelik makasların hem yatay hem de düşey yükler altında davranışına olan etkisi incelenmek istenmektedir. Bu kapsamda ard germe halatının gerek yeni yapılacak yapılarda kesit maliyetlerini düşürmek amacıyla gerekse mevcut yapıların güçlendirilme çalışmalarında farklı bir alternatif olarak kullanılabileceği öngörülmektedir. Bu konuda az da olsa literatürde yer alan çalışmalar mevcuttur (Yu-qing, 2021), (Granello vd., 2018), (Ghannam vd.,2016). Hosseinejad ve ark. düşey yükler altında yeterli etki/kapasite oranına sahip olmayan geniş açıklıklı dolu gövdeli makaslara sahip bir sanayi yapısını, ard germe halatlar yardımıyla destekleyerek, mevcut bir çelik konstrüksiyon sanayi yapısını güçlendirmişlerdir. Bu çalışmada yüksek dayanımlı çelik halatların kullanımı sonucunda yapılan güçlendirme çalışması ile dolu gövdeli çelik makasların daha ekonomik/ekolojik katkılarından faydalanılmıştır. (Hosseinejad vd., 2021). Yu-qing vd. tarafından yapılan çalışmada ise takozlar yardımıyla çelik makas güçlendirilmiştir. Ard germe halatı ve takozlarla çelik makas tasarımı ve ard germe halatı takoz detayı sırasıyla Şekil 1.1 ve Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Ard germe halatı ve takozlarla çelik makas tasarımı (Yu-qing, 2021)



Şekil 1.2 Ard germe halatı ve takoz detayı (Yu-qing, 2021)

1.1. Tezin Amacı

Çelik konstrüksiyon yapı elemanlarının yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir (Çelebi ve Arpacıoğlu,2023). Özellikle sanayi yapılarında kullanılan çelik çerçeve sistemlerinin bir kısmının istenilen dayanıma sahip olmadığı düşünülmektedir. Bu yapıların gerek inşa edildikleri dönemdeki bilgi ve teknolojinin yetersizliği nedeniyle gerekse uygun olmayan tasarım, imalat ve montajdan kaynaklı olarak istenilen dayanıma ulaşamamaktadır (Ekinci ve İpek, 2023). Bu sebeple bu yapılar çevresel yükler altında zamanla zarar görebilmekte, bunun sonucunda can ve mal güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Bu yapıların hem dayanımına katkı sağlayacak bir güçlendirme yaklaşımı ile hem de mevcut işletme reaksiyonlarını sekteye uğratmayacak hızlı bir yöntemle güçlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, mevcut dayanımı yeterli olmayan çelik konstrüksiyon çerçeve makaslarının ard germe halatları yardımıyla talep/kapasite oranlarının artırılması hedeflenmiştir. Bu doğrultuda, portal çerçeveler üzerinde farklı tipte güçlendirilen çelik makasların talep/kapasite oranları üzerine ard germe halatının etkisi araştırılmış ve ard germe halatının gerek yeni yapılacak yapılar için gerekse mevcut yapıların güçlendirilme çalışmalarında farklı bir alternatif olarak kullanılıp kullanılmayacağı tartışılmıştır.

1.2. Tezin Önemi

Bu çalışmanın önemi;

1. Literatürde yapılan çalışmaların farklı parametrik verilerle desteklenerek optimizasyonunu sağlamak,
2. Çelik konstrüksiyon alanında yeni yapılacak yapıların klasik tasarımından farklı olarak yeni bir tasarım yaklaşımının sonuçlarını araştırmak ve ortaya çıkan etkinin yeni yapılar için kullanılabilirliğini değerlendirmek,
3. Mevcut yapıların güçlendirilme çalışmalarında ard germe halatının hem düşey hem de yatay yüklemeler altında nasıl bir etkiye sahip olacağını incelemek şeklinde sıralanabilir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yu-qing vd. (2021), çalışmasında, üretim, fonksiyonel değişim, güvenli, güvenilir ve kullanışlı bir güçlendirme yöntemi olarak; dış ard germeli güçlendirme yönteminin genellikle çelik çerçeve yapıların güçlendirmek için kullanıldığını ifade etmiştir. Bu yöntemin kullanımının orijinal yapıya zarar vermeden, çelik halatı çerçeve kirişine bağlamak için yeni bir tip halat ankraj bağlantısı tasarlamıştır. Statik yükleme testini, ard germe halatlarından kirişe yük aktaran dikmenin uzunluğunu ayarlayarak gerçekleştirmiştir. Gerilme ve kiriş orta noktasında meydana gelen deplasmanlardaki değişimleri incelemiştir. Ayrıca bir sonlu elmanlar programı yardımıyla güçlendirilmiş çelik çerçevenin gerilme, eğilme momenti, kesme kuvveti vb. özelliklerini araştırmıştır. Deneysel sonuçlar ve bilgisayar da yapılan sonlu elemanlar analiz sonuçları, tasarlanan güçlendirme yönteminin etkinliğini doğrulamak için karşılaştırmıştır. Buradan çıkarılan sonuca göre yeni ard gerilmeli halat bağlantılarının kolay montaj edilebildiğini, çeşitli avantajlara sahip olduğunu ve bağlantılarla kuvvet aktarılabilirliğini belirtmiştir. Bu nedenle, tasarlanan ard germe ankraj bağlantısı, çelik konstrüksiyon çerçevesine dış ard germe güçlendirmesi için uygulanabileceği sonucuna varmıştır.

Yücekul (2012), çalışmasında, geniş açıklıklı çelik makasların ard germe halatlarıyla taşıma kapasitelerinin artırılması konusunu teorik ve deneysel olmak üzere iki temel bölümde incelemiştir. İlk olarak mevcut çelik konstrüksiyonların yapısal özellikleri, bu yapıların yapısal analizlerinde kullanılan yöntemler, standartlar ve şartnameler hakkında bilgi vermiştir. Mevcut makasların yük taşıma kapasitesinin ard germe etkisi altında kablo uygulaması ile artırılabilirliğini teorik olarak göstermiştir. Bu kavramın kullanılabilirliği, sonlu Elemanlar Yöntemine dayalı bir yapısal analiz yazılımı tarafından numerik olarakta doğrulamıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında laboratuvarda üretilmiş mevcut bir çelik köprü modeline ard germe etkisi altında kablolar eklemiştir. Farklı yüklere maruz kalan köprü sistemine çeşitli ard germe kuvvetleri etki ettirmiştir. Ortaya çıkan yer değiştirmeler ve kablo kuvvetlerini ölçmüştür. Elde ettiği deneysel sonuçları teorik analiz sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Buradan yapılan teorik ve deneysel çalışmalara göre, kablo elemanlarının uygun şekilde montajlanmasıyla mevcut çelik yapı sistemlerinin taşıma kapasitelerinin artırılabilirliğini ifade etmiştir.

Ghannam vd. (2017), çalışmasında ard germe etkisi altındaki halatların kullanılmasının çok etkili bir yöntem haline geldiğini belirtmiştir. Özellikle çelik yapılar

olmak üzere farklı yapı türlerinin güçlendirilmesi için etkili bir yol olarak kullanılabileceğini ifade etmiştir. Ard germe halatının çelik yapı üzerindeki güçlendirme etkisini incelemiştir. İki açıklıklı çelik kafes kirişlerin güçlendirilmesinde ard germeli kabloları kullanmıştır. Farklı kafes sistemleri (Warren ve N makas sistemi) bu çalışmaya dahil etmiştir. Bu şekilde ard germeli kablolar ve farklı teknikler kullanılarak makas sistemlerinin reaksiyonlarını incelemiştir. Kullanılan parametreler arasındaki temel fark profil tipleri ve konumlarıdır. Bu parametreler arasındaki karşılaştırmalar, her makas sistemi için incelenerek makaslar için uygun olan ard germe tekniğini belirlemeye çalışmıştır. Analiz ve sonuçları ANSYS programı kullanarak elde etmiştir. Bu çalışmadan şu sonuca varmıştır ki, ard germe halatları kullanmak güçlendirmede etkili bir yöntemdir. Çeşitli çelik kafes türlerinde bu şekilde güçlendirme yapılarak kirişlerdeki iç kuvvetler azaltılabilir. Hem çekme hem de basınç elemanlarında azalmalar meydana gelebilmektedir. Kirişlerde özellikle çekme kuvvetini azaltabilmek önem teşkil etmektedir. Her bir kiriş modelinde iç kuvvetleri en az indiren farklı bir ard germe kuvveti vardır. Ayrıca kablonun harici olarak gerilmesinin önemli bir etkisi vardır. Bununla birlikte makas altında kullanıldığında açıklık geçilmesi gereken yapılarda, örneğin su üstündeki bir köprüde açıklık azalabileceğinden; tasarımının buna uygun yapılmasının, çevre güvenliği açısından önemli olduğunu ifade etmiştir.

Günday (2021), çelik yapılarda kablo elemanlar kullanarak yapılan güçlendirme çalışmasının yapının dinamik davranışına etkilerinin araştırdığı çalışmada, iki ayrı model üzerinden deneyleri gerçekleştirmiştir. İlk model güçlendirilmemiş referans çerçeve modeli olup, ikinci modeli çelik konstrüksiyon kablo elemanlarla güçlendirmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmanın laboratuvar ortamında gerçekleştirmiştir. Ayrıca bilgisayar desteğinden de yararlanarak en doğru sonuçları elde etmeyi amaçlamıştır. Deneyde kablo elemanlardan başka değişken kullanmamıştır. Buna göre kablo elemanlarıyla güçlendirilmiş yapının periyodunda yaklaşık %8 oranında bir azalma olduğu sonucuna varmıştır. Bununla paralel olarak kablo elemanlarla güçlendirilmiş yapının daha rijit olduğunu vurgulamıştır. Tüm çalışmanın sonucunda bu şekilde yapılan bir güçlendirmenin olumlu sonuçlar vereceğini belirtmiştir.

Çakır (2011), Çalışmasında boru kesit kullanarak oluşturduğu yanal burkulması sınırlandırılmış çelik kafes kirişleri ard germe halatı kullanarak boyutlandırmıştır. Kullanılan çelik kafes kirişleri çok geniş açıklıklarda test etmiştir. Bu kirişlerin tipleri

sabit tutarak ard germe halatının etkisiyle uygun takozları kullanarak çelik kirişlere yük aktarımı yapmıştır. Zati yükler altında tasarlanan bu sistemlerde ard germe halatlarındaki yük kayıpları ani ve ilave kayıplar şeklinde iki ayrı sınıfta dikkate alınmıştır. Buradaki amacın ard germe halatlarının yapı maliyetine olan etkisini tespit etmek, çelik kafes yüksekliğinin ard germe halatı etkisindeki değişimi, kullanılan takoz boylarını ve hangi ard germe kuvvetinin en uygun olduğu gibi soruların cevabını öğrenmek olduğu belirtmiştir. Çalışmanın sonucunda kiriş yüksekliğinin azalmasının ard germe halatının etkisini arttırdığı ifade etmiştir. Bununla beraber kiriş açıklığındaki artışta ard germe halatının etkisini arttırmıştır. Ayrıca malzeme ağırlığından da önemli bir tasarruf sağlandığını belirtmiştir.

Hocaoğlu (2020), çalışmasında yüksek mukavemet özellikleri gösteren çelik halatların malzeme özellikleri yönünden incelemesini yapmıştır. Malzemenin mikroyapısal özellikleri ile fiziksel özellikleri arasındaki bağlantıyı incelemiştir. Metalurji açısından farklı işlemlerle ve kendine özgü birtakım deneylerle çeşitli analiz işlemleri gerçekleştirmiştir. Sonuç olarak kablo yapısının tasarımının, kullanılan malzemenin yapım aşamasında tabi olduğu üretim işlemlerinin mukavemet özellikleri açısından önem teşkil ettiğini ifade etmiştir.

Evans ve Ridge (2005) çalışmasında, halatı çekme yüklerinin karşılanmasında önemli mukavemet özellikleri gösteren bir yapı olarak tanımlamıştır. Eksenel yük taşımak için uygun olmadığı da belirtmiştir. Halatın zincir gibi olan yapısı sebebiyle diğer taşıyıcı sistemlerden bir dizi paralel yük taşıyan yedekli bir yapı oluşturarak ayrıldığını ifade etmiştir. Birbirlerine paralel olarak çeşitli şekillerde oluşturulan halat yapıları birbirlerinden farklı özellikler gösterdiği, genellikle halat sisteminin uyumlu bir bütün olarak çalışmasına izin vermek için büküldüğünü ifade etmiştir. Halat yapılarının doğadan esinlendiği ve malzeme seçeceğinin çok olduğunu vurgulamıştır. Bununla beraber mikrobiyoloji gibi farklı disiplinlerden yararlanılarak halat malzeme özelliklerinin ve halat yapısının oluşturulabileceğini ifade etmiştir. Örneğin denizlerde bulunan çok çeşitli halat ve halat benzeri yapılardan bazılarının tartışıldığını ifade etmiştir. Herhangi bir şekilde doğrudan doğadan esinlendiğini kanıtlamak zor olsa da halat ve kablo tasarımlarının, halat ve benzeri yapıların teknolojisinin doğal yapılara ve hortumlar gibi doğa olaylarına benzerliğini şaşırtıcı bulmuştur. Buradan yola çıkarak halat yapısının ve halat malzeme özelliklerinin gün geçtikçe gelişeceğini düşünmektedir.

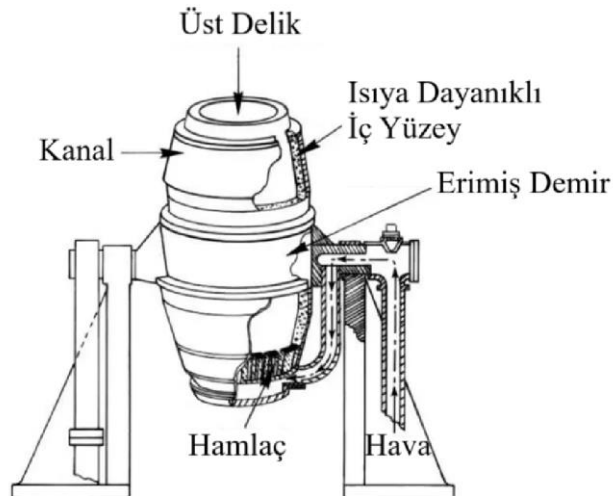
Hosseinnejad vd. (2021), çalışmasında dış ard germe tekniğinin güçlendirme için en iyi güçlendirme yöntemlerinden biri olduğunu ifade etmiştir. Çeşitli çelik yapıların ve bazı alt yapı türlerinin güçlendirilmesi amacıyla ard germe etkisi altında değişken kesitli çelik kirişlerin yük taşıma kapasitesi üzerinde çalışmıştır. Analizde ABAQUS yazılımı ile 3 boyutlu doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemi kullanmıştır. Eğilme dayanımındaki artışın ve yük taşıma kapasitesinin iyileştirilmesi için ve ard germe halatı etkilerini belirlemek üzere geometrik özellikler ve ard germe gibi farklı parametrelerin etkisini incelemiştir. Bu araştırmada ard germe halatlarında uygulanan kuvvet ve çelik kirişlerin halatların etkisi ile yapılan dış ard germe kuvvetinin yükleme kapasitesi üzerinde etkisini de incelemiştir. Buna göre değişken kesitli kirişlerin güçlendirilmesinde halat kullanılması bu yapıların ağırlığının azalmasına ve sonuç olarak ekonomik fayda sağlamasına sebep olduğunu belirtmiştir. Bu yöntemin, düşük işletme maliyetleri nedeniyle çelik kirişler için yaygın olarak kullanılabileceğini ve ard germe uygulamasının montaj kolaylığının süreci kolaylaştırdığı belirtmiştir.

Ghannam vd. (2016) çalışmasında, ard germeli kabloların çeliğin güçlendirilmesi üzerindeki etkisini incelemiştir. Ard germe kablolarının çerçeveler ve yük taşıma kapasitelerini iyileştirerek yapının dış yüklere karşı daha fazla direnç sağladığını belirtilmiştir. Çalışmada; basit çerçeve, çift bölmeli çerçeve gibi farklı çerçeve türlerini analiz etmiştir. Analiz ve sonuçlar ANSYS sonlu elemanlar programı ile elde etmiştir. Çelik çerçeveye ard germe uygulamak için farklı teknikler kullanmıştır. Güçlendirmede hangi tekniğin daha iyi olduğunu belirlemek için bu teknikler arasında her çerçeve türü için karşılaştırmalar yapmıştır. Sonuç olarak, ard germe kablo kullanımının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

Ayyub vd. (1992) çalışmasında, ard germeli kompozit çelik beton kirişlerin yapısal analizi için farklı bir yöntem üzerinde çalışmıştır. Kompozit kirişlerin çelik kirişi ve beton döşemesindeki eğilmeleri, ard gerilme tendonlarındaki kuvvetleri ve deformasyonları, göçmeye kadar tüm yükleme aralığı boyunca hesaplamıştır. Kirişlerin akma ve nihai yük kapasitelerinin hesaplanması için çeşitli denklemler kullanmıştır. Geliştirilen analitik modeller artımlı deformasyon yöntemine dayanmaktadır. Analitik çalışmanın sonuçlarıyla birkaç kirişin test sonuçlarını karşılaştırmıştır. Analitik ve deneysel sonuçlar arasında oldukça iyi korelasyonlar elde etmiştir. Kompozit kirişlere ard germe tendonları ekleyerek yaptığı nihai yük kapasitelerinde bir artışın elde edilebileceğini ifade etmiştir.

3. YAPISAL ÇELİĞİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Çelik yapılar tarihi oldukça uzun bir geçmişe sahiptir ve çeliğin inşaat alanında kullanılması insanlar tarafından inşa edilen yapıların dayanıklılığı açısından önemli bir durumdur. Demir ve çelik, antik çağlardan beri yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. MÖ 6. ve 7. yüzyılda Antik Yunanlılar, demir çivileri ve çelikten yapılmış bağlantı elemanlarını inşaatlarda kullanmışlardır. Ayrıca, farklı ülkelerde de çelik yapılar inşa edilmiştir (Yaşar, 2023). 18. yüzyılın sonlarında ve 19. yüzyılın başlarında sanayi devrimi ile birlikte çelik üretiminde büyük ilerlemeler olmuştur. Thomas Bessemer ve Henry Bessemer gibi mucitlerin icatları, çelik üretimini daha ekonomik hale getirmiştir. Bu dönemde, demiryolları, köprüler ve diğer altyapı projeleri için çelik kullanımı artmıştır (Güneş, 2016). Bessemer çelik üretimi, oksijenle üfleme adı verilen bir işlemi içerir. Bu işlemde, sıvı demir veya dökme demir, oksijenle temas ettirilir ve yüksek sıcaklıkta yanar. Bu yanma reaksiyonu, karbon içeriğini azaltır ve istenen çelik kalitesini üretir. Bessemer işlemi, yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilir. Bu sıcaklıklar, demirin sıvı hale gelmesini sağlar ve oksijenin hızla demirle reaksiyona girmesini mümkün kılar. İşlem oldukça hızlıdır ve büyük miktarlarda çelik üretimini mümkün kılar. Bu, özellikle endüstriyel ölçekte çelik üretimi için büyük bir avantajdır. Karbon içeriğini düşürme etkisine sahiptir. Bu, farklı çelik türleri ve özellikleri üretme yeteneği sunar. Bessemer işlemi sırasında oluşan demir cürufu, dökme demirin karbon içeriği azaltıldığında dökülen yan üründür. Bu cüruf, başka endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir (Akyol, 2011). Bessemer çelik üretim şeması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bessemer çelik üretimi (Url-1)

19. yüzyılın ortalarından itibaren, çelik yapıların inşası büyük bir ivme kazanmıştır (Eren, 2014). Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde yüksek binalar, köprüler, gökdelenler ve endüstriyel tesisler için çelik kullanımı yaygınlaşmıştır. Çelik gökdelenlerin inşasına bakılacak olursa 19. ve 20. yüzyılın başlarında, özellikle New York'ta, yüksek çelik gökdelenler inşa edilmeye başlanmıştır. Bu binalar, çelik yapı elemanlarıyla inşa edilmiştir. Bu da yüksek binaların inşasını mümkün kılmıştır (Farrelly, 2011). Örneğin, Şekil 3.2'de gösterilen ve 1931 yılında tamamlanan Empire State Building, çelik yapıların sembolik bir örneğidir.



Şekil 3.2. Empire state binası (Url-2)

Günümüzde, çelik yapılar hala inşaat sektöründe önemli bir rol oynamaktadır. Yüksek binalar, köprüler, alışveriş merkezleri, havaalanları ve endüstriyel tesisler gibi birçok farklı türde yapıda çelik kullanılmaktadır. Çelik, dayanıklılığı, esnekliği ve hızlı montajı nedeniyle tercih edilen bir yapı malzemesidir (Çelebi ve Arpacıoğlu, 2023).

3.1. Yapısal Çelik Malzeme Özellikleri

Çelik, demirin karbonla alaşımlanmış bir türüdür. Genellikle %2.1'in altındaki karbon içeriği ile karakterize edilir. Genellikle yapıların taşıyıcı yapı elemanları, köprüler, binalar, endüstriyel tesisler, gemiler ve diğer birçok uygulama için kullanılır. Çelik yapıların avantajları sıralanacak olursa; Yüksek mukavemet ve dayanıklılık özelliklerine sahiptir. Bu nedenle, büyük yükleri taşıyabilir ve depreme, rüzgâra ve diğer doğal afetlere karşı dayanıklıdır. Yapısal çelik şekil verme kolaylığına sahiptir, bu da tasarımcılara ve mühendislere büyük esneklik sağlar (Eren, 2014). Farklı yapı tipleri

ve tasarım stillerini mümkün kılar (Farrelly, 2012). Yüksek mukavemete sahip olmasına rağmen göreceli olarak hafif bir malzemedir, bu da inşaat projelerinin taşıma ve montajını kolaylaştırır. Çelik doğru şekilde kaplandığında veya paslanmaz çelik gibi korozyona dayanıklı çelik türleri kullanıldığında korozyona karşı dayanıklı olabilir. Çelik, geri dönüşüm ve yeniden kullanım açısından sürdürülebilir bir malzemedir (Güler, 2005). Çelik yapıların önemli bir kısmı fabrikada montaj edilebilir, bu nedenle inşaat süreci hızlandırılabilir (Farrelly, 2012). Çelik, yüksek deformasyon miktarlarına maruz kaldığında bile kopma noktasına gelmeden önce belirgin bir şekilde deformasyon yapabilir. Bu, enerji emilimine yardımcı olur ve yapıların deprem gibi yüklemelere karşı davranışını iyileştirir (Meistermann, 2010). Çelik yapıların dezavantajları sıralanacak olursa da çelik yapılar, demir cevherinin işlenmesi ve çelik üretimi süreçlerinin maliyetleri nedeniyle beton gibi diğer yapı malzemelerine göre genellikle daha maliyetlidir. Korozyon, çelik yapılar için bir dezavantajdır. Bu nedenle çelik yapılar düzenli bakım gerektirir. Çelik, sesi ve ısıyı iyi iletir. Bu, yapıların ısı ve ses izolasyonunu iyileştirmek için ek yalıtım malzemelerinin gerekliliğini artırır. Çelik üretim süreci enerjinin yoğun kullanıldığı bir süreçtir. Bu nedenle çevresel etkileri olabilir. Ancak geri dönüşüm ve sürdürülebilirlik çabaları, bu etkileri azaltmaya yardımcı olabilir. (Korkmaz,2019)

3.2. Yapısal Çelik Mekanik Özellikleri

Çekme Mukavemeti : Çelik malzemenin çekme mukavemeti, çekme yüküne karşı dayanma kapasitesini ifade eder. Genellikle Megapaskal (MPa) veya Pound-Force per Square Inch (psi) birimlerinde ifade edilir. Çelik çekme mukavemeti, çelik türüne ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak değişebilir. Ortalama bir yapı çeliği, 250 MPa (36,000 psi) ile 400 MPa (58,000 psi) arasında bir çekme mukavemetine sahip olabilir (Bruneau vd., 2011).

Akma Mukavemeti: Akma mukavemeti, çelik malzemenin plastik deformasyona başladığı veya kalıcı şekil değişikliklerinin başladığı noktayı ifade eder. Bu değer de çelik türüne ve sıcaklık koşullarına bağlı olarak değişebilir ve çekme mukavemeti değerine yakın olabilir (Bruneau vd., 2011).

Elastisite Modülü : Elastisite modülü, bir malzemenin elastik davranışını tanımlar. Çelik, yüksek bir elastisite modülüne sahiptir, bu da demek oluyor ki, yük

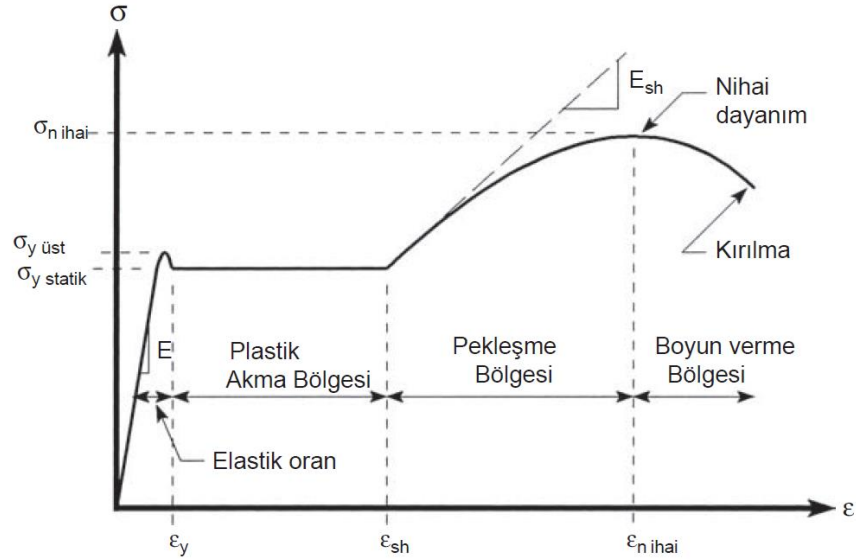
uygulandığında elastik olarak davranır ve yük kaldırıldığında orijinal şekline döner. Bu değer genellikle GPa (Gigapaskal) biriminde ifade edilir (Bruneau vd., 2011).

Kırılma Uzaması : Kırılma uzaması, çelik malzemenin kopma anında ne kadar uzayabileceğini ifade eder. Genellikle yüzde (%) olarak ifade edilir. Daha yüksek kırılma uzaması, daha fazla süneklik ve deformasyon kapasitesini gösterir (Bruneau vd., 2011).

Burulma Mukavemeti : Burulma mukavemeti, çelik malzemenin burulma kuvvetine karşı ne kadar dayanıklı olduğunu ölçer. Genellikle MPa veya psi birimlerinde ifade edilir. (Bruneau vd., 2011)

Rijitlik : Rijitlik, bir malzemenin şekil değiştirmeye, çizilmeye veya delinmeye karşı dayanıklılığını ifade eder. Rockwell, Brinell veya Vickers sertlik testleri gibi farklı ölçüm yöntemleri kullanılabilir (Bruneau vd., 2011).

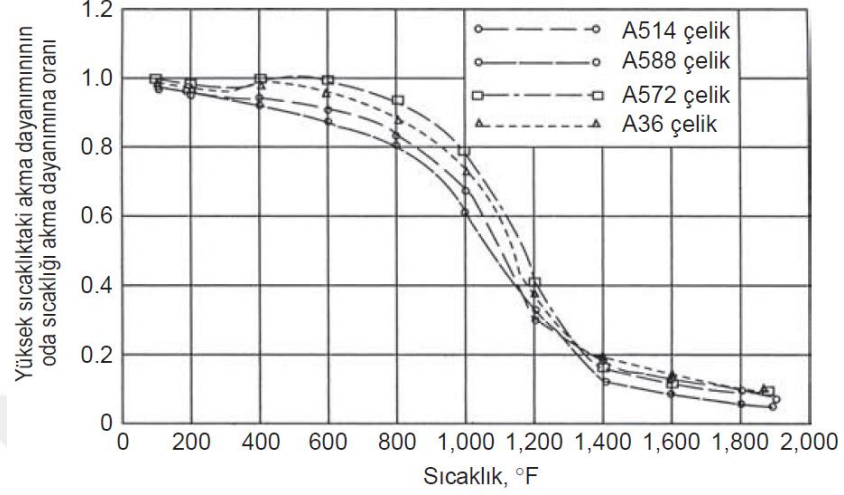
Eğilme Mukavemeti: Eğilme mukavemeti, çelik malzemenin eğilme yüklemelerine karşı dayanıklılığını ölçer. Genellikle MPa veya psi birimlerinde ifade edilir (Bruneau vd., 2011).



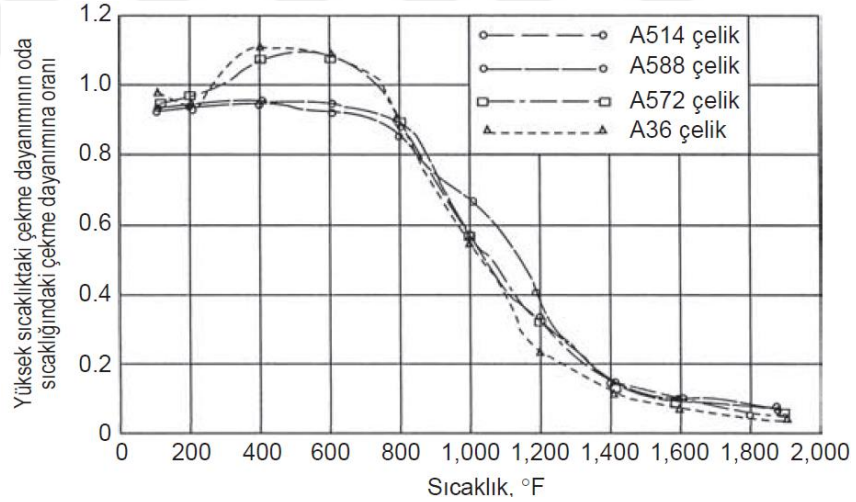
Şekil 3.3. Yapısal çelik gerilme şekil değiştirme eğrisi (Bruneau vd., 2011)

Gerilme-Şekil değiştirme eğrisinin şekli çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda önemli ölçüde değişir. Gerilme Şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterildiği gibi, sıcaklık arttıkça çeliğin akma ve kopma mukavemetinin yanı sıra elastisite modülü de düşer (bu arada maksimum kopma uzaması artar). Bu düşüş nispeten yavaştır ve 260°C'ye (500°F) kadar çok önemli bir

etkisi yoktur. Yaklaşık 800°F (425°C) sıcaklıkta dayanım özellikleri, sıcaklık başlangıç değerlerinin yaklaşık %80'ine ulaşana kadar neredeyse doğrusaldır. Bu noktadan sonra çeliğin zayıflaması ve yumuşaması önemli ölçüde hızlanır (Bruneau vd., 2011).



Şekil 3.4. Oda sıcaklığındaki akma dayanımı oranına göre sıcaklığın akma dayanımına etkisi (Bruneau vd., 2011)



Şekil 3.5. Oda sıcaklığındaki çekme dayanımı oranına göre sıcaklığın çekme dayanımına etkisi (Bruneau vd., 2011)

Şekil 3.4' te gösterildiği gibi, oda sıcaklığının altındaki sıcaklıkların çeliğin akma dayanımı üzerinde olumsuz bir etkisi yoktur, ancak daha düşük sıcaklıkların süneklik üzerinde önemli bir etkisi olabilir. Aslında sıcaklık etkisindeki çeliğin nihai davranışı, süneklik açısından aşamalı olarak değişecektir. Sıcaklıklar belirli bir değerin altına düştüğünde ve süneklikten kırılganlığa geçiş sıcaklığına girdiğinde yapısal çelik kırılganlaşır. Bu durumu açıklamak için çentik darbe deneyi yapılmaktadır. Çentik

darbe deneyi, malzemenin darbe dayanımını ve çatlakların yayılma davranışını incelemek için kullanılan bir deney türüdür. Bu deney, genellikle metaller ve diğer mühendislik malzemelerinin dayanım özelliklerini değerlendirmek için yapılır . Çentik darbe deneyi, malzemenin kırılma davranışını ve malzemenin darbeye karşı nasıl tepki verdiğini anlamak için önemlidir. Çentik darbe deneyinin yapılması bazı temel unsurları gerektirir. Bu temel unsurlara ve deneyin yapılışı kabaca sıralanacak olursa ;

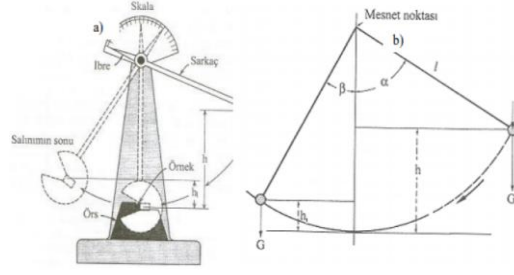
- Deney Numunesi Hazırlığı: İlk adım, test edilecek malzemenin numune hazırlamaktır. Bu numune genellikle dikdörtgen veya silindirik şeklinde olur ve üzerine belirli bir boyutta bir çentik açılır. Çentik, bir çatlak başlatma noktasıdır ve darbeye karşı dayanımı etkiler.

- Çentik Geometrisi: Çentik darbe deneylerinde kullanılan çentikler, belirli geometrik özelliklere sahip olmalıdır. Genellikle standart çentikler, Charpy veya Izod testlerinde kullanılır. Charpy testi için çentik, V şeklinde bir yarıktır, Izod testi için ise çentik, çentikli bir çubuk şeklinde bir yarıktır.

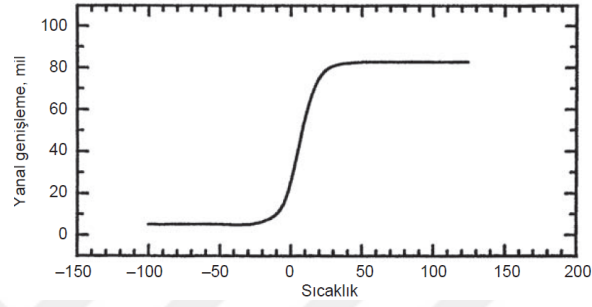
- Darbe Enerjisi Uygulama: Deney, bir darbe çekiçi kullanılarak gerçekleştirilir. Darbe çekiçi, numunenin üzerine belirli bir enerji ile vurur. Bu darbenin etkisi altında çentik bölgesinde gerilimler artar ve çatlak büyüme başlar.

- Kırılma Davranışı Gözlemi: Darbe çekiçi tarafından uygulanan enerji, malzeme numunesine aktarılır. Numune, darbenin etkisi altında çatlak büyümesi ve nihai kırılma yaşanana kadar enerjiyi emer. Deney sırasında çatlak büyümesi ve nihai kırılma davranışı gözlenir ve kaydedilir.

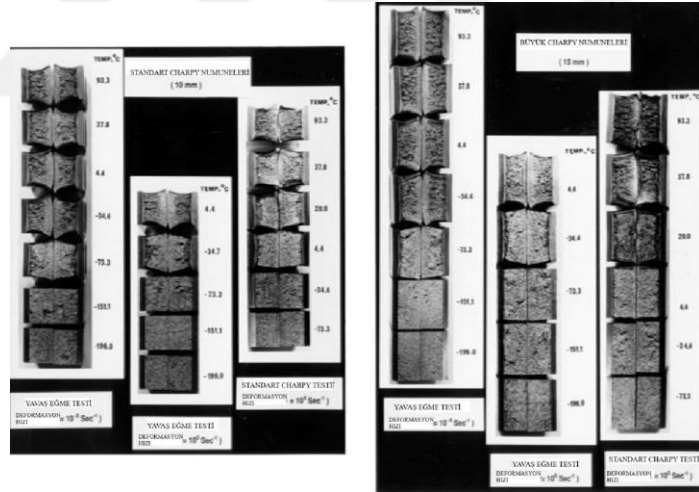
Bu temel unsurlar göz önünde bulundurularak deney gerçekleştirilir. Çentik darbe deneyi sonuçları, malzemenin darbe dayanımı, çatlak yayılma hızı ve kırılma davranışı hakkında önemli bilgiler sağlar. Bu bilgiler, malzemelerin tasarımında ve güvenlik gereksinimlerinin karşılanmasında önemlidir. Çentik darbe deneyi sonuçları, malzemelerin güvenilirliğini değerlendirmek için kullanılır ve aynı zamanda kalite kontrol testleri ve mühendislik tasarım süreçlerinde kullanılır (Bruneau vd., 2011). Çentik darbe deneyi çalışma prensibi, sıcaklığın yanal deformasyona etkisi ve numune kırılma yüzeyleri sırasıyla Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Çentik – Darbe deneyi şematik gösterimi ve çalışma sistemi (Bruneau vd., 2011)



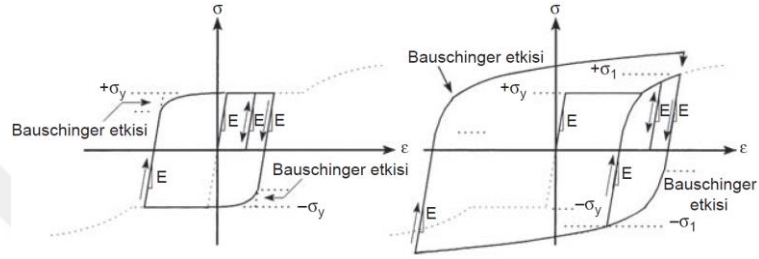
Şekil 3.7. Çentik – Darbe deneyine tabi tutulan numune sıcaklığın yanıl deformasyona etkisi (Bruneau vd., 2011)



Şekil 3.8. Çentik – Darbe deneyine tabi tutulan numune kırılma yüzeyleri (Bruneau vd., 2011)

Çelik, elastik sınırının ötesinde ve plastik aralığa kadar gerildikten sonra, tekrarlanan boşaltma, yeniden yükleme ve gerilmenin tersine çevrilmesi sürecinde bir takım olaylar gözlemlenebilir. İlk olarak, $\sigma = 0$ a kadar boşaltma ve daha önce elde edilen maksimum gerilme seviyesine yeniden yükleme durumunda Şekil 3.9'da gösterildiği gibi orijinal rijitlik E 'ye eşit bir rijitlikte olacaktır. Daha sonra, yine gösterildiği gibi, gerilmenin tersine çevrilmesi üzerine ($\sigma = -\sigma_y$ 'ye), akmanın

başlangıcında gerilme-deformasyon eğrisinde keskin bir köşe bulunmaz; bunun yerine, rijitlik yumuşaması, akmanın aksi, tahmin edilenden daha erken başlamasıyla birlikte yavaş yavaş meydana gelir. Bauschinger etkisi olarak bilinen bu davranış çeliğin doğal bir özelliğidir. Çelik bir yönde yüklendiğinde gerilmenin tersine çevrilmesi gerinim sertleşmesi aralığına ulaşılmadan önce başlatılırsa, Şekil 3.9'da gösterildiği gibi ters yükleme yönünde en sonunda bir akma platosu bulunacaktır. Ancak bir yükleme yönünde gerinim sertleşmesi aralığına girildiğinde akma platosu her iki yükleme yönünde de kaybolur (Bruneau vd., 2011).

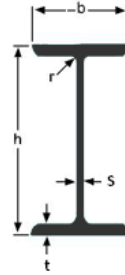


Şekil 3.9. Histerik etkiler altında yapısal çeliğin gerilme şekil değiştirme ilişkisi (Bruneau vd., 2011)

3.3. Yapısal Çelik Elemanları

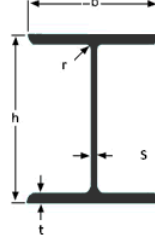
3.4.1. Yapısal Çelik Profiller

Yapısal Çelik Profil Türleri: Yapısal çelik profiller çeşitli biçimlerde üretilir. Bu profiller kesit şekillerine göre isimlendirilebilmektedir. I profiller (I-kirişler): Bu profil, yaygın kullanılan yapısal çelik profillerinden biridir. Kesit görünüşü Şekil 3.10'da gösterilmiştir. I profiller, dikey taşıyıcı elemanlar olarak kullanılır ve yatay yükleri etkin bir şekilde taşıyabilen "I" şeklindeki bir kesite sahiptir (Akdumanlar, 1986).



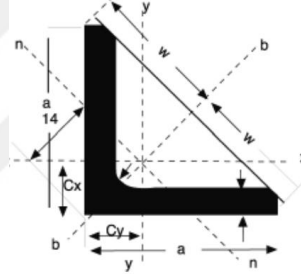
Şekil 3.10. IPN profil kesit görünüşü (Url-3)

H profiller (H-kirişler): H profiller, I profillerle benzerdir, ancak daha geniş bir üst ve alt flanşa sahiptir. Bu durum H profillerin daha büyük yükleri taşımasına imkan sağlar (Akdoğanlar, 1986). Kesit görünüşü Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



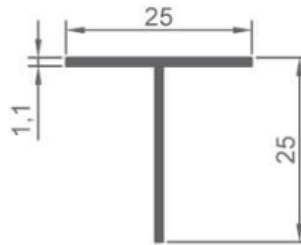
Şekil 3.11. HEA profil kesit görünüşü (Url-4)

L profiller (Köşebent, Koniyer): L profiller genellikle köşelerde veya kenarlar boyunca destek elemanları olarak kullanılır (Çamlıbel,2001). Kesit görünüşü Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



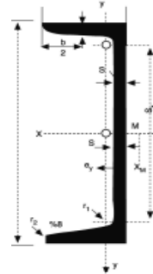
Şekil 3.12. L profil kesit görünüşü (Url-5)

T profiller (T-kirişler): T profiller genellikle yatay ve dikey taşıyıcı elemanları birleştirmek için kullanılır ve "T" şeklinde bir kesite sahiptir (Çamlıbel,2001). Kesit görünüşü Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



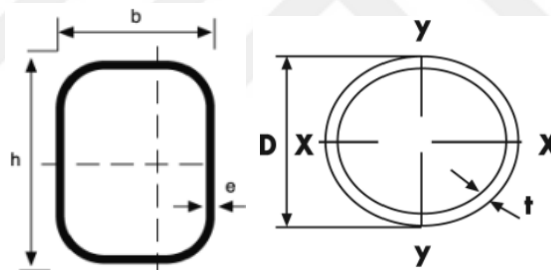
Şekil 3.13. T profil kesit görünüşü (Url-6)

U profiller: U profiller, yatay ve dikey taşıyıcı elemanları birleştirmek için kullanılır ve "U" şeklinde bir kesite sahiptir (Çamlıbel,2001). Kesit görünüşü Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



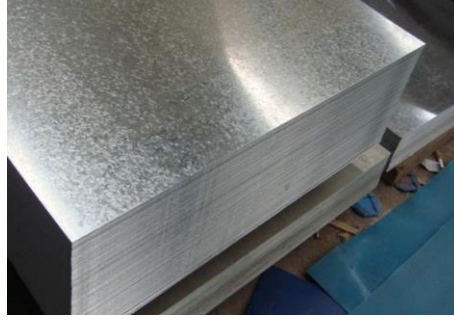
Şekil 3.14. U profil kesit görünüşü (Url-5)

Kutu ve Boru profiller: Burulmaya, Burkulmaya ve Eğilmeye karşı her iki yönde de dayanıklı olmaları sebebiyle tercih edilmektedir. Dolu profillere göre daha hafiftirler. Genellikle stabilite bağlantılarında kullanılmaktadır (Çamlıbel,2001). Kesit görünüşleri Şekil 3.15’te gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kutu ve boru profil kesit görünüşü (Url-5)

Levhalar (Saclar): Genellikle çelik yapıların birleşimi için kullanılan ince malzemelerdir. Kesitleri 10 mm, 12 mm vb. et kalınlıklarına sahiptir. Farklı amaçlar için tercih edilebilirler. Baklavalı saclar, trapez saclar, galvanizli saclar, levhalar gibi çeşitli türleri vardır. Merdiven basamaklarında, döşemelerde bağlantı elemanlarında kullanılırlar (Çamlıbel,2001). Galvanizli sac görünüşü Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Galvanizli sac görünüşü (Url-7)

Malzeme: Yapısal çelik profiller, yüksek mukavemetli karbon çeliğinden üretilir. Bu çelikler, dayanıklılık ve yük taşıma kapasitesi sağlamak için özel olarak işlenir.

Standartlar: Yapısal çelik profiller, genellikle birçok uluslararası standarta uyar. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına uygun profiller yaygın olarak kullanılır.

Montaj: Yapısal çelik profiller, kaynak, civata veya perçin gibi farklı yöntemlerle bir araya getirilebilir. Profil birleşimleri tasarım ve mühendislik gereksinimlerine göre belirlenir.

Yapısal çelik profillerin tasarımı ve kullanımı, mühendisler tarafından titizlikle yapılmalıdır ve yerel yapı yönetmelikleri ve uluslararası standartlar dahilinde olmalıdır. Bu profiller, büyük projelerin inşasında güvenilir ve dayanıklı bir çözüm sağlar (Güler, 2005).

3.3.2. Yapısal Çelik Birleşim Elemanları

Çelik yapılar, birçok farklı bileşenin bir araya getirilmesiyle inşa edilen yapılardır. Çelik yapıların birleşimleri oldukça önemlidir, çünkü doğru birleşim tasarımı ve uygulaması, yapıların dayanıklılığını, güvenliğini ve uzun ömürlülüğünü etkiler. Çelik yapı birleşimleri kaynaklı birleşimler, cıvatalı birleşimler, ve günümüzde kullanılsa da eskiden sık tercih edilen perçinli birleşimler ile yapılmaktadır (Korkmaz, 2019). Çelik yapı birleşim elemanları, birleşim elemanlarının uygulama alanları ve uygulama şekillerine bu bölümde kısaca incelemek olursa;

- **Kaynaklı Birleşimler:** Çelik yapıların birleşimlerinin büyük bir kısmı kaynak kullanılarak yapılır. Birleşimler küt kaynaklı veya köşe kaynaklı olarak yapılabilir. Çeşitli kaynak türleri vardır.

- Ark Kaynağı (Arc Welding): Bu, elektrik arkının kullanıldığı yaygın bir kaynak türüdür. Kaynak elektrodu (elektrot), işlenen çelik parçaların yüzeyi ile temas eder ve yüksek sıcaklıkta bir ark oluşturur. Eriyen elektrot, çelik parçaların birleşim yerine katılarak birleştirilmesini sağlar.

- Oksijen-Gaz Kaynağı (Oxy-Fuel Welding): Bu yöntemde oksijen ve yakıt gazı (asetilen, propan vb.) kullanılır. Oksijen ile gazın karıştırılması, yüksek sıcaklıkta bir alev oluşturur ve çelik elemanları birleştirmek için kullanılır.

- Kaynak Elektrotları: Kaynak elektrotları, çeşitli tip ve özelliklere sahiptir. Elektrotun türü, işlenen çelik ve uygulama türüne bağlıdır. Örneğin, rutil kaplı elektrotlar, bazik kaplı elektrotlar ve asit kaplı elektrotlar gibi farklı tipler mevcuttur.

- Kontrol Edilen Ortamda Kaynak: Çelik kaynaklar sıklıkla kontrollü bir atmosferde (örneğin, inert gaz atmosferi) yapılır. Bu, kaynak sırasında oksidasyonu önler ve daha temiz ve güçlü bir kaynak elde edilmesine yardımcı olur.

- Kaynak İstasyonları ve Ekipmanları: Büyük çelik yapılarda, özel kaynak istasyonları ve ekipmanları kullanılır. Bu ekipmanlar, otomasyon ve hassas kontrol sağlar.

- Kaynak Denetimi ve Belgelendirme: Çelik yapılarda yapılan kaynaklar sık sık denetlenir ve kaynak operatörleri belgelendirilir. Bu, kalite kontrol ve güvenlik sağlamak amacıyla yapılır.

- Kaynak Teknikleri: Kaynak, farklı tekniklerle gerçekleştirilebilir. Bu teknikler, kaynakın kalitesini ve dayanıklılığını etkiler. Örneğin, "TIG" (Tungsten Inert Gas) kaynak ve "MIG" (Metal Inert Gas) kaynak gibi teknikler yaygın olarak kullanılır.

- Kaynak Sonrası İşlemler: Kaynak sonrası işlemler, kaynağın pürüzsüzleştirilmesi, temizlenmesi ve boyanması gibi adımları içerebilir. Bu işlemler, estetik ve koruyucu amaçlar taşır.

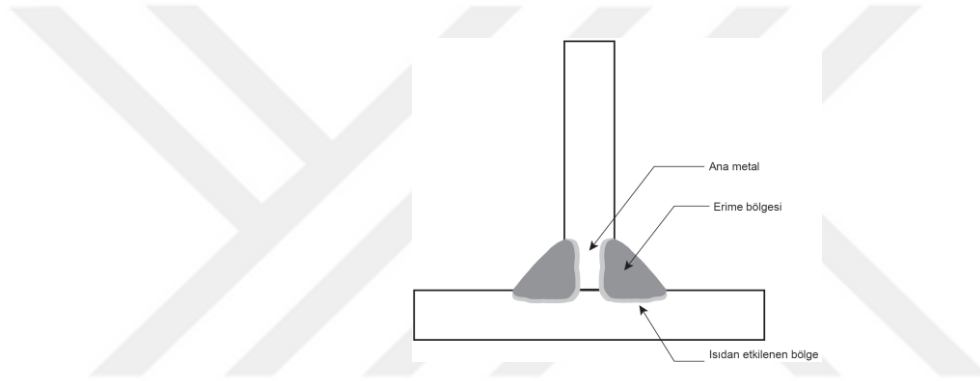
Çelik yapılarda yapılan kaynak, doğru birleşim tasarımı ve kaliteli kaynak operasyonları ile yapısal bütünlüğü sağlamak için kritik bir rol oynar. Kaynak işlemleri, yerel yönetmeliklere ve uluslararası standartlara uygun olarak yapılmalıdır. Bu nedenle, profesyonel kaynakçılar ve mühendisler tarafından yürütülen kaynak işlemleri, güvenli ve dayanıklı çelik yapıların oluşturulmasını sağlar.

- **Küt Kaynaklar:** Çelik levhaların veya profillerin uçlarının bir araya getirilerek kaynak yapılan birleşim türüdür. (Korkmaz, 2019). Birleşim şekli Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Küt kaynak birleşim örneği (Bruneau vd., 2011)

- **Köşe Kaynaklar:** Profil ve plakaların birleşimlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu tür birleşimlerde L şeklinde bir kaynak dikişi oluşturulur. Birleşim şekli Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Köşe kaynak birleşim örneği (Bruneau vd., 2011)

- **Civatalı Birleşimler:** Civatalar, çelik yapıların birleşimlerini sağlamak için kullanılan diğer bir yaygın yöntemdir. Civatalı birleşimler, montajı daha hızlı ve değişiklikleri daha kolay yapılabilir hale getirir. Civatanın yanında civatayı sıkmak için somun ve somunun altına gelen pul kullanılır. Civata ve civatalı birleşim örneği sırasıyla Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

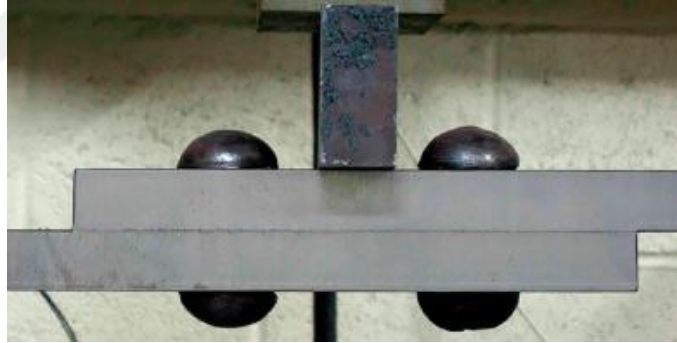


Şekil 3.19. Civata örneği (Url-8)



Şekil 3.20. Civatalı birleşim örneği (Url-8)

- **Bağlantı Plakaları:** Bağlantı plakaları, iki çelik elemanın birleştirilmesi için kullanılan metal plakalardır. Bu plakalar, civatalar veya kaynaklar aracılığıyla yapı elemanlarını birleştirmek için kullanılır.
- **Perçinli Birleşimler:** Çelik yapıların birleşimlerini sağlamak için perçinler de kullanılabilir. Perçinler, delikler aracılığıyla elemanları birbirine bağlamak için kullanılır. Perçinli birleşim örneği Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Perçinli birleşim örneği (Url-8)

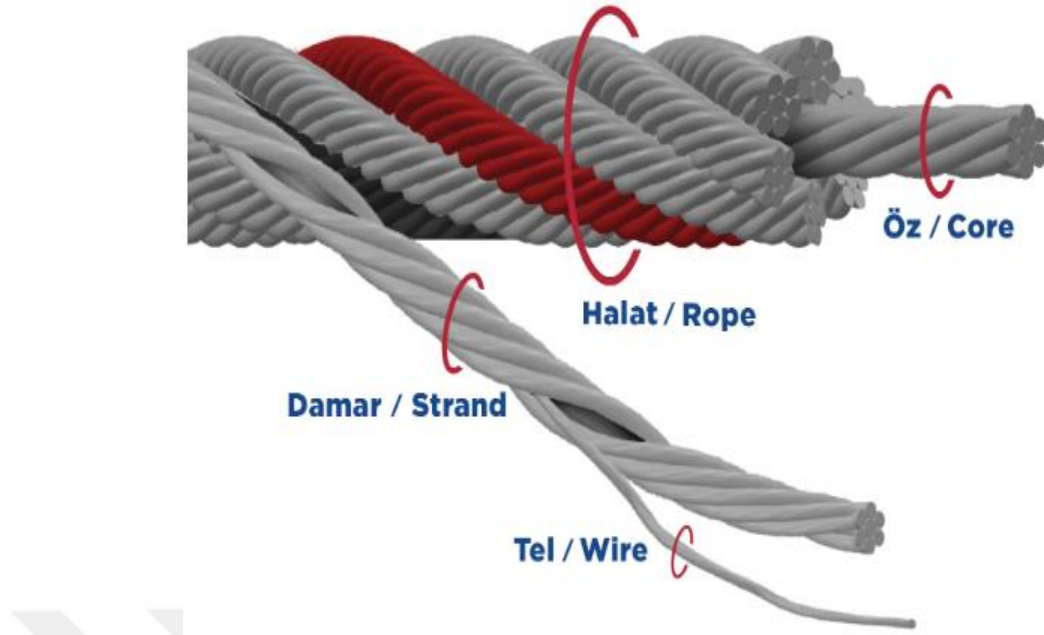
- **Yüksek Mukavemetli Civatalar:** Bazı çelik yapılar, özellikle köprüler ve binalar gibi büyük ve ağır yapılarda, yüksek mukavemetli civatalar kullanır. Bu civatalar daha büyük yükleri taşımak için tasarlanmıştır (Bruneau vd., 2011).

3.4. Çelik Halat Özellikleri

Kapsamlı bir yelpazede bulunan çelik halatlar, 6 mm'den başlayarak 83 mm'ye kadar değişen çap aralıklarında üretilmektedir. Bu çok yönlü halatlar, inşaat, denizcilik, balıkçılık, petrol, madencilik gibi çeşitli sektörlerde ve asansörler, vinçler gibi farklı uygulamalarda uzun yıllardır kullanılmaktadır. Çelik halatlar aşınmaya, yüksek gerilme kuvvetlerine ve zorlu çevresel koşullara karşı dayanıklıdır. Bu nedenle ağır hizmet koşullarında güvenilir bir seçenektir. Çelik halatlar, uzun ömürlüdür ve geri dönüşüme uygun oldukları için çevre dostu bir seçenektir. Ayrıca, uzun vadeli ekonomik bir yatırım sunarlar. Çelik halatlar, yüksek karbonlu çelik tellerden üretilir. Bu teller, yüksek mukavemetleri nedeniyle yük taşıma kapasitesi için uygundur. Ürünler, federal spesifikasyonlarına uygunluğun yanı sıra uluslararası standartlara uyumlu bir şekilde üretilmektedir. Çelik halatlar, gücü, dayanıklılığı ve çok yönlülüğü nedeniyle birçok endüstri ve uygulama için vazgeçilmez bir malzemedir. Bu yüksek kaliteli halatlar, dünya genelinde giderek daha fazla tercih edilmekte ve birçok ülkede kullanılmaktadır. Güçlü, dayanıklı ve güvenilir yapısıyla bu halatlar, geniş bir endüstri yelpazesi tarafından güvenle kullanılmaktadır (URL-9). Çelik halat görünüşü ve halat yapısı sırasıyla Şekil 3.22 ve 3.23'te gösterilmiştir. Ayrıca örnek bir halat kesitinin tel akma dayanımına göre kopma yük değerleri de Şekil 3.24'te gösterilmiştir.



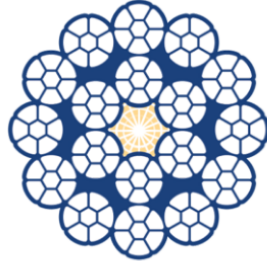
Şekil 3.22. Çelik halat görünüşü (Url-9)



Şekil 3.23. Çelik halat yapısı
(Url-9)

CelikFlex K187 FC - 18x7 FC KISMİ DÖNME
DİRENÇLİ ÇELİK HALATLAR

Çap Aralığı: 8-36(mm)
Tel Sayısı: 126
Ortalama Doluluk Faktörü: 0,559
Ortalama Bükme Faktörü: 0,757



Yüksek Mukavemet



Tolerans



Yağlı



Şekillendirilmiş



Kompakt



Fırdondü Kullanılır



18 x 7 FC KOMPAKT		Minimum Kopma Yüğü (kN) [Tel Çekme Dayanımına Göre]			
Halat Çapı(mm)	Birim Ağırlık (kg/m)	1570 [N/mm ²]	1770 [N/mm ²]	1960 [N/mm ²]	2160 [N/mm ²]
8	0,2588	38,9	43,8	48,6	50,8
9	0,3276	49,2	55,5	61,4	64,3
10	0,4044	60,8	68,5	75,9	79,3
11	0,4893	73,5	82,9	91,8	96,0
12	0,5824	88	99	109	114
13	0,6835	103	116	128	134
14	0,7927	119	134	149	156
15	0,9099	137	154	171	179
16	1,0353	156	175	194	203
17	1,1688	176	198	219	229
18	1,3103	197	222	246	257
19	1,4599	219	247	274	286
20	1,6177	243	274	303	317
21	1,7835	268	302	335	350
22	1,9574	294	332	367	384
23	2,1394	321	362	401	420
24	2,3294	350	395	437	457
25	2,5276	380	428	474	496
26	2,7339	411	463	513	536
27	2,9482	443	499	553	578
28	3,1706	476	537	595	622
29	3,4011	511	576	638	667
30	3,6398	547	617	683	714
36	5,2412	788	888	983	1028

Şekil 3.24. Örnek bir çelik halat kesiti ve halat çapına ve tel akma dayanımına göre kopma yüğü
(Url-9)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında oluşturulan 2 boyutlu portal çerçeve modelleri ve 3 boyutlu yapı modeli, ülkemizde yürürlükte olan yönetmelik ve standartlara uygun olarak tasarlanmıştır. Çelik yapı tasarımı “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHY – 2016)’a göre, deprem yükü hesabı “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’ e göre yapılmıştır. Deprem yükü hesabı 2 boyutlu portal çerçevelerde ve 3 boyutlu mevcut ve güçlendirilmiş yapı modelinde eşdeğer deprem yükü yöntemine göre gerçekleştirilmiştir. Analizler Sap 2000 V.25 programı yardımıyla yapılmıştır. Yapının kendi ağırlığı göz önünde bulundurularak kaplama yükü, hareketli çatı yükü, kar yükü, rüzgâr kuvveti ve deprem kuvveti göz önüne alınarak yapı tasarımı gerçekleştirilmiştir. Kar yükü hesabı TS EN 1991 –1–3 “Yapılar Üzerindeki Etkiler – Kar Yükleri” (TS EN 1991–1–3, 2007)’ye göre yapılmıştır. Rüzgâr yükleri ise TS EN 1991–1–4 “Yapılar Üzerindeki Etkiler Rüzgâr Etkileri” (TS EN 1991–1–4)’ e göre hesaplanmıştır.

4.1. ÇYTHY – 2016’ ya göre Tasarım Kriterleri

Tasarım ağır çelik elemanlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bakımdan ÇYTHY 2016 kapsamında belirtilen karakteristik et kalınlığı 2.5 mm’ den az olmayan boru ve kutu profiller ile elemanların karakteristik kalınlıkları en az 4.0 mm olan çelik yapı elemanları kullanılarak model oluşturulmuştur. Yapı malzemesi ÇYTHY – 2016 yönetmelik Bölüm 2.1.1 uyarınca TS EN 10025 (TS EN 10025, 2005)’e uygun sıcak haddelenerek üretilmiş çelik profiller ve levhalar ile EN 10210 (TS EN 12010-1,2006) ve EN 10219 (TS EN 10219-1,2008)’e uygun olarak üretilen malzeme özelliklerine uygun olarak belirlenmiştir. ÇYTHY 2016 Tablo 2.1A sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerde karakteristik akma gerilmesi, F_y ve çekme dayanımı, F_u ile ÇYTHY 2016 Tablo 2.1B yapısal boru ve kutu profillerde karakteristik akma gerilmesi, F_y ve çekme dayanımı, F_u sırasıyla Tablo 4.1 ve şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerde karakteristik akma ve çekme dayanımı

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40$ mm		$40\text{mm} < t \leq 80$ mm	
	F _y (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _y (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)
EN 10025-2				
235	235	360	215	360
275	275	430	235	410
355	355	510	335	470
440	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL-1	460	570	440	550

Tablo 4.2. Boru ve kutu profillerde karakteristik akma ve çekme dayanımı

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40$ mm		$40\text{mm} < t \leq 80$ mm	
	F _y (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)	F _y (N/mm ²)	F _u (N/mm ²)
EN 10210-1				
S235 H	235	360	215	340
S275 H	275	430	255	410
S355 H	355	510	335	490
S275 NH/NLH	275	390	255	370
S355 NH/NLH	355	490	335	470
S420 NH/NLH	420	540	390	520
S460 NH/NLH	460	560	430	550
EN 10219-1				
S235 H	235	360		
S275 H	275	430		
S355 H	355	510		
S275 NH/NLH	275	370		
S355 NH/NLH	355	470		
S460 NH/NLH	460	550		
S275 MH/MLH	275	360		
S355 MH/MLH	355	470		
S420 MH/MLH	420	500		
S460 MH/MLH	460	530		

Yapı tasarımı ÇYTHY 2016 Bölüm 5 esas alınarak yapılmıştır. Yapı elemanları için Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) ve Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) olarak 2 farklı tasarım yöntemi önerilmiştir. Bu tez çalışmasında YDKT yöntemine göre tasarım yapılmıştır. Yapı tasarımında ve sonuçlar karşılaştırılırken dayanım ve kullanılabilirlik sınır durumları göz önünde bulundurularak sonuçlar yorumlanmıştır. Gerekli dayanımı belirlemek için kullanılan yükler ve yük birleşimleri ÇYTHY 2016 Bölüm 5.3 ve Bölüm 5.3.1 'den esas alınarak aşağıdaki gibi yük birleşimleri oluşturulmuştur. Yük birleşimlerinde yer alan yükler aşağıda verilmiştir.

G: Sabit yük

Q: Hareketli yük

Q_r: Çatı hareketli yükü

S: Kar yükü

R: Yağmur yükü

W: Rüzgâr yükü

E: Deprem etkisi

F: Akışkan madde basınç yükü

T: Sıcaklık değişmesi ve /veya mesnet çökmesi etkileri

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

ÇYTHY 2016 Bölüm 5.3.1'de sırasıyla F,H ve T yüklerinin mevcut olması halinde yük birleşimlerine gireceği belirtilmektedir. Bu yüklerin mevcut olmamasından kaynaklı bu çalışmada yük birleşimlerine dahil edilmemiştir.

Kullanılan çelik yapı yük birleşimleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

(1) 1,4G

(2a) 1,2G+1,6(Q_r veya S veya R)

(2b) 1,2G+1,6Q+0,5(Q_r veya S veya R)

(3) 1,2G+1,6(Q_r veya S veya R)+(Q veya 0,8W)

(4) 1,2G+1,0Q+0,5(Q_r veya S veya R)+1,6W

(5) 1,2G+1,0Q+0,2S+1,0E

(6) 0,9G+1,6W

(7) 0,9G+1,0E

4.2. TBDY – 2018’ e göre Tasarım Kriterleri

TBDY 2018 göz önünde bulundurularak yapılan tasarımlarda deprem kuvveti etkisi, kolon ve eğimli çatı kirişlerinin birbirlerine bağlanmasıyla oluşan 2 boyutlu portal çerçeve tasarım tipleri, mevcut yapı modeli ve güçlendirilmiş yapı modeli için dayanıma göre tasarım (TBDY 2018, Bölüm 4) prensipleri çerçevesinde eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanarak hesaplanmıştır. TBDY 2018 Madde 1.2.1 uyarınca deprem etkisi altında yeni binaların tasarımında ve mevcut binaların değerlendirilmesinde esas alınacak deprem yer hareketi düzeyleri TBDY 2018 Bölüm 2’de tanımlanmıştır. Bu deprem yer hareketi düzeylerine karşı gelen deprem etkileri, 22/01/2018 tarih ve 2018/11275 sayılı Bakanlar Kurulu kararı ile yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanmıştır. Deprem Yer Hareket Düzeyi olarak tasarım depremi olan DD-2 (DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir.) kullanılmıştır. Zemin sınıfı ZD olarak seçilmiştir. Yerel zemin sınıfına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları TBDY 2018 Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verilmiştir. TBDY 2018 Tablo 2.1 ve Tablo 2.2 sırasıyla Tablo 4.3 ve Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı, F_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,50$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,00$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
ZC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
ZD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
ZE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

Tablo 4.4. 1.0 saniye. periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı, F_1					
	$S_1 \leq 0,10$	$S_1 = 0,20$	$S_1 = 0,30$	$S_1 = 0,40$	$S_1 = 0,50$	$S_1 \geq 1,50$
ZA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
ZC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
ZD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
ZE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır.					

AFAD deprem tehlike haritasından elde edilen kısa periyot harita spektral ivme katsayısı ve 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı verileri Sap2000 (Sap2000) programına girilmiştir. Sap2000 programı aracılığıyla yönetmeliğe uygun olarak S_s ve S_1 değerlerini yerel zemin etki katsayılarıyla çarparak tasarım ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} 'e dönüştürerek hesaba dahil edilmiştir. Yatay elastik tasarım spektrumu ve düşey elastik tasarım spektrumu periyoda bağlı olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda kullanılan Bina önem Katsayısı ve Bina Kullanım Sınıfı TBDY 2018 Tablo 3.1'e göre 1 olarak belirlenmiştir. 2 boyutlu portal çerçevede düzensizlik durumu söz konusu değildir. Bununla beraber mevcut ve güçlendirilmiş sanayi yapı modelleri göz önünde bulundurulduğunda 3 boyutlu yapı modelinde de herhangi bir düzensizlik durumu bulunmamaktadır. Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) ve Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D) TBDY 2018 Tablo 4.1' den yararlanılarak çaprazlarla desteklenen düzlem için $R=4$ ve $D=2,5$ olarak belirlenmiştir. Çapraz olmayan düzlem için ise $R=4$ ve $D=2$ olarak belirlenmiştir. Tasarlanan sanayi yapısında bodrum bulunmamaktadır. Eşdeğer deprem yüküne göre hesap yapılan 2 boyutlu portal çerçeve analizlerinde deprem etkileri TBDY 2018 4.4.2'e göre yatayda birbirine dik doğrultuda birleştirilmiştir. Kullanılan denklemler Denklem 4.1 ve Denklem 4.2'de gösterilmiştir. Deprem etkisi TBDY Bölüm 4.4.4'e göre diğer etkilerle birleştirilmiştir. Kullanılan denklemler Denklem 4.3 ve Denklem 4.4'de gösterilmiştir. Sönüm oranı %5 alınmıştır.

$$E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0,3E_d^{(Y)} \quad (4.1)$$

$$E_d^{(H)} = \pm 0,3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)} \quad (4.2)$$

$$G + Q + 0,2S + E_d^{(H)} + 0,3E_d^{(Y)} \quad (4.3)$$

$$0,9G + H + E_d^{(H)} - 0,3E_d^{(Z)} \quad (4.4)$$

Buradaki terimler;

- $E_d^{(H)}$: Doğrultu birleştirilmesi uygulanmış tasarıma esas deprem etkisi
- $E_d^{(X)}$: (X) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
- $E_d^{(Y)}$: (Y) doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
- $E_d^{(Z)}$: (Z) düşey doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisi
- G: Sabit yük
- H: Yatay zemin basıncı
- Q: Hareketli yük
- S: Kar yükü

Şeklinde ifade edilir.

4.3. TS 1991-1-3' e göre Tasarım Kriterleri

TS EN 1991-1-3'de belirtilen kar yükünün belirlenmesi için gerekli şartlar ve bağıntılar kullanılarak kar yükleri etki ettirilmiştir. Bölüm 4.5 Portal Çerçeve Tasarımı ve Bölüm 4.6 Üç boyutlu yapı Tasarımın'da kullanılan bağıntılar ve esaslar belirtilmiştir.

4.4. TS 1991-1-4' e göre Tasarım Kriterleri

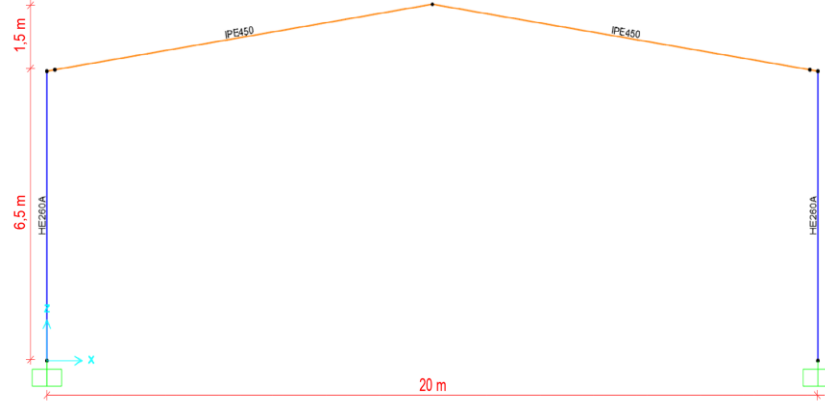
TS EN 1991-1-4' de belirtilen rüzgâr yükünün belirlenmesi için gerekli şartlar ve bağıntılar kullanılarak rüzgâr yükleri etki ettirilmiştir. Modellenecek yapıda kullanılan bağıntılar ve esasları Bölüm 4.5 Portal Çerçeve Tasarımı ve Bölüm 4.6 Üç Boyutlu Yapı Tasarımın' da gösterilmiştir.

4.5. İki Boyutlu Portal Çerçeve Tasarımı

4.5.1. Portal Çerçeve Geometrik Özellikleri

Tasarlanan portal çerçevenin kolon yüksekliği 6,5 m, açıklığı 20 m, zeminden makas mahya yüksekliği 8,5 m ve çatı eğimi %15'dir. İki boyutlu tasarımda kullanılacak yükleri belirlemek ve zayıf yöndeki burkulma boyunu tespit etmek için 9 adet aşık kullanılması uygun görülmüştür. 2 portal çerçeve arası mesafenin ise 6 m olduğu düşünülmüştür. Tasarımda kullanılacak profiller ise kolonlar da HEA260, kirişler de (makaslar) IPE450 olarak belirlenmiştir. Portal çerçeveye referans tasarım

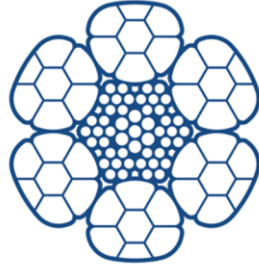
tipi dışındaki diğer tasarım tiplerinde 24 mm anma çapında çelik ard germe halatı modellenmiştir. Modellenen portal çerçeve ölçüleri ve kullanılan profiller Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Diğer yandan kullanılan çelik ard germe halatı özellikleri de Şekil 4.2’de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1. Portal çerçeve geometrisi ve profiller

ÇelikForest II 67 SWAGED ÇELİK HALATLAR

Çap Aralığı: 8-25(mm)
Tel Sayısı: 91
Ortalama Doluluk Faktörü: 0,806
Ortalama Bükme Faktörü: 0,84

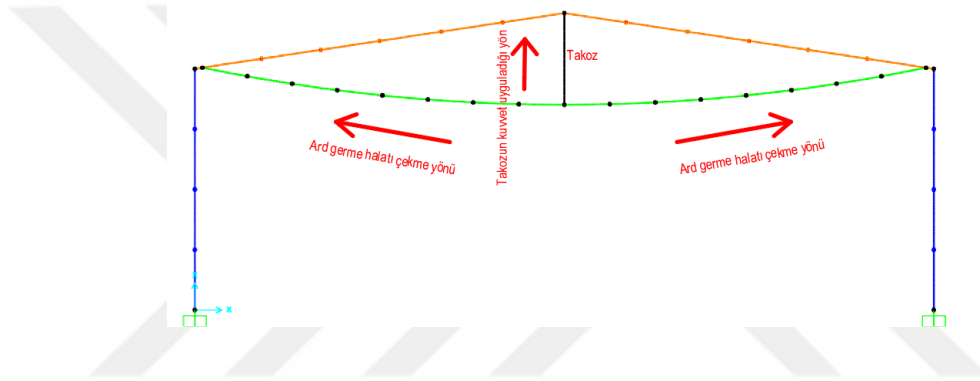


6x17 IWRC 6[1+6]				
Halat Çapı(mm)	Regular Swage (I)		Premium Swage (II)	
	Birim Ağırlık (kg/m)	MBL (kN)	Birim Ağırlık (kg/m)	MBL (kN)
		1960 [N/mm ²]		1960 [N/mm ²]
8	0,348	57,0	0,348	63,5
9	0,425	70,4	0,441	77,6
10	0,510	93,1	0,555	101,3
11	0,602	109,9	0,652	118,9
12	0,703	128,2	0,811	137,9
13	0,811	147,9	0,926	158,3
14	0,926	169,0	1,050	180,1
15	1,050	191,6	1,181	203,4
16	1,181	215,5	1,392	228,0
17	1,320	240,8	1,542	254,0
18	1,466	267,6	1,700	281,5
19	1,620	295,7	1,866	310,3
20	1,782	325,3	2,058	340,6
21	1,952	356,2	2,251	372,2
22	2,129	388,6	2,452	405,3
23	2,325	422,4	2,662	439,8
24	2,519	457,5	2,878	475,7
25	2,721	494,1	3,103	513,0

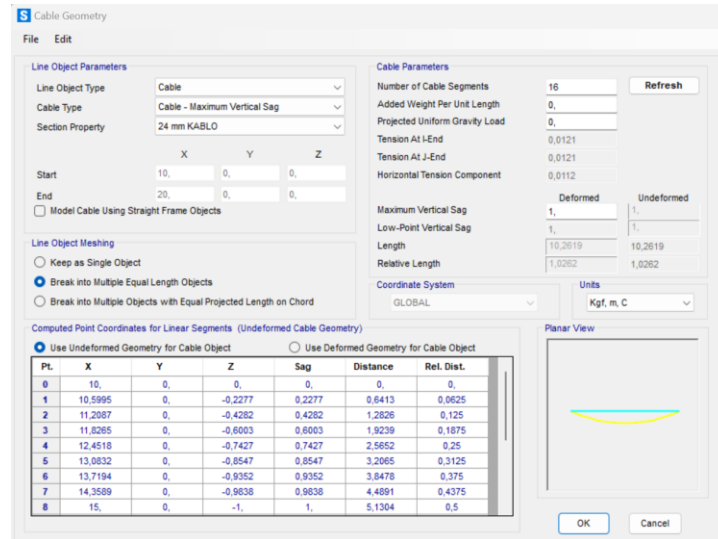
Şekil 4.2. Çelik ard germe halat özellikleri (Url-9)

Portal çerçevenin referans modelleri kolon kiriş bağlantıları ankastre ve mafsallı olacak şekilde sırasıyla TTRA (Tasarım Tipi Referans Model Ankastre Birleşim) ve TTRM (Tasarım Tipi Referans Model Mafsallı Birleşim) olarak isimlendirilmiştir. Kullanılan diğer referans modelleri aynı tipin kolon kiriş bağlantıları ankastre olan ve mafsallı olan modellerden oluşturulmuştur. Ard germe halatının ve rijit takozlarında modelin içinde yer alacağı bu modeller TT1A, TT1M, TT2A, TT2M, TT3A ve TT3M şeklinde isimlendirilmiştir. Bu tasarım tipleri referans modellerle aynı geometrik ölçülere sahiptir. Tasarım tiplerini birbirlerinden farklı kılacak olan rijit takozların

konumu ve sayısıdır. Çalışmanın temel prensibi ard germe halat kuvvetinin rijit takozlar yardımıyla makaslara aktarılmasıdır. Bu sayede makas ve kolonlardaki gerilmelerdeki değişimler elde edilmiştir. Modellenen halatın makas mahya noktasından yaklaşık 2,5 m sarkmasıyla oluşturulacak olan halat geometrisi ve belirlenen 30 tonluk bir çekme kuvvetine maruz bırakılan ard germe halatının takoz yardımıyla makasa olan olumlu/olumsuz etkisi incelenmiştir. Ard germe halatının yaklaşık 45 ton yük taşıyabileceği Şekil 4.5'ten yararlanarak göz önünde bulundurulduğunda, ard germe halatına 30 ton yük verilerek kapasitesi %67 oranında kullanılmış ve emniyetli tarafta kalınmıştır. Çalışma prensibi TT1A üzerinden şekil 4.3'de gösterilmiştir. Kullanılacak halat geometrik parametreleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sistem çalışma prensibi

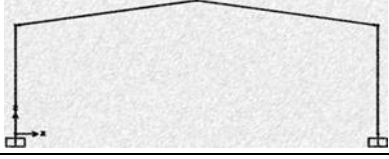
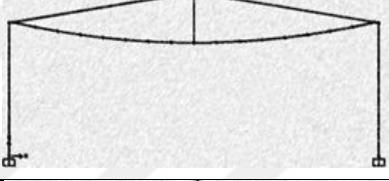
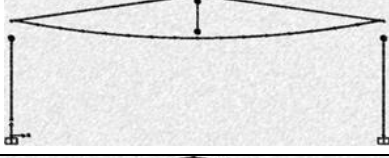
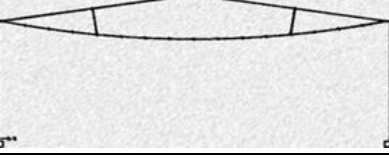
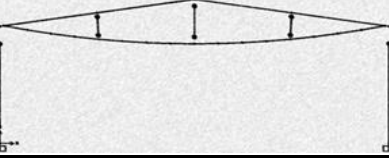


Şekil 4.4. Halat geometrik parametreleri

Farklı tasarım tiplerinin iki boyutta analizleri sonucunda elde edilecek en uygun tasarım tipi üç boyutlu analizde kullanılmıştır. Bu bakımdan seçilen tasarım tipleri

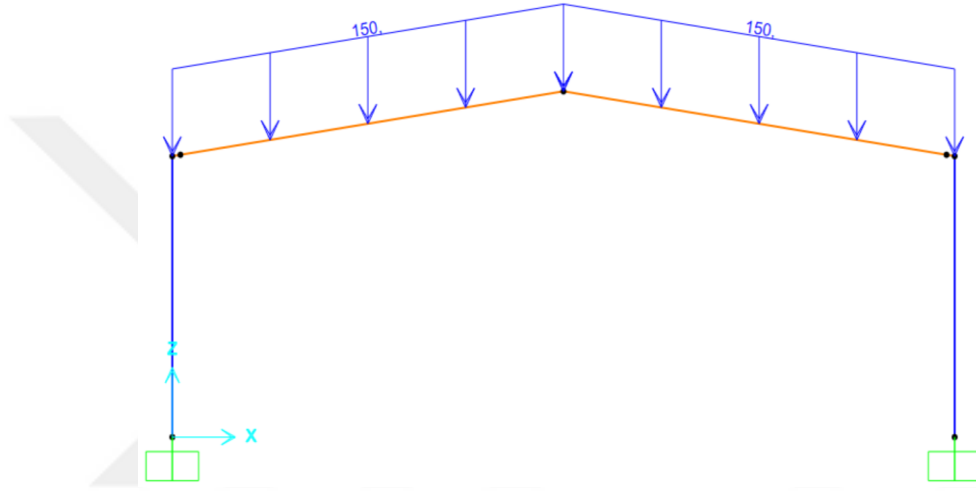
arasında, kesitleri en çok zorlayan yük birleşimleri altında kesitlerin talep/kapasitesini en fazla arttıran tasarım tipi ilk olarak belirlenmiştir. 2 boyutlu analizde yer alan tasarım tipleri Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Tasarım tipleri

Tasarım Tipleri	Portal Çerçeve Geometrisi	Birleşim Tipi
TTRA		Ankastre
TTRM		Mafsallı
TT1A		Ankastre
TT1M		Mafsallı
TT2A		Ankastre
TT2M		Mafsallı
TT3A		Ankastre
TT3M		Mafsallı

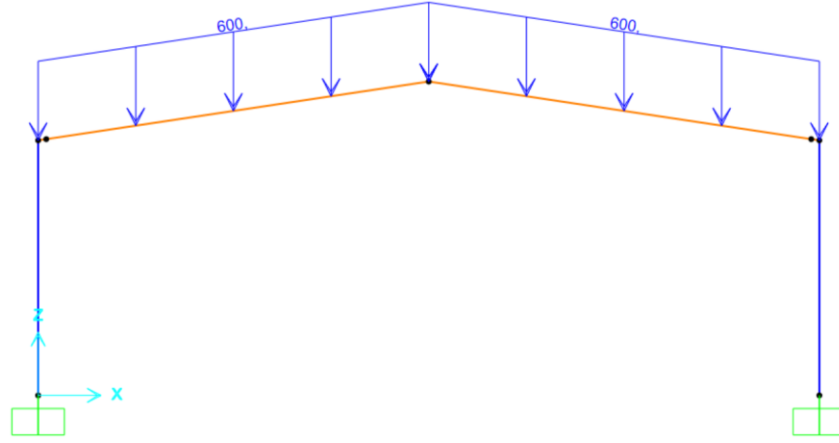
4.5.2. Portal Çerçeve Yük ve Tasarım Esasları

Portal çerçeve tasarımında tasarlanan modele; çerçeve ağırlığı (G), çerçeve kaplama ağırlığı (G_k), kar yükü (S), rüzgâr kuvveti (W_x) ve deprem kuvveti (E_x) etki ettirilmiştir. Çerçeve ağırlığı Sap2000 programından otomatik olarak hesaplanarak etki ettirmektedir. Kplama ağırlığı 25 kg/m^2 olacak şekilde tasarlanmıştır. Buna göre 6 m portal çerçeve ara mesafesi olduğu düşünölmüş ve makaslara 150 kg/m yük etki ettirilmiştir. Çerçeveye etkiyecek kaplama ağırlığı yükü Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



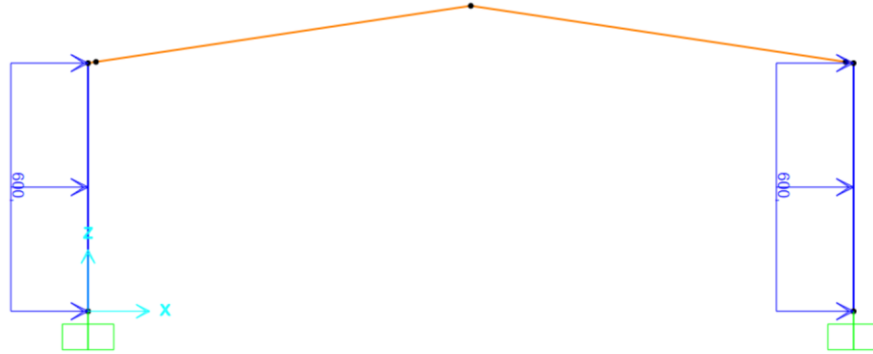
Şekil 4.5. Çerçeveye etkiyen kaplama yükü (G_k , kg/m)

Makaslara etkiyen kar yükü (S) TS EN 1991-1-3' e göre hesaplanmıştır. Buna göre Konya ilinde olduğu varsayılan çerçevenin rakımı 1016 m olarak hesaba katılmıştır. Topografik bölgenin normal olduğu düşünölerek C_e katsayısı 1 alınmıştır. Çatı eğimi de göz önünde bulundurulduğunda, kar yükü yaklaşık 100 kg/m^2 olarak elde edilmiştir. Portal çerçeve ara mesafesi 6 m olarak düşünöldüğünden , çerçeveye etkiyen kar yükü 600 kg/m olarak belirlenmiştir. Çerçeveye etkiyen kar yükü şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çerçeveye etkiyen kar yükü (S , kg/m)

Çerçeveye etkiyen rüzgâr kuvveti, çerçeve analizi 2 boyutlu düzlemde gerçekleştirileceği için tek yönlü rüzgâr etkisine maruz bırakılmıştır. Yalnızca x ekseninde ve yalnızca kolonlara rüzgâr kuvveti etki ettirilmiştir. TS EN 1991-1-4 göz önüne alınarak rüzgâr kuvveti yapı geometrisine uygun olarak arazi kategorisi 3'e göre hesaplanmıştır. Yapılan hesap sonucunda çerçeveye etki eden rüzgâr kuvvetinin yaklaşık 100 kg/m^2 olduğu görülmüştür. Buna göre 6 m portal çerçeve ara mesafesi bulunduğundan çerçeveye 600 kg/m rüzgâr kuvveti etki ettirilmiştir. Çerçeveye etkiyen rüzgâr kuvveti Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Çerçeveye etkiyen rüzgâr kuvveti (W_x , kg/m)

Çerçeveye etkiyen deprem kuvveti (E_x), TBDY 2018'e göre hesaplanmıştır. TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği binalar (Tablo 4.4) incelenerek bina türünün ve izin verilen bina yükseklik sınıfının eş değer deprem yükü yöntemi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Deprem ivmeleri için AFAD deprem tehlike haritası göz önünde bulundurulmuştur. Konya Valiliği koordinatları esas alınmıştır. C_t katsayısı 0,08, eksantrisite değeri %5 ve uzun periyot 6 sn. olarak yapıya

etki ettirilmiştir. Elde edilen veriler Sap2000 programına tanımlanmıştır. Çerçeve analizi 2 boyutlu düzlemde gerçekleştirildiği için deprem etkisi tek yönlü olarak düşünülmüştür. Çerçeveye etkiyen deprem kuvveti parametreleri şekil 4.8’de gösterilmiştir.

Şekil 4.8. Çerçeveye etkiyen deprem kuvveti parametreleri (E_x)

İki boyutlu portal çerçeve tasarımı Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım yönetmeliğine uygun olacak şekilde AISC 360-16 yönetmeliğine göre yapılmıştır (AISC360-16, 2016). Tasarım prensibi olarak Yük ve Dayanım Katsayılarına Göre Tasarım (YDKT) prensibi kullanılmıştır. Kullanılan yük birleşimleri de ÇYTHYE 2016 Bölüm 5.3.1’e uygun olarak belirlenmiştir. Tasarımda kullanılacak çerçeve tipi ise süneklik düzeyi sınırlı merkezi çaprazlı çelik çerçeveler olarak belirlenmiştir. Talep/kapasite oranları belirlenerek tasarım yapılmıştır. Talep-kapasite oranı, nihai yük kombinasyonundan kaynaklanan iç kuvvetler ile yapısal eleman kapasitesi arasındaki ilişkiyi gösterir (Lumondang vd., 2022). Eleman hangi kuvvetin etkisi altındaysa o etkiye uygun talep/kapasite oranı elde edilir. Örneğin çift simetri eksenli bir eleman eğilme momenti ve eksenel kuvvet etkisindeyse talep/kapasite oranı ÇYTHY 2016 Bölüm 11.1.1 Denklem 11.1a veya 11.1b’ye göre belirlenir. ÇYTHY 2016 Bölüm 11.1.1 Denklem 11.1a veya 11.1b sırasıyla Denklem 4.5 ve 4.6’da gösterilmiştir.

$$\frac{Pr}{Pc} \geq 0,2 \text{ için } \frac{Pr}{Pc} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (4.5)$$

$$\frac{Pr}{Pc} < 0,2 \text{ için } \frac{Pr}{2Pc} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (4.6)$$

Kullanılan terimler açıklanacak olursa;

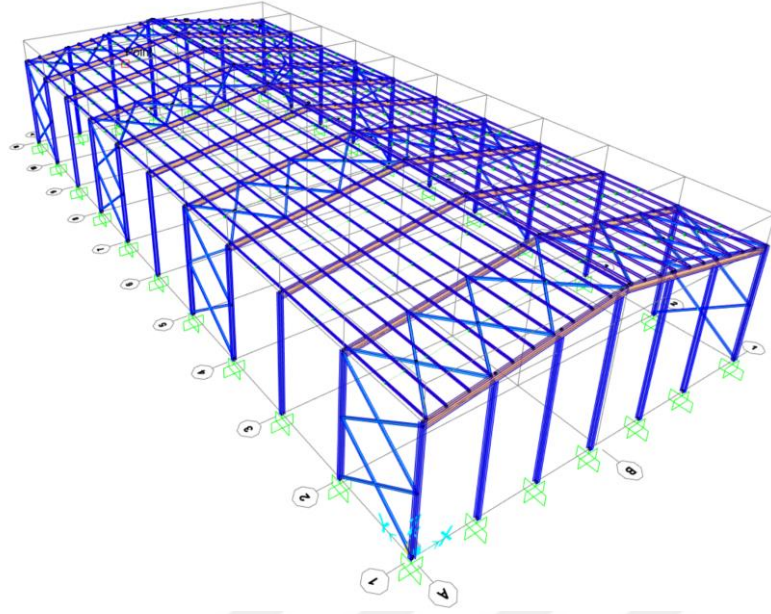
- P_r : Eksenel kuvvet dayanımı
- P_c : Mevcut eksenel basınç kuvveti dayanımı
- M_r : Gerekli eğilme momenti dayanımı
- M_c : Mevcut eğilme momenti dayanımı
- x : Kuvvetli eksen gösteren alt indis
- y : Zayıf eksen gösteren alt indis ,şeklinde ifade edilir.

4.6. Üç Boyutlu Yapı Tasarımı

Yapılan çalışmada 3 boyutlu yapı tasarımı mevcut bir sanayi yapısı referans alınarak gerçekleştirilmiştir. 2 boyutlu portal çerçeve analizlerinden elde edilen sonuçlara göre optimum tasarım tipi mevcut sanayi yapısı üzerinde kullanılarak mevcut yapı üzerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Söz konusu yapının geometrik özellikleri ve yük ve tasarım esasları sırasıyla Bölüm 4.6.1 ve 4.6.2’de gösterilmiştir.

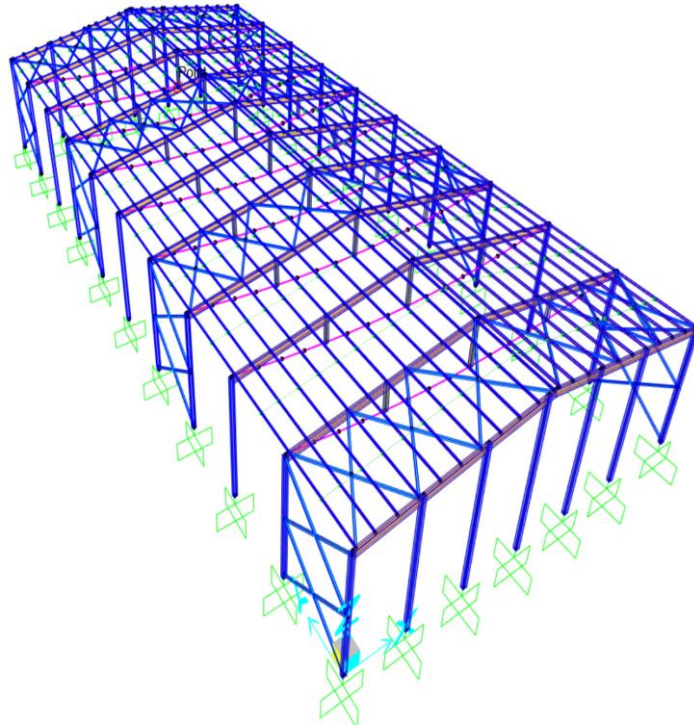
4.6.1. Üç Boyutlu Yapı Geometrik Özellikleri

Tasarlanacak yapının kolon yüksekliği 8 m, açıklığı 25 m, zeminden makas mahya yüksekliği 10 m ve çatı eğimi %15’dir. Yapının makasları arasındaki mesafe 5.5 metredir. Toplam yapı uzunluğu 55 m’dir. Yapıda her aşık arası mesafenin yaklaşık 1.25 m’dir Her bir yanda 10 adet aşık mevcuttur (toplamda 20 adet aşık mevcuttur). Tasarımda kullanılan profiller ise kolonlar da HEA280, rüzgâr kolonlarında HEA200, kirişler de (makaslar) IPE400, aşıklarda IPE180, çapraz elemanlarında RHS100x3’dür. Mevcut yapı modeli dışında güçlendirilen yapı modeli için tasarım tipi 3A’da olduğu gibi 24 mm anma çapına sahip çelik halat ve takozlar yardımıyla makaslar güçlendirilmiştir. Yapı modelinin perspektif görünüşü Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



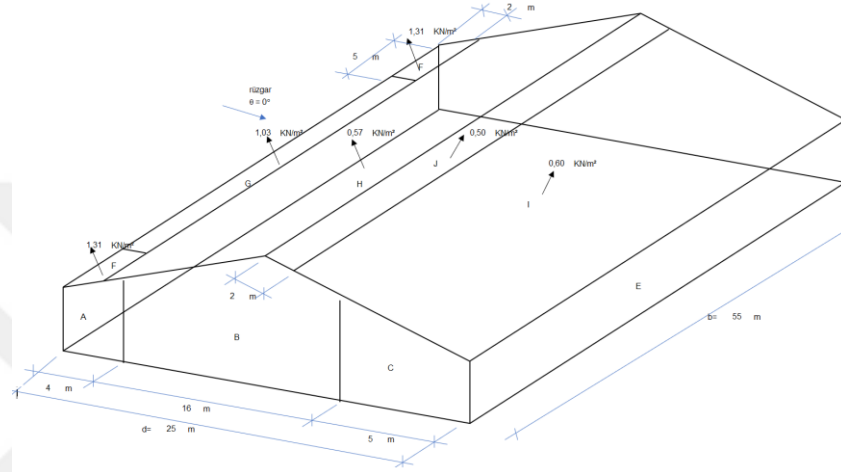
Şekil 4.9. Yapı modeli perspektif görünüş

Güçlendirilmiş yapıda farklı olarak ard germe halatları ve takozlar ilave edilmiştir. Bunun dışında güçlendirilmiş yapı modeli üzerinde mevcut yapıdan farklı bir değişim yapılmamıştır. Güçlendirilmiş yapı modeli perspektif görünüşü Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Güçlendirilmiş yapı modeli kesit görünüşü ise Şekil 4. 11'de verilmiştir.

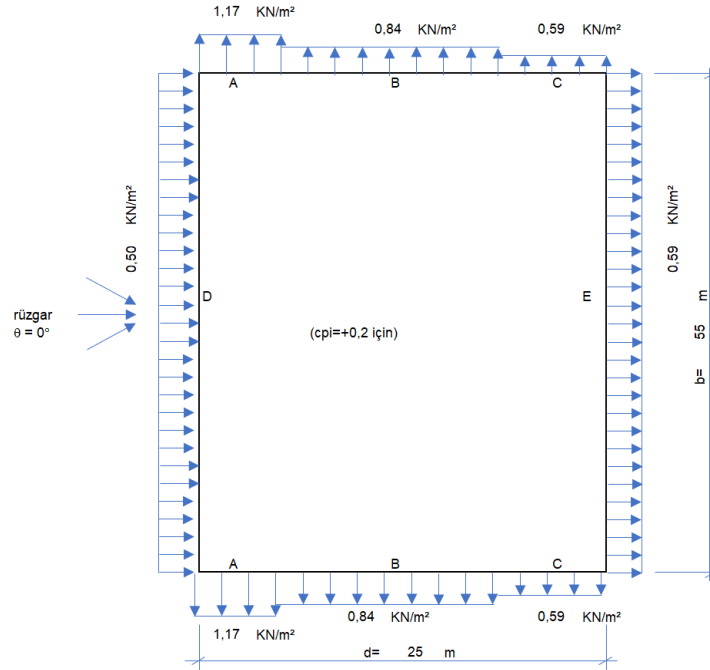


Şekil 4.10. Güçlendirilmiş yapı modeli perspektif görünüşü

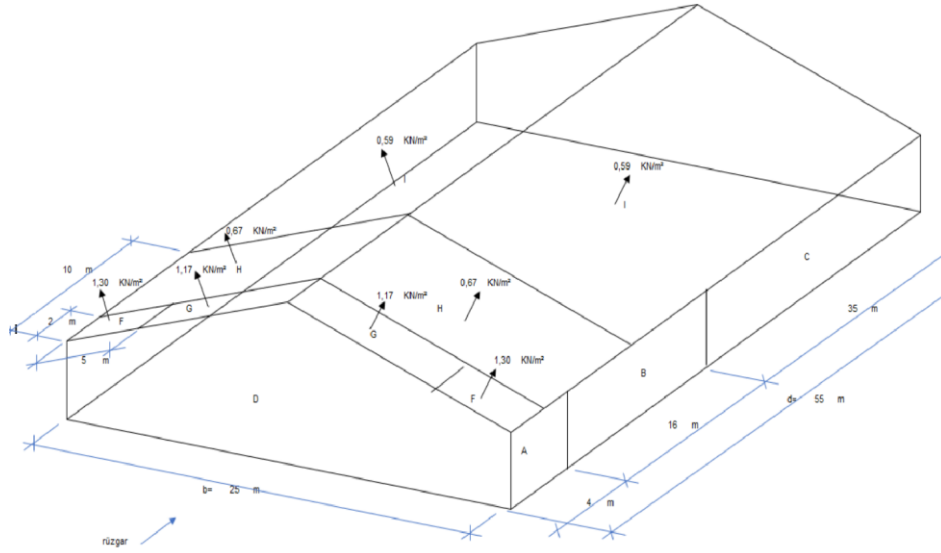
Çerçeveye etkiyen rüzgâr kuvveti (W_x , W_y) TS EN 1991-1-4' göre hesaplanmıştır. Mevcut ve güçlendirilmiş yapı modeli analizleri 3 boyutlu düzlemde gerçekleştirildiği için rüzgâr etkisi iki yönlü olarak X ve Y eksenleri doğrultusunda etki ettirilmiştir. Rüzgâr kuvveti yapı geometrisine uygun olarak arazi kategorisi 3'e göre hesaplanmıştır. Yapılan hesap sonucunda çerçeveye etki eden rüzgâr kuvveti excel yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.



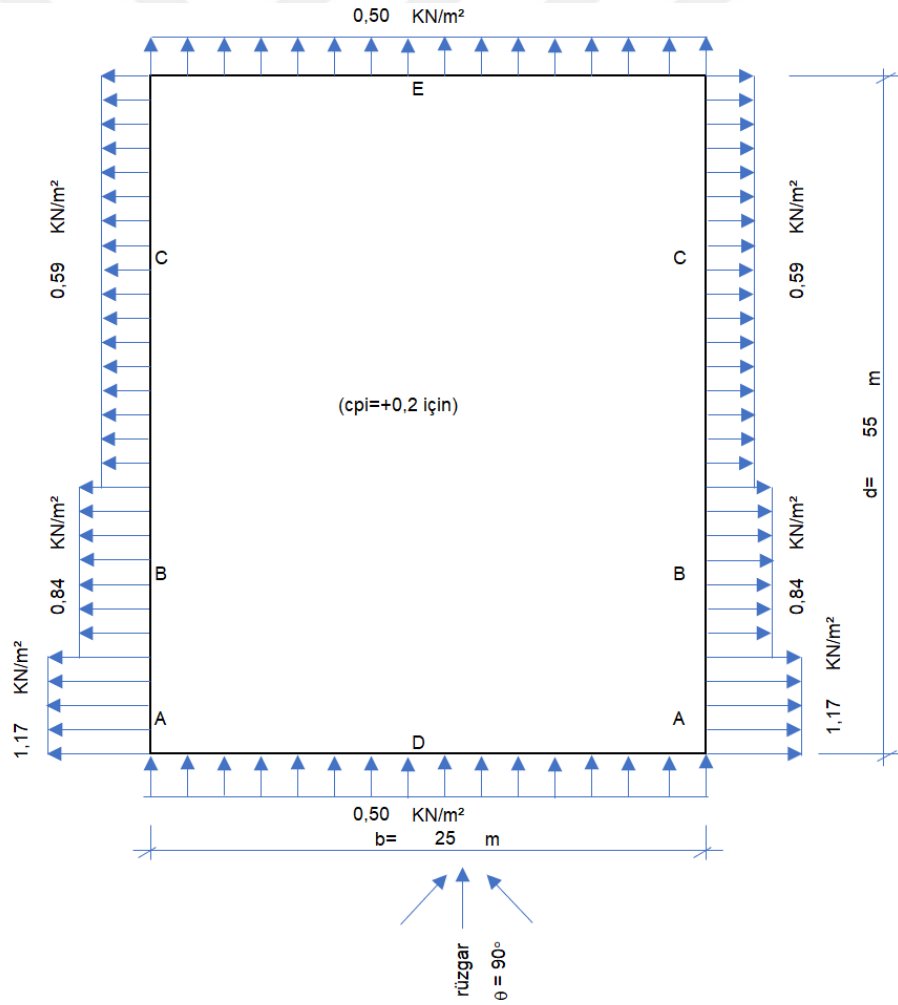
Şekil 4.15. Modele etkiyen çatı rüzgâr yükü hesap değerleri (W_x)



Şekil 4.16. Modele etkiyen cephe rüzgâr yükü hesap değerleri (W_x)

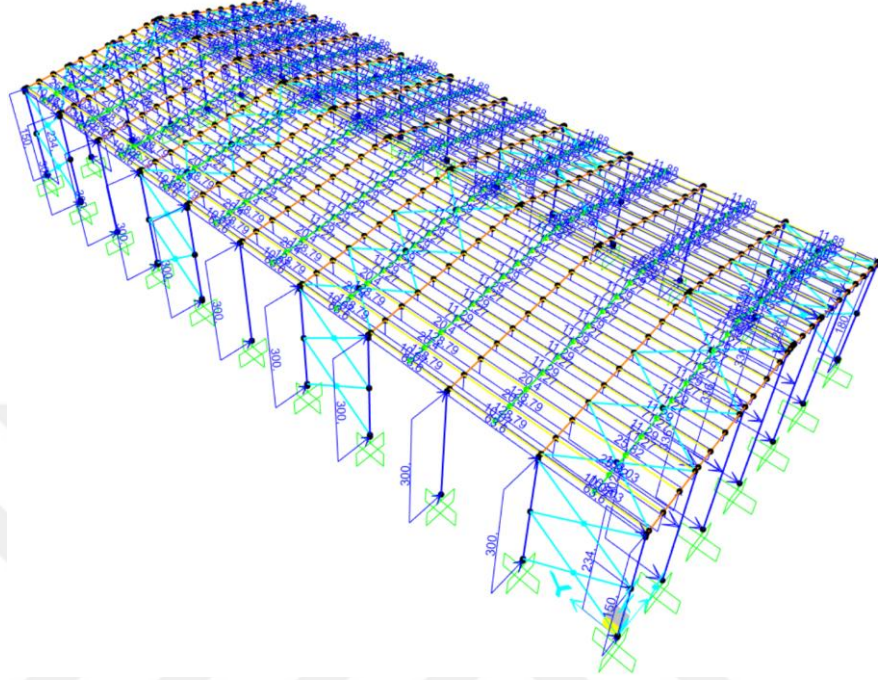


Şekil 4.17. Modele etkiyen çatı rüzgâr yükü hesap değerleri (W_y)

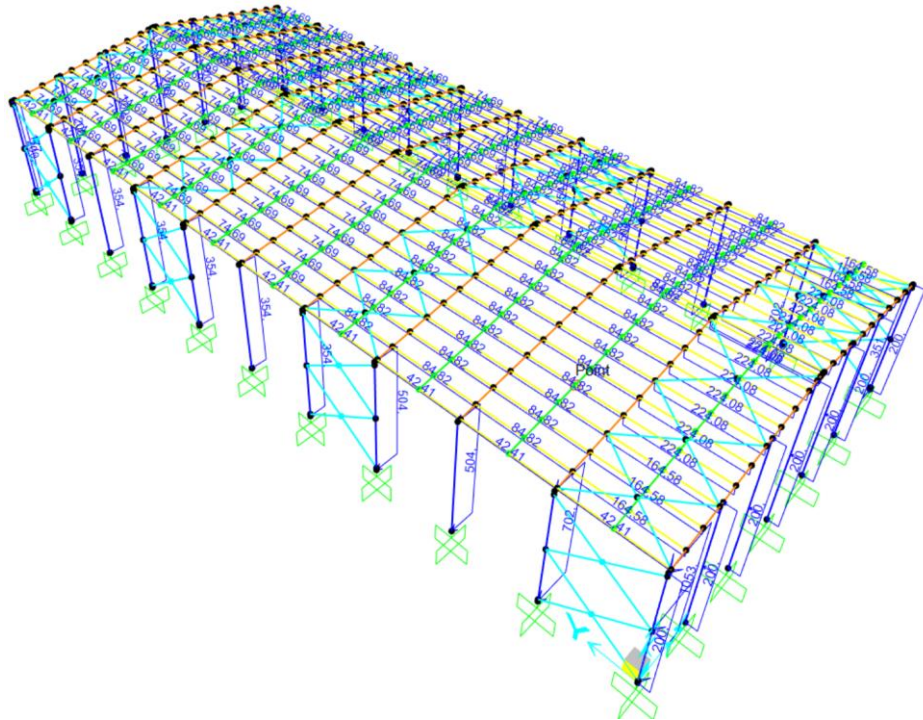


Şekil 4.18. Modele etkiyen cephe rüzgâr yükü hesap değerleri (W_y)

Metrekareye etkiyen rüzgâr yükleri 3 boyutlu yapı modelinin aşıklar ve kolonlarına çizgisel yük olarak etki ettirilmiştir. Modele etkiyen rüzgâr yükleri sırasıyla Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Modele etkiyen rüzgâr yükü (W_x , kg/m)



Şekil 4.20. Modele etkiyen rüzgâr yükü (W_y , kg/m)

Yapıya etkiyen deprem kuvveti (E_x), TBDY 2018'e göre hesaplanmıştır. TBDY 2018'e göre eşdeğer deprem yükünün uygulanabileceği binalar (Tablo 4.4) incelenerek bina türünün ve izin verilen bina yükseklik sınıfının eş değer deprem yükü yöntemi için uygun olduğu tespit edilmiştir. Deprem ivmeleri için AFAD deprem tehlike haritası göz önünde bulundurulmuştur. Yapı koordinatları esas alınmıştır. C_t katsayısı 0.08, eksantrisite değeri %5 ve uzun periyot 6 sn. olarak yapıya etki ettirilmiştir. Elde edilen veriler Sap2000 programına tanımlanmıştır. Tanımlanan yatay deprem parametre değerleri Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

The screenshot shows the 'TSC-2018 Seismic Load Pattern' dialog box. The 'Load Direction and Diaphragm Eccentricity' section has 'Global X Direction' selected. 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0.05. The 'Time Period' section has 'Program Calc' selected with 'Ct (m), x =' set to 0.08; 0.75. The 'Lateral Load Elevation Range' section has 'Program Calculated' selected. The 'Seismic Coefficients' section shows '0.2 Sec Spectral Accel, Ss' as 0.31, '1 Sec Spectral Accel, S1' as 0.08, and 'Long-Period Transition Period' as 6. 'Site Class' is 'ZD'. 'Site Coefficient, Fs' is 1.556 and 'Site Coefficient, F1' is 2.4. 'Calculated Coefficients' shows 'SDS = Fs * Ss' as 0.4824 and 'SD1 = F1 * S1' as 0.1752. The 'Factors' section shows 'Response Modification, R' as 4, 'System Overstrength, D' as 2.5, and 'Occupancy Importance, I' as 1.

Şekil 4.21. Yapıya etkiyen deprem kuvveti parametreleri (E_x)

The screenshot shows the 'TSC-2018 Seismic Load Pattern' dialog box. The 'Load Direction and Diaphragm Eccentricity' section has 'Global Y Direction' selected. 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0.05. The 'Time Period' section has 'Program Calc' selected with 'Ct (m), x =' set to 0.08; 0.75. The 'Lateral Load Elevation Range' section has 'Program Calculated' selected. The 'Seismic Coefficients' section shows '0.2 Sec Spectral Accel, Ss' as 0.31, '1 Sec Spectral Accel, S1' as 0.08, and 'Long-Period Transition Period' as 6. 'Site Class' is 'ZD'. 'Site Coefficient, Fs' is 1.552 and 'Site Coefficient, F1' is 2.4. 'Calculated Coefficients' shows 'SDS = Fs * Ss' as 0.4811 and 'SD1 = F1 * S1' as 0.192. The 'Factors' section shows 'Response Modification, R' as 4, 'System Overstrength, D' as 2, and 'Occupancy Importance, I' as 1.

Şekil 4.22. Yapıya etkiyen deprem kuvveti parametreleri (E_y)

Ayrıca TBDY 2018 Bölüm 4.3.3 göz önünde bulundurularak düşey deprem etkisi Denklem 4.7 kullanılarak hesaplanmıştır. Yapıya etki eden düşey deprem kuvveti $2/3 \times 0,4811 \times G = 0,321G$ olarak Sap2000 programına tanımlanmıştır. Tanımlanan düşey deprem etkisi Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

$$E_d^{(Z)} = (2/3)S_{DS}G \quad (4.7)$$

Buradaki terimler;

- G: Sabit yük etkisini
- $E_d^{(Z)}$: (Z) düşey doğrultusundaki tasarıma esas deprem etkisini
- S_{DS} : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısını, ifade etmektedir

Load Case Data - Linear Static

Load Case Name: Ez **Set Def Name** **Notes:** Modify/Show...

Load Case Type: Static **Design...**

Stiffness to Use: ☒ Zero Initial Conditions - Unstressed State ☐ Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Analysis Type: ☒ Linear ☐ Nonlinear

Mass Source: Kutle

Loads Applied:

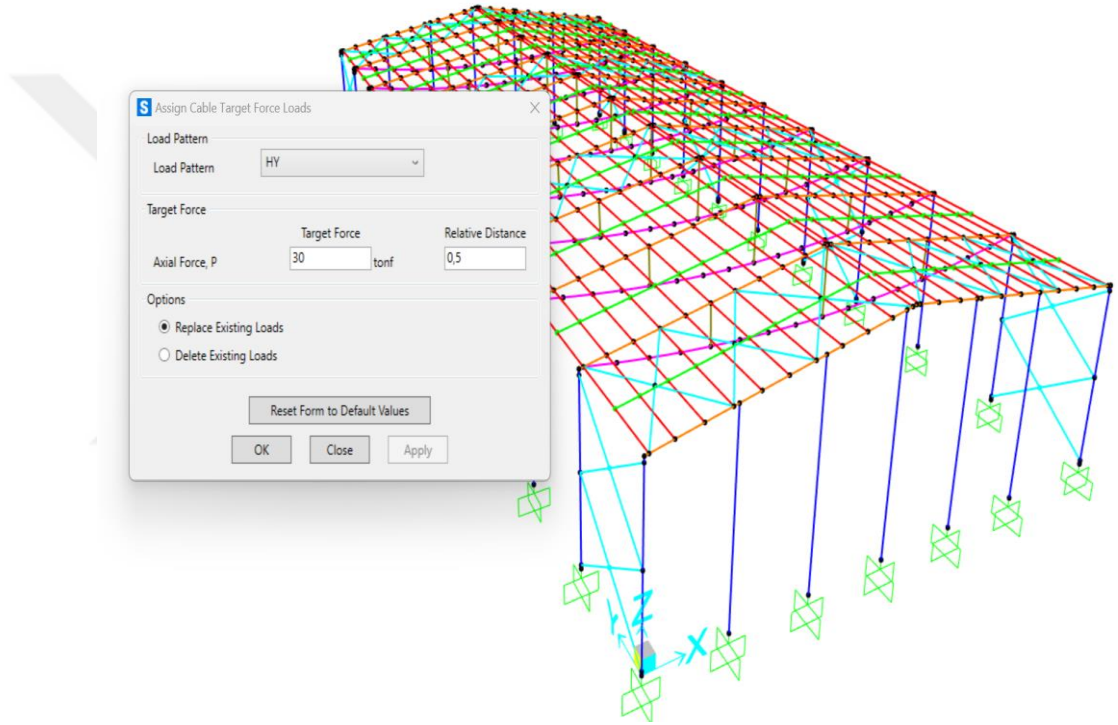
Load Type	Load Name	Scale
Load Pattern	Gk	0,321
Load Pattern	G	0,321
Load Pattern	Gk	0,321

Add **Modify** **Delete** **OK** **Cancel**

Şekil 4.23. Düşey deprem etkisi

Güçlendirilmiş yapıya ek olarak ard germe halatı yükü etki ettirilmiştir. Ard germe halatı bütün modellerde aynı özelliklere sahip olacak şekilde kullanılmıştır. Halatın geometrik özelliklerinin değişimi halat üzerindeki ard germe kuvvetini doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple halat geometrisinin yüke olan etkisini azalmak için ard germe kuvvetinde küçük değişiklikler yapılmıştır. Bu sayede halat üzerindeki ard germe kuvveti 30 ton olarak ayarlanmaya çalışılmıştır. Sap2000 programı halat geometrisini oluşturmak için çeşitli seçenekler sunmaktadır. Bunlar arasından düşey yöndeki maksimum sehim miktarının belirlenmesiyle oluşturulan kablo geometrisi bu

Çalışma için en kullanışlı seçenek olmuştur. Bütün modellerde halatın kendi ekseninde 1 m sehim yapması sağlanmıştır. Kablo yükü ise hedef yükleme olarak tanımlanmıştır. Hedef yükleme : Yapının kar yükü, kaplama yükü ve l yükü, rüzgâr kuvveti ve deprem kuvveti altında kabloya verilen ard germe kuvveti ile birlikte kablonun hedeflenen gerilmesini ifade etmektedir. Bu çalışmada 30 ton olarak göz önüne alınmıştır. Sistemde az da olsa ard germe halatları arasında kuvvet farkı ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte hedef yüklemeden bir miktar uzaklaşılmıştır. Ancak bu fark önemsenmeyecek derecede az olduğundan (yaklaşık %0,5) dikkate alınmamıştır. Tanımlanan hedef yükleme şekil 4.24'te gösterilmiştir.



şekil 4.24. Ard germe halatı hedef yükleme değeri

5. ANALİZ VE TASARIM SONUÇLARI

Yapılan çalışma sonucunda ilk etapta 2 boyutlu portal çerçeve analizleri gerçekleştirilmiştir. Belirlenen tasarım tiplerinin her biri için ayrı ayrı gerçekleştirilen analiz sonucunda yapıdaki normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment diyagramları incelenmiştir. İç kuvvet diyagramlarının yanında yapıdaki talep/kapasite oranları da incelenerek tasarım tipleri arasından yapıya en uygun katkıyı sağlayacak olan tasarım tipi belirlenmeye çalışılmıştır. 2 boyutlu yapıya optimum katkıyı sağlayan tasarım tipi referans alınarak, mevcut 3 boyutlu bir yapı üzerinde düşünülen tasarım tipinin ne gibi etkiler gösterdiği incelenmiştir. Buradan yola çıkarak iki boyutlu portal çerçeve analizleri ve 3 boyutlu yapı modeli analiz sonuçları sırasıyla Bölüm 5.1 ve Bölüm 5.2’de gösterilmiştir.

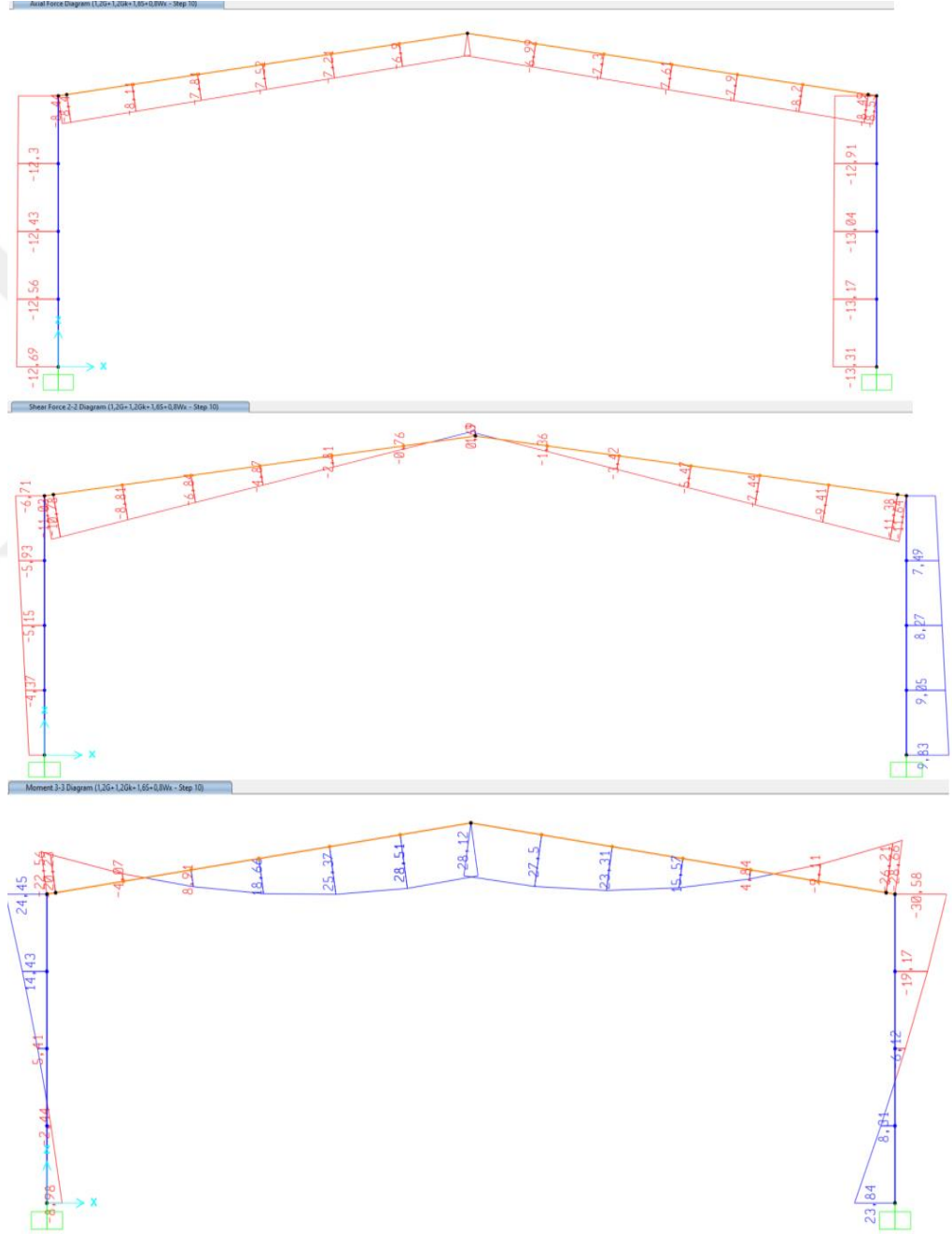
5.1. Portal Çerçeve Analiz Sonuçları

5.1.1. İç Kuvvet Diyagramları

Bu bölümde tüm tasarım tipleri için çerçeve analizleri sonucunda maksimum etkiyi gösteren yük birleşimi altında normal kuvvet diyagramları, kesme kuvveti diyagramları ve moment diyagramları incelenmiştir. Portal çerçeve üzerinde maksimum etkiyi gösteren yük birleşimleri $1,2G+1,6S+0,8W_x$ ve $1,2G+1,6S-0,8W_x$ yük birleşimleri olmuştur. İki yük birleşiminde birbirinden farklı olarak rüzgâr kuvveti yönünde farklılık olduğundan sadece $1,2G+1,2G_k+1,6S+0,8W_x$ yüklemesi altındaki grafiklerin belirtilmesi yeterli görülmüştür. Bu bakımdan sadece $1,2G+1,2G_k+1,6S+ 0,8W_x$ yük birleşimi altındaki iç kuvvet diyagramları incelenmiştir.

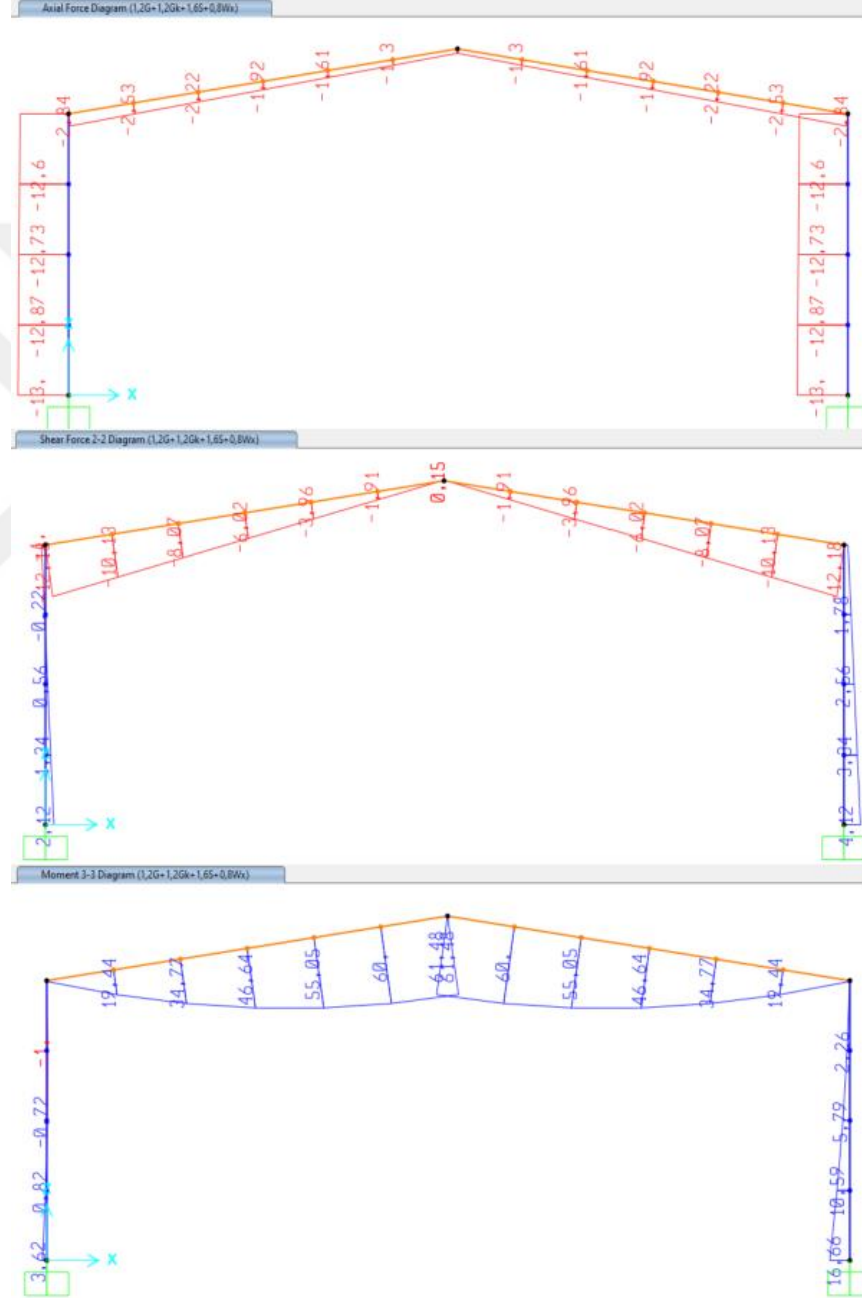
5.1.1.1. TTRA İç kuvvet Diyagramları

TTRA için iç kuvvet diyagramları Şekil 5.1'den görüldüğü üzere, kolonlarda maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 13,31, 9,81 ve 30,58 elde edilirken, kirişlerde sırasıyla 8,53, 11,63 ve 28,65 olarak elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



5.1.1.2. TTRM İç kuvvet Diyagramları

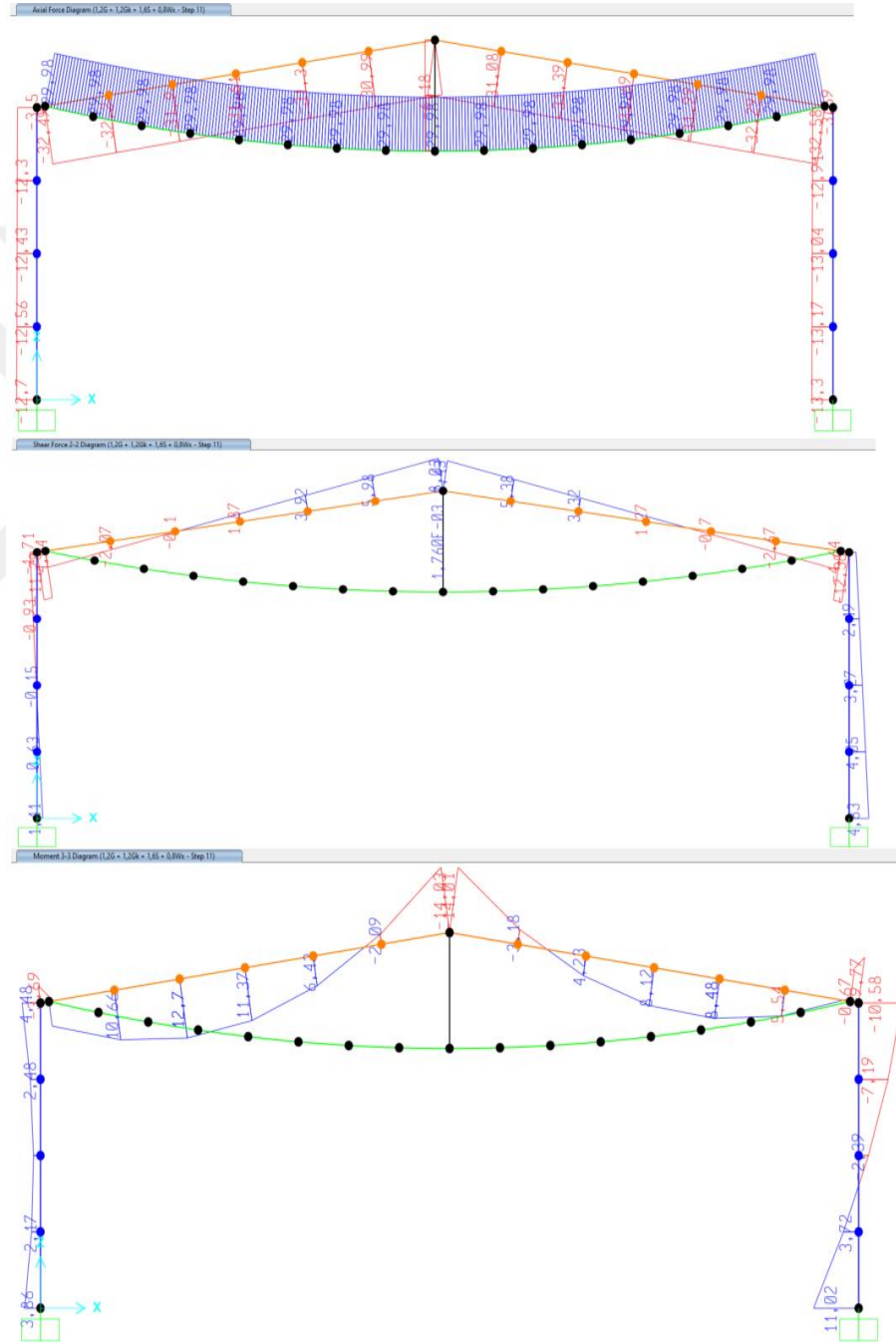
TTRM için iç kuvvet diyagramları Şekil 5.2' den görüldüğü üzere, kolonlarda maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 13,00, 4,12 ve 16,66 elde edilirken kirişlerde sırasıyla 2,84, 12,18 ve 61,48 olarak elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.2. TTRM iç kuvvet diyagramlar

5.1.1.3. TT1A İç kuvvet Diyagramları

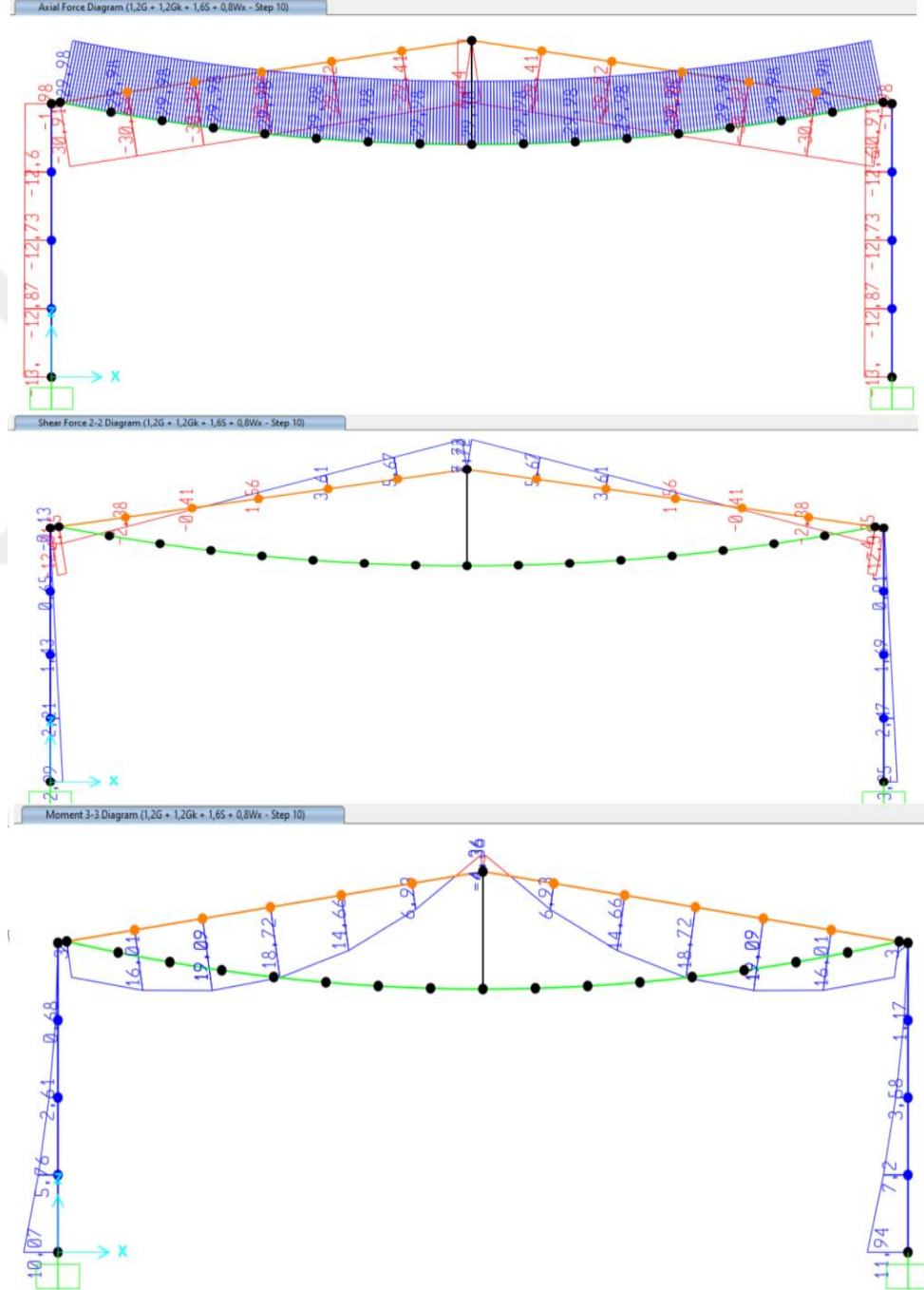
TT1A için iç kuvvet diyagramları Şekil 5.3' den görüldüğü üzere, kolonlarda maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 13,30, 4,83 ve 11,02 elde edilirken kirişlerde sırasıyla 31,58, 12,37 ve 14,03 elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.3. TT1A iç kuvvet diyagramları

5.1.1.4. TT1M İç kuvvet Diyagramları

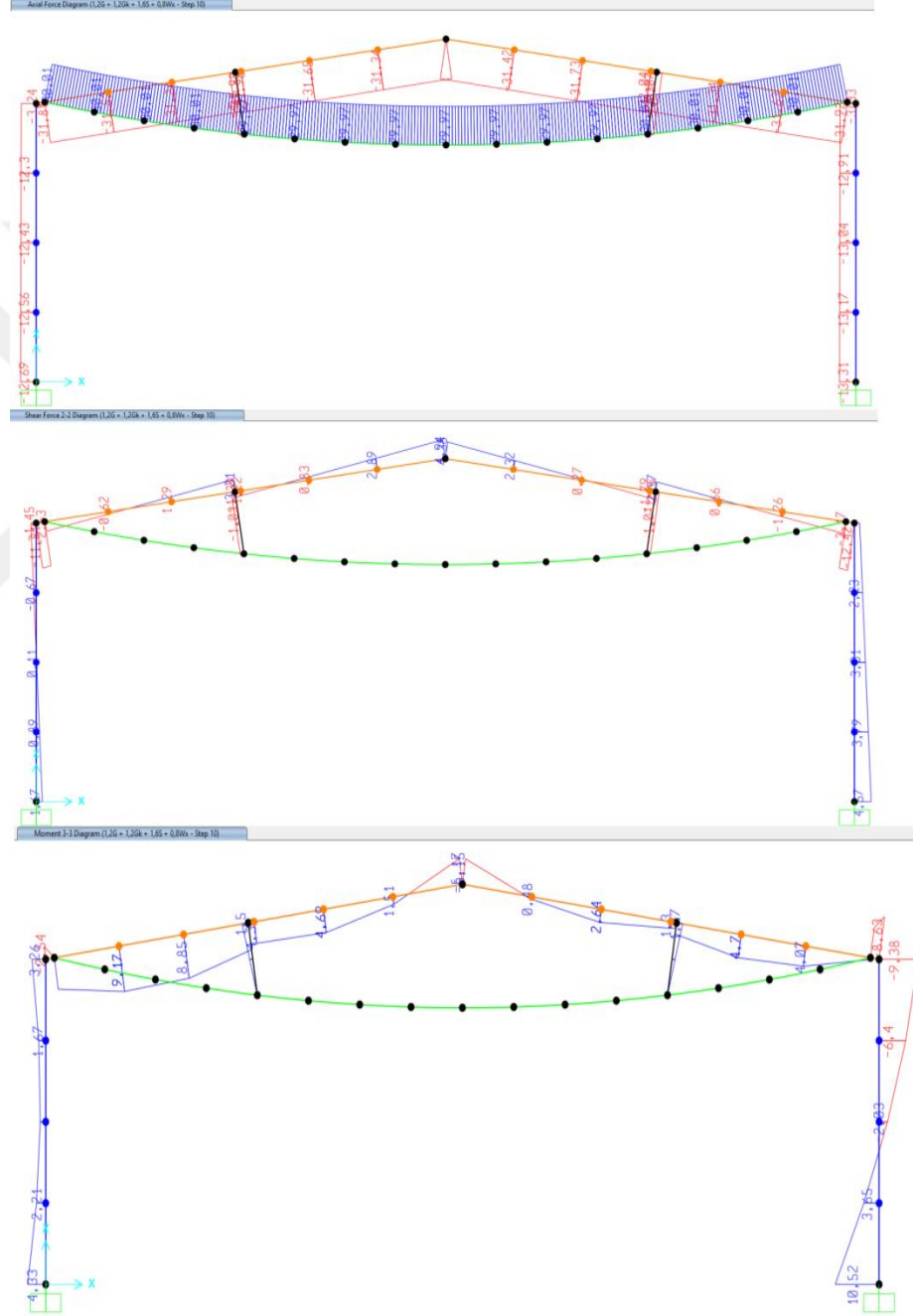
TT1M için iç kuvvet diyagramları Şekil 5.4' ten görüldüğü üzere, kolonlarda maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 13,00, 3,25 ve 11,94 elde edilirken kirişlerde sırasıyla 30,91, 12,31 ve 19,08 elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.4. TT1M iç kuvvet diyagramları

5.1.1.5. TT2A İç kuvvet Diyagramları

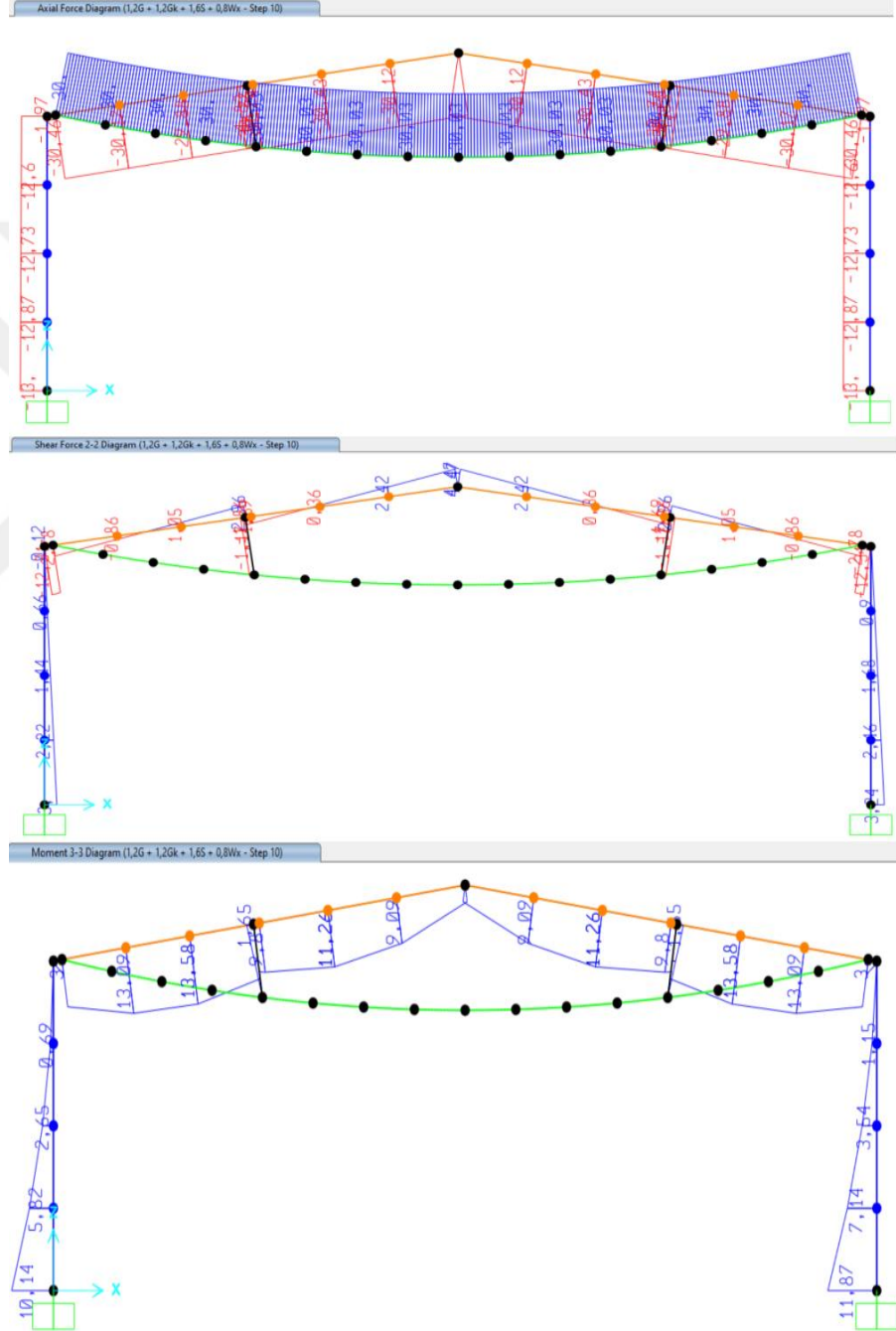
TT2A için iç kuvvet diyagramları Şekil 5.5' den görüldüğü üzere, kolonlarda maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 13,31, 4,57 ve 10,52 elde edilirken kirişlerde sırasıyla 32,06, 11,81 ve 9,16 elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.5. TT2A iç kuvvet diyagramları

5.1.1.6. TT2M İç kuvvet Diyagramları

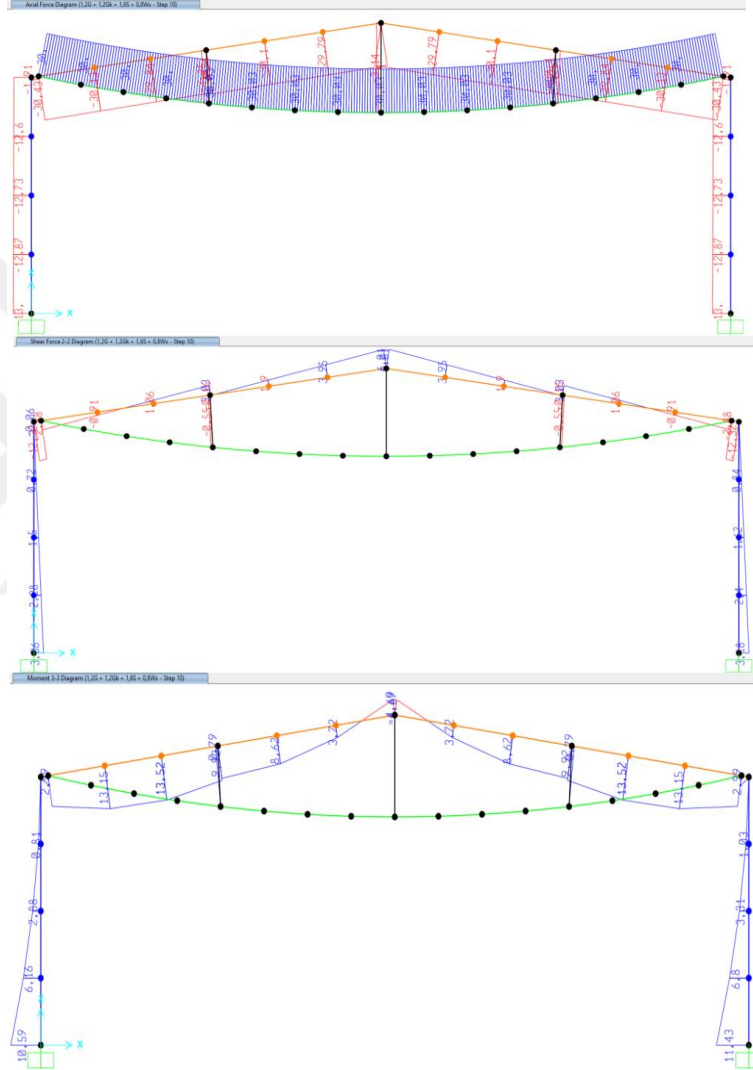
TT2M için iç kuvvet diyagramları Şekil 5.6' dan görüldüğü üzere, kolonlarda maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 13,00, 3,23 ve 11,87 elde edilirken kirişlerde sırasıyla 30,76, 12,31 ve 13,58 elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.6. TT2M iç kuvvet diyagramları

5.1.1.8. TT3M İç kuvvet Diyagramları

TT3A için iç kuvvet diyagramları Şekil 5.8' den görüldüğü üzere, kolonlarda maksimum normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 13,00, 3,18 ve 11,43 elde edilirken kirişlerde sırasıyla 30,42, 12,32 ve 13,51 elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.8. TT3M iç kuvvet diyagramları

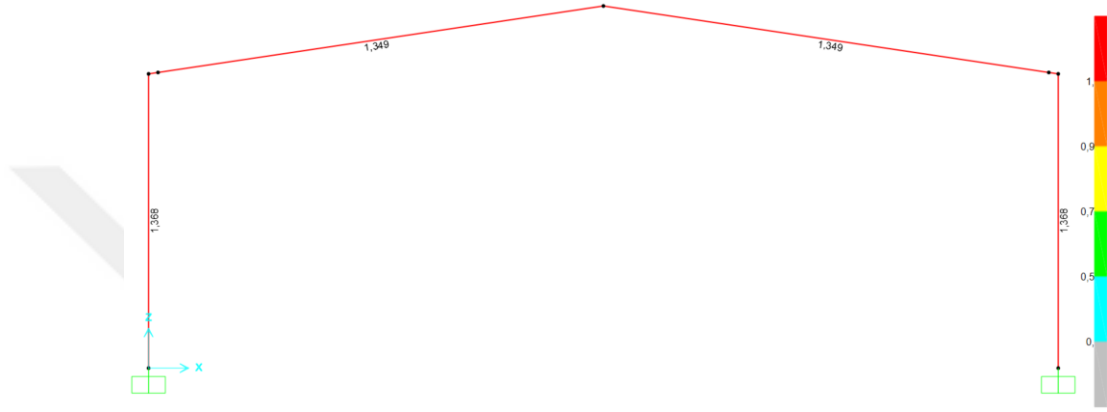
5.1.2. Talep/Kapasite Oranları

Bu bölümde tüm tasarım tipleri için çerçeve analizleri sonucunda maksimum etkiyi gösteren yük birleşimi altında talep/kapasite oranları incelenmiştir. Portal çerçeve üzerinde maksimum etkiyi gösteren yük birleşimleri $1,2G+1,2G_k+1,6S+0,8W_x$ ve

$1,2G+1,2G_k+1,6S-0,8W_x$ yük birleşimleri olmuştur. Bu bakımdan $1,2G+1,2G_k+1,6S + 0,8W_x$ yük birleşimi altındaki talep/kapasite oranları incelenmiştir.

5.1.2.1. TTRA Talep/Kapasite Oranı

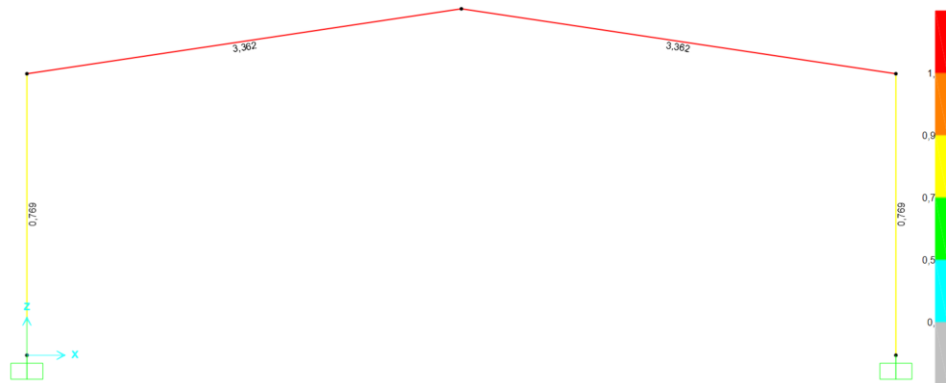
TTRA için talep/kapasite oranı Şekil 5.9'dan görüldüğü üzere kolonlarda 1,368 elde edilirken kirişlerde ise 1,349 elde edilmiştir.



Şekil 5.9. TTRA talep/kapasite oranı

5.1.2.2. TTRM Talep/Kapasite Oranı

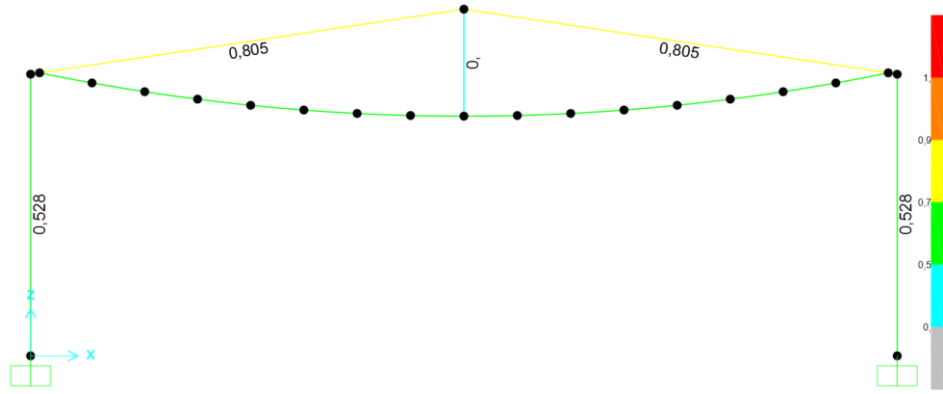
TTRM için talep/kapasite oranı Şekil 5.10'dan görüldüğü üzere kolonlarda 0,769 elde edilirken kirişlerde ise 3,362 elde edilmiştir.



Şekil 5.10. TTRM talep/kapasite oranı

5.1.2.3. TT1A Talep/Kapasite Oranı

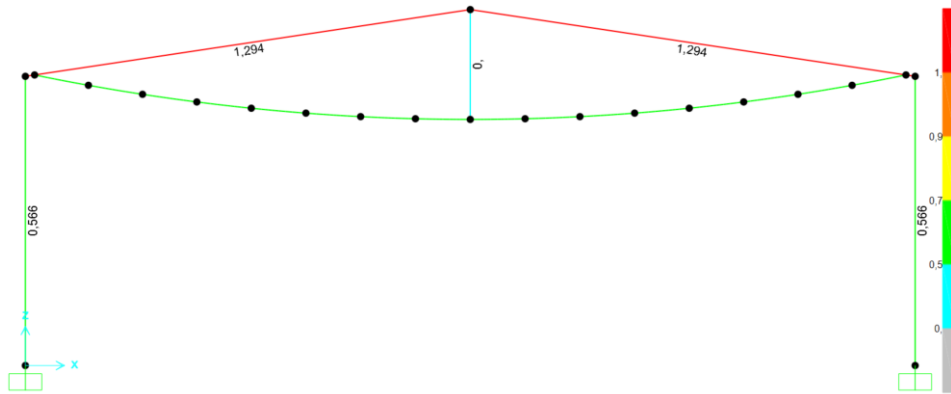
TT1A için talep/kapasite oranı Şekil 5.11'den görüldüğü üzere kolonlarda 0,528 elde edilirken kirişlerde ise 0,805 elde edilmiştir.



Şekil 5.11 TT1A talep/kapasite oranı

5.1.2.4. TT1M Talep/Kapasite Oranı

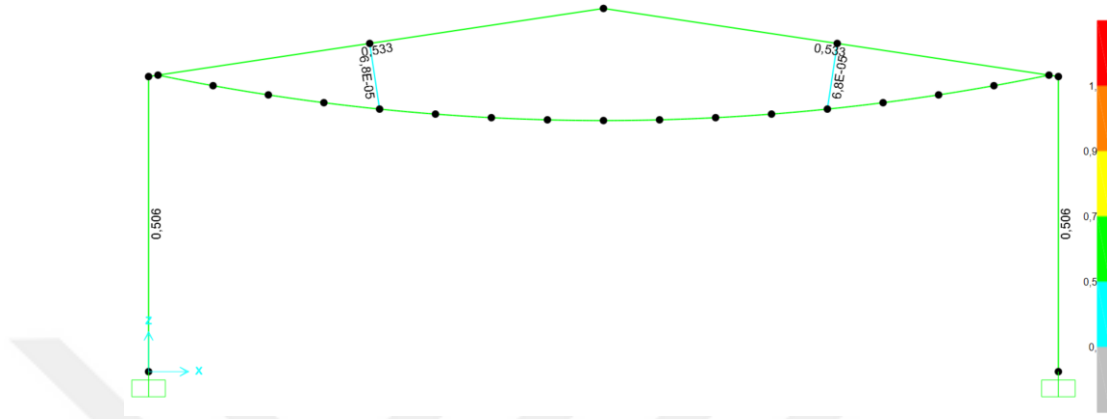
TT1M için talep/kapasite oranı Şekil 5.12'den görüldüğü üzere kolonlarda 0,566 elde edilirken kirişlerde ise 1,294 elde edilmiştir.



Şekil 5.12. TT1M talep/kapasite oranı

5.1.2.5. TT2A Talep/Kapasite Oranı

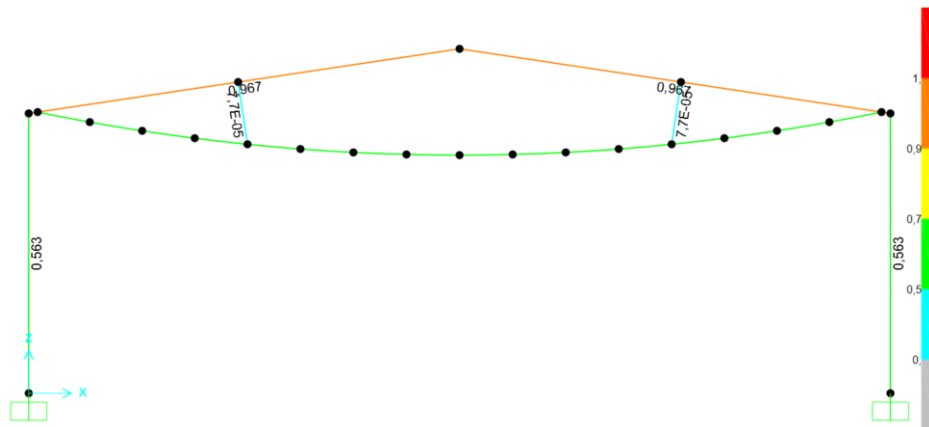
TT2A için talep/kapasite oranı Şekil 5.13'den görüldüğü üzere kolonlarda 0,506 elde edilirken kirişlerde ise 0,533 elde edilmiştir.



Şekil 5.13. TT2A talep/kapasite oranı

5.1.2.6. TT2M Talep/Kapasite Oranı

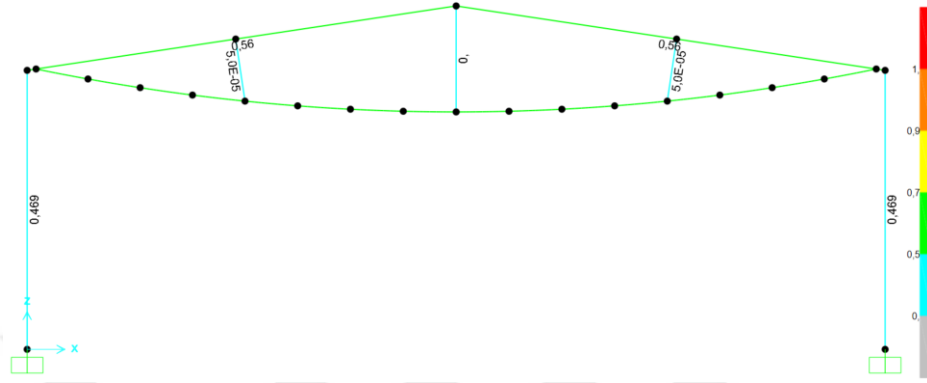
TT2M için talep/kapasite oranı Şekil 5.14'den görüldüğü üzere kolonlarda 0,563 elde edilirken kirişlerde ise 0,967 elde edilmiştir.



Şekil 5.14. TT2M talep/kapasite oranı

5.1.2.7. TT3A Talep/Kapasite Oranı

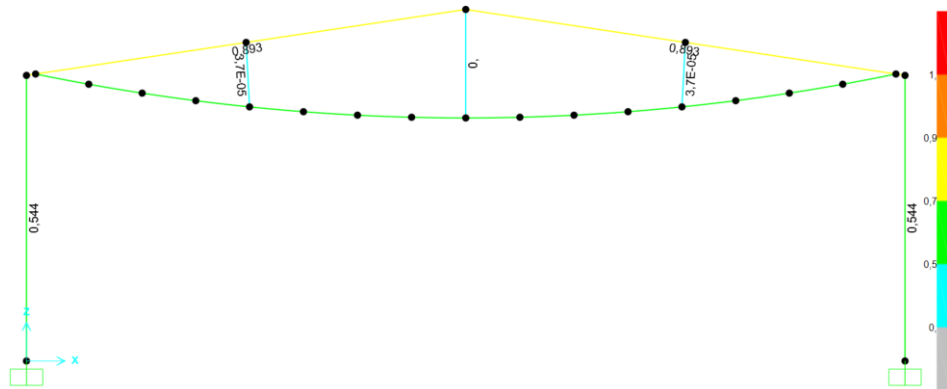
TT3A için talep/kapasite oranı Şekil 5.15'ten görüldüğü üzere kolonlarda 0,469 elde edilirken kirişlerde ise 0,560 elde edilmiştir.



Şekil 5.15. TT3A talep/kapasite oranı

5.1.2.8. TT3M Talep/Kapasite Oranı

TT3M için talep/kapasite oranı Şekil 5.16'dan görüldüğü üzere kolonlarda 0,544 elde edilirken kirişlerde ise 0,893 elde edilmiştir.



Şekil 5.16. TT3M talep/kapasite oranı

5.2. Üç Boyutlu Yapı Modeli Analiz Sonuçları

Belirlenen en uygun tasarım tipi gerçek bir yapının verileri girilerek oluşturulan bir model üzerinde 3 boyutlu olarak modellenmiş ve ard germe halatının yapıya olan katkısı yatay ve düşey yükler altında gözlemlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda gerçek bir yapının verileri girilerek oluşturulan modelde ard germe halatının yapıda oluşturduğu iç kuvvet reaksiyonları ve talep/kapasite oranı değişimi incelenmiştir. Bu bölümde 3 boyutlu yapı modeli analiz sonuçları mevcut ve güçlendirilmiş yapı için ayrı ayrı incelenmiştir. Ele alınan mevcut yapı Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Mevcut yapının ard germe halatlarıyla güçlendirilmiş hali mevcut yapıyla kıyaslanmıştır. Mevcut yapıda maksimum gerilmeyi oluşturan yük birleşimi kolon, kiriş ve aşıklar elemanlarında $1,2G+1,2G_k+1,6S-0,8W_x$ yük birleşimidir. Bu bakımdan portal çerçeve tasarımında olduğu gibi bu yük birleşimi gözetilerek bir karşılaştırma yapılmıştır. Çapraz elemanlarda ise $1,2G+1,2G_k+1,6S-0,8W_y$ yük birleşimi maksimum gerilmeyi meydana getirdiğinden dolayı, bu yük birleşimi altında bir kıyaslama yapılmıştır. Buna ek olarak kesitler arasında kolon ve kiriş elemanlarındaki maksimum gerilme değerleri 6-6 aksında oluşmuştur. Bu sebeple XZ düzleminde 6-6 aksı üzerinde çerçeve görünüşü üzerinden iç kuvvet diyagramları kıyaslanmıştır. Talep/kapasite oranları da aynı şekilde 6-6 aksı üzerinden kıyaslanmıştır. Aşıklar ve çapraz elemanları için de maksimum gerilme değerinin olduğu örnek bir eleman ele alınarak gerilme değerleri karşılaştırılmıştır. Mevcut yapı ve güçlendirilmiş yapı analiz sonuçları sırasıyla Bölüm 5.2.1 ve Bölüm 5.3.1’de verilmiştir.

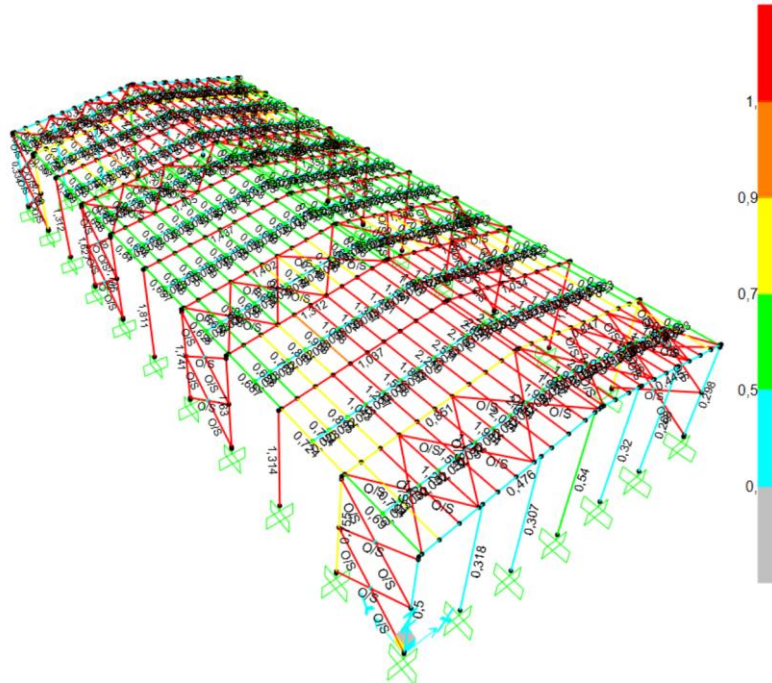
5.2.1. Mevcut Yapı Analiz Sonuçları

Bu bölümde mevcut yapının tümünde meydana gelen talep/kapasite oranları gösterilmiştir. Aynı zamanda maksimum etkilerin gözlemlendiği 6-6 aksında meydana gelen iç kuvvet diyagramları ve 6-6 aksındaki çerçevenin talep/kapasite oranı gösterilmiştir. Yapıda mahya bölgesinde yer alan 2-2 ile 3-3 aksı ve 9-9 ile 10-10 aksları arasında yer alan aşıklar elemanlar maksimum talep/kapasite oranının gözlemlendiği aşıklar olmuştur. Bu bakımdan aşıkların değerlendirilmesi bu aşıklar elemanlarından herhangi birinin karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Mevcut durumda cephe çaprazlarının talep/kapasite oranlarının çok az olduğu tespit edilmiştir. Çatı çaprazlarının bir kısmının ise önemli ölçüde zorlandığı görülmüştür. Bu bakımdan

çaprazların değerlendirilmesi yapılırken 1–1 ve 2–2 aks arasında bulunan ve mahya noktasına en yakın olan uzun çapraz elemanlar ile bunun simetriğinde olan 10–10 ve 11–11 aksları arasında bulunan mahya noktasına en yakın, uzun çapraz elemanlardan herhangi biri seçilerek, güçlendirilmiş durumdaki çapraz eleman talep/kapasite oranı ile karşılaştırma yapılmıştır.

5.2.1.1. Mevcut Yapı Talep/Kapasite Oranı

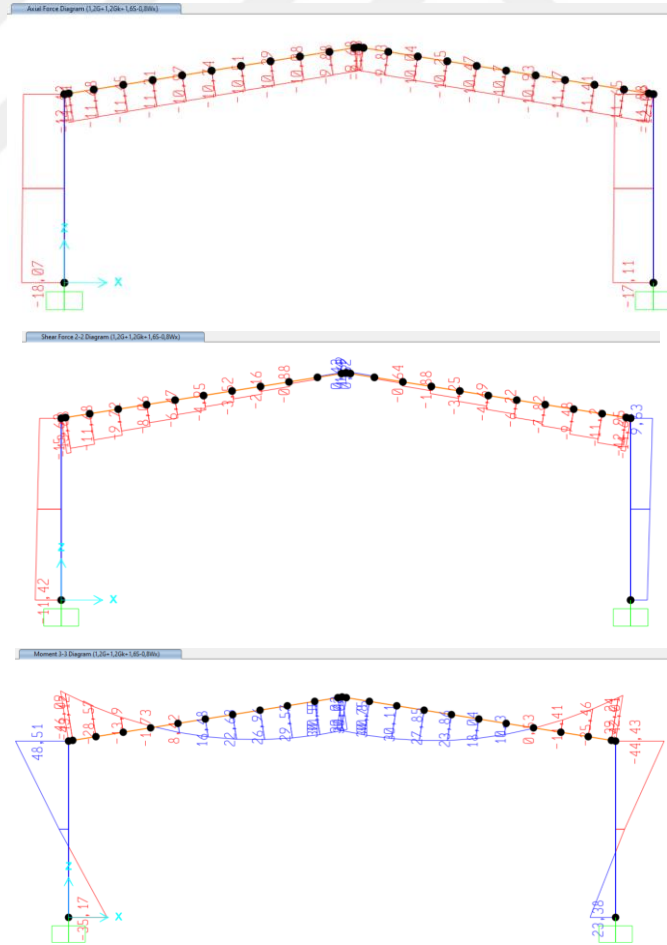
Mevcut yapının tümünde meydana gelen talep/kapasite oranları Şekil 5.17’de gösterilmiştir. Şekil 5.17 incelendiğinde kesitlerde oluşan maksimum etkilerin gözlemlendiği kesitin 6–6 aksında bulunan kesit olduğu görülmüştür. Bunun yanında aşık ve çapraz elemanlardaki talep/kapasite oranları da incelenirse rüzgâr yükünün hakîm olduğu, yapının ön ve arka cephelerinde maksimum etkilerin meydana geldiği görülmüştür. Kesitlerde oluşan maksimum etkilerin gözlemlendiği 6–6 aksında meydana gelen iç kuvvet diyagramları 30 ton kuvvetinde ard germe halat yüklemesi altında maksimum tesirleri oluşturan $1,2G+1,2G_k+1,6S-0,8W_x$ yük birleşimi için gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Mevcut yapı talep/kapasite oranları

5.2.1.2. Mevcut Yapı Kolon ve Makas Elemanlarda Oluşan Maksimum İç Kuvvet Diyagramları

Şekil 5.18’de yapı analiz modelinde 6–6 aksında bulunan kesitin iç kuvvet diyagramları gösterilmiştir. İç kuvvet diyagramında rüzgâr kuvvetinin yapıya olan etkisi kolonlar ve makas kirişleri arasındaki simetrik kuvvet dağılımını değiştirdiği görülmüştür. Yapının tasarımında meydana gelen maksimum talep/kapasite oranının yapının bir tarafında x eksenine negatif yönünde oluşan yük birleşimi, $1,2G+1,2Gk+1,6S -0,8W_x$ yüklemesinden meydana gelen yük birleşimidir. Bu bakımdan $1,2G+1,2Gk+1,6S-0,8W_x$ yük birleşimi maksimum etkiyi oluşturan yük birleşimi olarak dikkate alınmıştır. Şekil 5.18’den görüldüğü üzere kolonlarda oluşan maksimumu normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 18,07, 11,42 ve 48,51 elde edilirken makas elemanlarda ise 12.12, 15.62 ve 46.08 elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.18. 6 – 6 aksında meydana gelen iç kuvvet diyagramları

5.2.1.3. Mevcut Yapı Kolon ve Makas Elemanlarda Oluşan Maksimum Talep/Kapasite Oranı

6- 6 aksında meydana gelen talep/kapasite oranı Şekil 5.19'dan görüldüğü üzere. Şekilden görüleceği üzere, maksimum etkiyi oluşturan $1,2G + 1,2G_k + 1,6S - 0,8W_x$ yük birleşimi altında kolonlarda 1.811 talep/kapasite oranı elde edilirken, kirişlerde bu değer 1.437 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.19. 6 – 6 aksında meydana gelen talep/kapasite oranı

5.2.1.4. Mevcut Yapı Aşık Elemanda Oluşan Maksimum Talep/kapasite Oranı

Mevcut yapı modelinde Bölüm 5.2.1'de anlatıldığı gibi maksimum kesit tesirlerinin elde edildiği ilgili aşığın Sap2000 programı yardımıyla elde edilen analiz sonuçları Şekil 5.20'de gösterilmiştir. IPE180 Kesitine sahip aşık elemanlarda meydana gelen talep/kapasite oranı 2,827 olarak elde edilmiştir.

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1, 2G+1, 2Gk+1, 6S-0, 8Wx)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2,65	0,	8,515	0,25	-2,814	-0,043	0,

PM	DEMAND/CAPACITY RATIO	(H1-1b)
	D/C Ratio: 2,827	= 0, + 2,541 + 0,286
		= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

Şekil 5.20. Mevcut yapı aşık elemanının maksimum talep/kapasite oranı

5.2.1.5. Mevcut Yapı Çapraz Elemanda Oluşan Maksimum Talep/kapasite Oranı

Mevcut yapı modelinde Bölüm 5.2.1’de anlatıldığı gibi maksimum kesit tesirlerinin elde edildiği ilgili çaprazın Sap2000 programı yardımıyla elde edilen analiz sonuçları Şekil 5.21’de gösterilmiştir. RHS100X3 mm kesitine sahip aşık elemanlarda meydana gelen talep/kapasite oranı 6,75 olarak elde edilmiştir.

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1,2G+1,2Gk+1,6S-0,8Wy)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
3,672	-34,859	-0,374	-0,008	-0,121	-0,002	0,029

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)	
D/C Ratio: 6,75 =	6,368 + 0,374 + 0,008
	= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

Şekil 5.21. Mevcut yapı çapraz elemanın maksimum talep/kapasite oranı

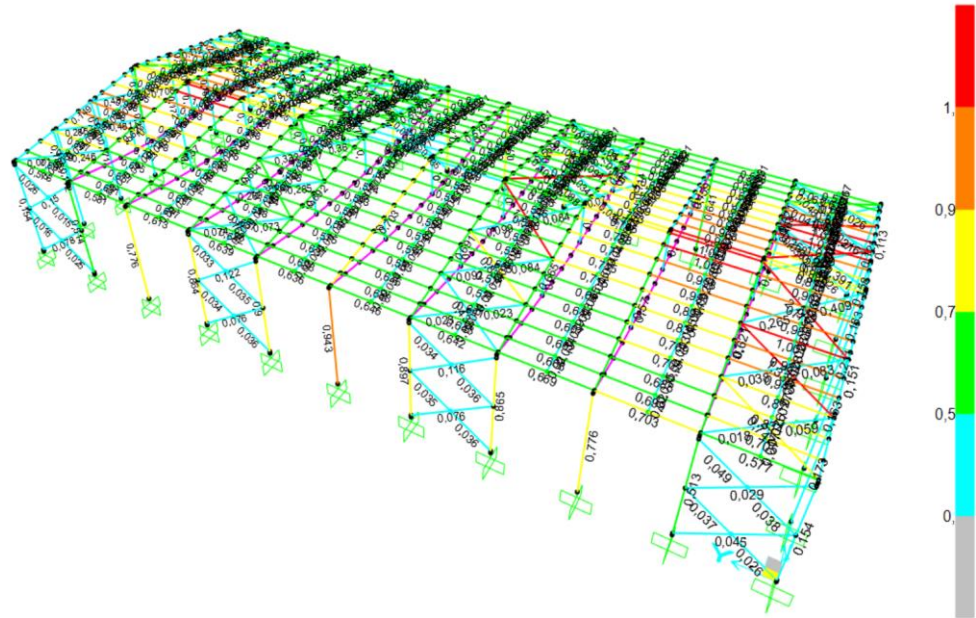
5.2.2. Güçlendirilmiş Yapı Analiz Sonuçları

Bu bölümde güçlendirilmiş yapı analiz sonuçları gösterilmiştir. Mevcut yapıya ek olarak ard germe halatı ve takoz ilavesi yapılarak yapının güçlendirilmesi sağlanmıştır. Güçlendirilmiş yapıda makaslara takozlar yardımıyla ard germe halatlarından gelen kuvvet ile birlikte kuvvet aktarımı sağlanmıştır. Buradan yola çıkarak mevcut yapının talep/kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Ard germe halatlarının yapı üzerinde tasarımıyla ilgili farklı tasarım tipleri oluşturulmuştur. Bu tasarım tiplerinin mevcut yapı üzerinde en büyük etkiyi yapan tasarım tipi TT3A olarak belirlenmiştir. Bu değerlendirme tasarım tiplerinin portal çerçeve üzerinde yapılan analizler sonucunda gerçekleştirilmiştir. Mevcut yapı analiz sonuçlarının güçlendirilmiş yapı analiz sonuçlarıyla kıyaslanması amacıyla mevcut yapı da meydana gelen maksimum etkilerin gözlendiği 6 - 6 aksında meydana gelen iç kuvvet diyagramları ve 6- 6 aksındaki çerçevenin talep/kapasite oranı belirtilmiştir. Yapıda 2-2 ve 3-3 aksın arasında kalan bölgede mahya noktasındaki aşık elemanların yanındaki aşık elemanlar ve bu aşıkların simetriğinde bulunan 9-9 ve 10-10 aksı arasında kalan mahya noktasındaki aşık elemanların yanındaki aşık elemanlar maksimum talep/kapasite oranının gözlemlendiği aşık elemanlar olmuştur. Bu bakımdan aşıkların değerlendirilmesi mevcut yapıda olduğu gibi bu aşık elemanlarından maksimum etkinin gözlendiği aşık elemanlarının karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilecektir. Çapraz elemanlarda ise mevcut yapıda olduğu gibi cephe çaprazlarının mevcut durumda

talep/kapasite oranlarının çok az kullanıldığı tespit edilmiştir. Çatı çaprazlarının bir kısmının ise önemli ölçüde zorlandığı görülmüştür. Çaprazların değerlendirilmesi yapılırken 1-1 ve 2-2 aks arasında bulunan ve mahya noktasına en yakın olan uzun çapraz elemanlar ile bunun simetriğinde olan 10-10 ve 11-11 aksları arasında bulunan mahya noktasına en yakın, uzun çapraz elemanlardan maksimum etkinin gözlemlendiği çapraz elemanları seçilerek mevcut durumdaki çapraz eleman talep/kapasite oranı ile karşılaştırma yapılmıştır.

5.2.2.1. Güçlendirilmiş Yapı Talep/Kapasite Oranı

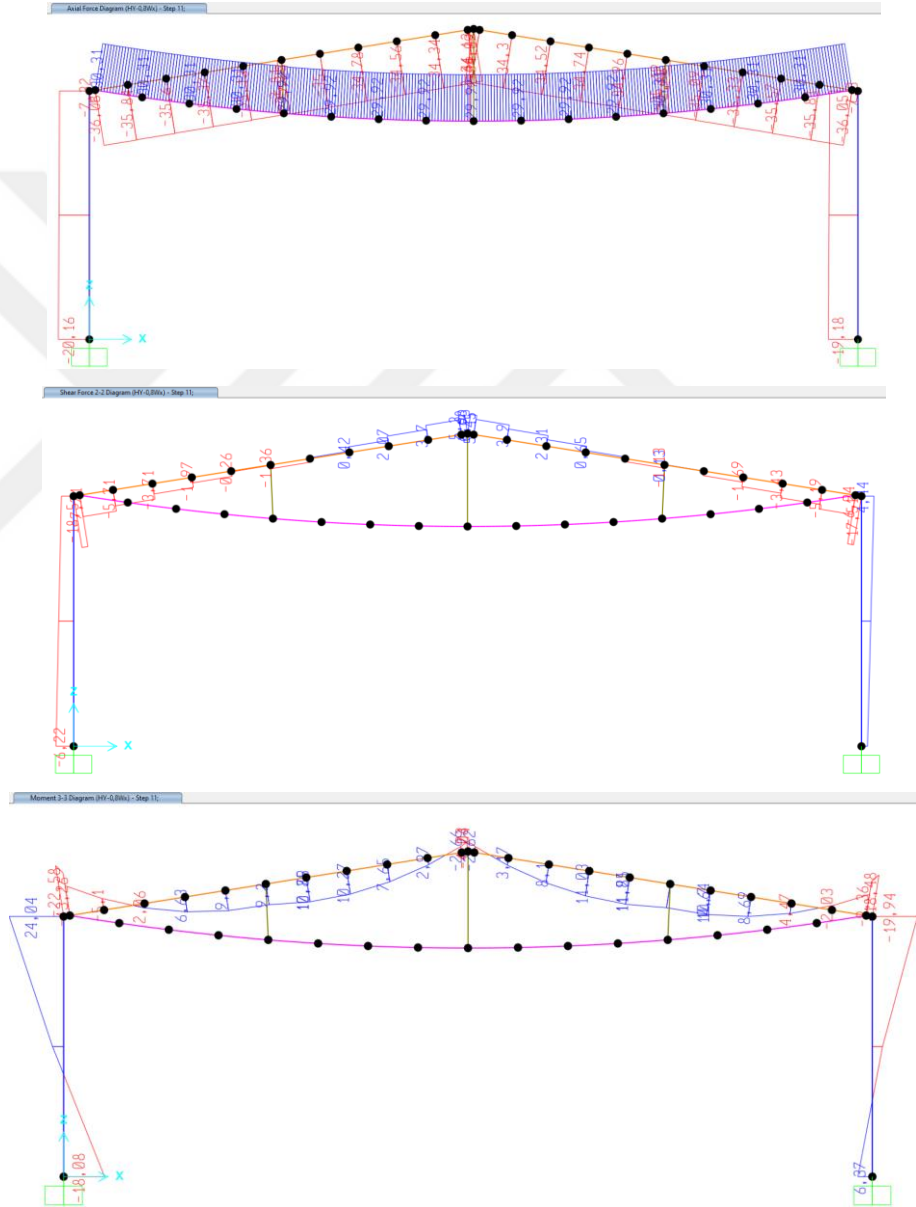
Mevcut yapının tümünde meydana gelen talep/kapasite oranları Şekil 5.22’de gösterilmiştir. Şekil 5.22 incelendiğinde yapı elemanlarının talep/kapasite oranlarında önemli değişiklikler olduğu gözlemlenmiştir. Kesitlerde oluşan maksimum etkilerin gözlemlendiği kesitin mevcut yapıdaki gibi 6-6 aksında bulunan kesit olduğu görülmüştür. Güçlendirme etkisinden dolayı bu kesitte bulunan kolon, kiriş elemanlar ve çapraz, aşık elemanlar mevcut yapı incelemesinde incelenen elemanların karşılığı olacak şekilde incelenmiştir.



Şekil 5.22. Güçlendirilmiş yapı talep/kapasite oranları

5.2.2.2. Güçlendirilmiş Yapı Kolon ve Makas Elemanlarda Oluşan Maksimum İç Kuvvet Diyagramları

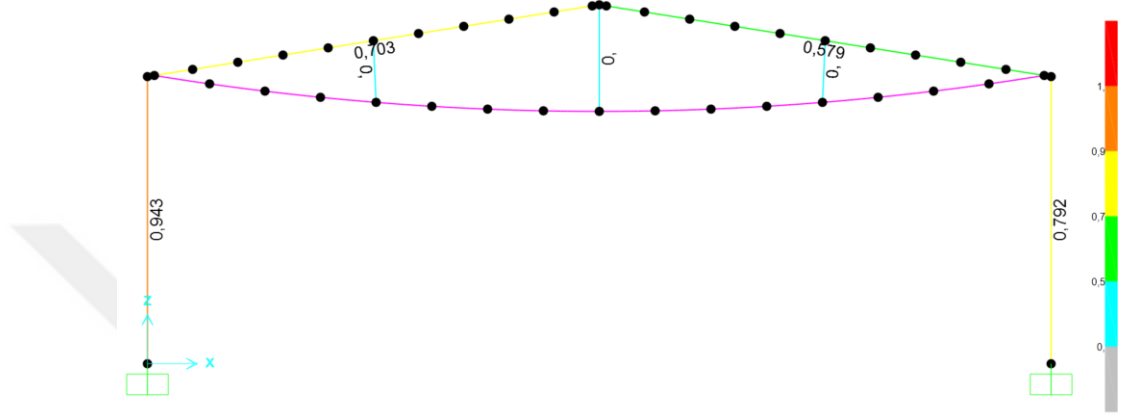
Güçlendirilmiş yapının 6-6 aksında meydana gelen iç kuvvet diyagramları Şekil 5.23'ten görüldüğü üzere kolonlarda normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment sırasıyla 20,16, 6,22 ve 24,04 elde edilirken makas elemanlarda 36,50, 18,49 ve 22 elde edilmiştir. Birimler ton ve metredir.



Şekil 5.23. 6 – 6 aksında meydana gelen iç kuvvet diyagramları

5.2.2.3. Güçlendirilmiş Yapı Kolon ve Makas Elemanlarda Oluşan Maksimum Talep/Kapasite Oranı

6- 6 aksında meydana gelen maksimum talep/kapasite oranı Şekil 5.24'den görüldüğü üzere kolonlarda 0,943 elde edilirken makas elemanda ise 0,703 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.24. 6 – 6 aksında meydana gelen talep/kapasite oranı

5.2.2.4. Güçlendirilmiş Yapı Aşık Elemanda Oluşan Maksimum Talep/Kapasite Oranı

Güçlendirilmiş yapı modelinde Bölüm 5.2.1’de anlatıldığı gibi maksimum kesit tesirlerinin elde edildiği ilgili aşığın Sap2000 programı yardımıyla elde edilen analiz sonuçları Şekil 5.25’te gösterilmiştir. IPE180 Kesitine sahip aşık elemanlarda meydana gelen talep/kapasite oranı 1,051 olarak elde edilmiştir.

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo HY+0,8Wx Desing)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
2,65	0,	3,438	0,201	-0,898	-0,025	0,

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)	
D/C Ratio:	1,051 = 0, + 0,821 + 0,231
	= (1/2) (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

Şekil 5.25. Güçlendirilmiş yapı aşık elemanının maksimum talep/kapasite oranı

5.2.1.5. Güçlendirilmiş Yapı Çapraz Elemanda Oluşan Maksimum Talep/Kapasite Oranı

Güçlendirilmiş yapı modelinde Bölüm 5.2.1’de anlatıldığı gibi maksimum kesit tesirlerinin elde edildiği ilgili çaprazın Sap2000 programı yardımıyla elde edilen analiz sonuçları Şekil 5.26’da gösterilmiştir. RHS100X3 mm Kesitine sahip aşık elemanlarda meydana gelen talep/kapasite oranı 2,506 olarak elde edilmiştir.

```

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo HY-0,8Wy Desing)
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
3,672         -13449,943   -31,712   -17,743   -28,242   -4,832   3,685

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio:    2,506 = 2,457 + 0,032 + 0,018
               = (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

```

Şekil 5.26. Güçlendirilmiş yapı çapraz elemanının maksimum talep/kapasite oranı

6. ANALİZ VE TASARIM SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde Bölüm 5'te belirtilen analiz sonuçlarının karşılaştırmalı olarak değerlendirmesi yapılmıştır. Karşılaştırma yaparken yapı elemanlarının gerek portal çerçeve için gerekse de 3 boyutlu yapı modeli için kolon kiriş bağlantılarının farklılığı, oluşan iç kuvvetler ve talep/kapasite oranları üzerinde durulmuştur. İlk olarak portal çerçeve analiz sonuçları karşılaştırılmış daha sonra mevcut 3 boyutlu yapı modeli ve portal çerçeve analiz sonuçlarından elde edilen sonuca göre tasarlanan güçlendirilmiş 3 boyutlu yapı modeli karşılaştırılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldıktan sonra değerlendirmeler yapılmıştır.

6.1. Portal Çerçeve Analiz ve Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu kısımda Bölüm 5'de belirtilen portal çerçeve analiz sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İlk etapta sözel olarak ifade edilen değerlendirmeler daha sonra Tablo ve grafiklerle desteklenmiştir. Analizi yapılan 4 ayrı tasarım tipinin kolon kiriş birleşim bölgelerinin ankastre ve mafsallı olarak tanımlanması sonucunda birbirinden farklı 8 ayrı tasarım tipi haline gelmiştir. Bu tasarım tiplerinin moment, kesme ve normal kuvvet diyagramları incelenmiştir. Bununla birlikte hedef yük birleşimine göre AISC 360-16'ya uygun olarak tasarım yapılmış ve talep/kapasite oranları belirlenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda kolon kiriş birleşim bölgesinin ankastre ve mafsallı olması durumunda portal çerçevenin gösterdiği reaksiyonlar, iç kuvvet diyagramındaki değişimler ve talep/kapasite oranları sırasıyla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Tablo 6.1' de tüm tasarım tipleri için portal çerçevede meydana gelen maksimum iç kuvvetler gösterilmiştir. Bu Tabloya göre oluşturulan grafikler ile kolonlar için maksimum, normal kuvvet, kesme kuvveti ve moment değerleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işlemi makaslar için de yapılmıştır. Oluşturulan Tablo ve grafikler sayesinde bu bölümde ankastre ve mafsallı birleşimin portal çerçeve üzerindeki moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Her bir tasarım tipinde kolonlarda ve makaslarda oluşan iç kuvvet değişimleri Şekil 6.1-6.6 arasında aşağıda gösterilmiştir.

6.1.1. Portal Çerçeve Analizinin Kolon Kiriş Birleşimi Yönünden Değerlendirmesi

Tablo 6.1’de gösterilen tüm tasarım tipleri için portal çerçevede meydana gelen maksimum iç kuvvetlerin yanında ankastre birleşim referans tasarım tipine göre kuvvet değişim yüzdesi ve mafsallı birleşim referans tasarım tipine göre kuvvet değişim yüzdesi sırasıyla Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’de gösterilmiştir. Yapılan analizler sonucunda değerlendirmelere göre yatay ve düşey yükler altında kolon kiriş birleşim bölgelerinde referans model mafsallı tasarım tipi, referans model ankastre tasarım tipine göre kolonlardaki moment etkisini düşürmesi sebebiyle kolon üzerindeki gerilmeyi yaklaşık %50 azaltmıştır. Bununla birlikte makasta oluşan moment iç kuvvet değerini arttırmıştır. Yapılan tasarımda yapının yapılacağı bölge (örneğin yoğun kar alan bir bölge veya deprem bölgesi) ve yapılacak tasarımın kriterlerinin (IMF, OCBF, SMF vb.) bu etkene göre düşünülmesinin yapı maliyeti açısından önemli olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.1. Tüm tasarım tipleri için portal çerçevede meydana gelen maksimum iç kuvvetler

Tasarım Tipi	Kolon İç Kuvvetler			Makas İç Kuvvetler		
	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)
TT RA	13,31	9,83	30,58	8,53	11,63	28,65
TT RM	13,00	4,12	16,66	2,84	12,18	61,48
TT 1A	13,30	4,83	11,02	32,58	12,37	14,03
TT 1M	13,00	3,25	11,94	30,91	12,31	19,08
TT 2A	13,31	4,57	10,52	32,06	11,81	9,16
TT 2M	13,00	3,23	11,87	30,76	12,31	13,58
TT 3A	13,30	4,24	9,65	31,60	12,46	11,03
TT 3M	13,00	3,18	11,43	30,42	12,32	13,51

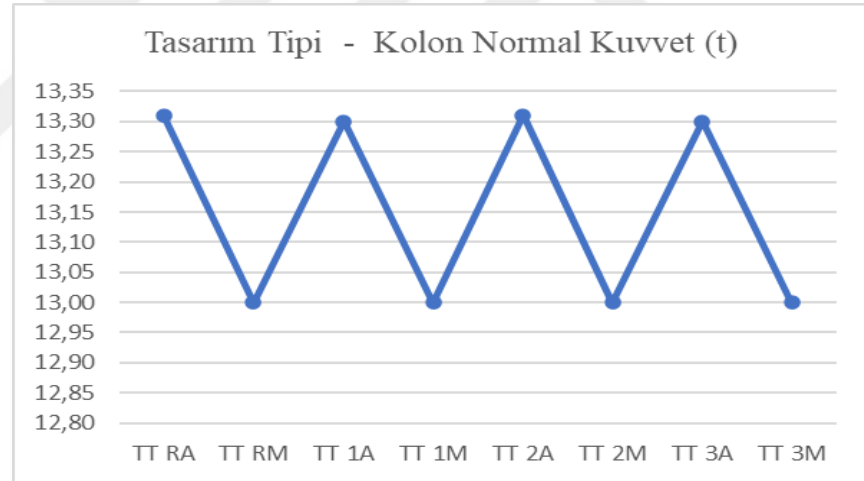
Tablo 6.2. Ankastre birleşim referans tasarım tipine göre kuvvet değişim yüzdesi

Ankastre Birleşim Referans Tasarım Tipine Göre Kuvvet Değişim Yüzdesi						
Tasarım Tipi	Kolon İç Kuvvet Değişim Yüzdesi			Makas İç Kuvvet Değişim Yüzdesi		
	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)
TT 1A	%0	-%51	-%64	+%282	+%6	-%51
TT 2A	%0	-%54	-%66	+%276	+%2	-%68
TT 3A	%0	-%57	-%68	+%270	+%7	-%62

Tablo 6.3. Mafsallı birleşim referans tasarım tipine göre kuvvet değişim yüzdesi

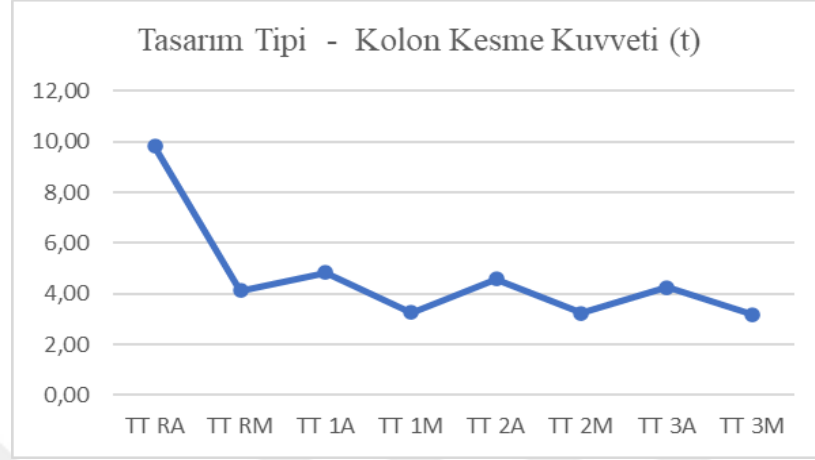
Mafsallı Birleşim Referans Tasarım Tipine Göre Kuvvet Değişim Yüzdesi						
Tasarım Tipi	Kolon İç Kuvvet Değişim Yüzdesi			Makas İç Kuvvet Değişim Yüzdesi		
	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)
TT 1M	%0	-%21	-%28	%988	%1	-%69
TT 2M	%0	-%22	-%29	%983	%1	-%78
TT 3M	%0	-%23	-%31	%971	%1	-%78

Sırasıyla yapılacak incelemede ilk olarak kolon için inceleme yapılacak olursa Şekil 6.1’de kolona etkiyen maksimum normal kuvvetin tasarım tiplerine göre değişimi görülmektedir. Buna göre ankastre bağlantı tiplerinin mafsallı bağlantı tiplerine göre biraz daha fazla normal kuvvet aldığı görülmektedir. Ankastre birleşimin daha fazla kuvvet almasına rağmen aradaki farkın çok az olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak kolon makas birleşiminin kolonlar üzerinde normal kuvvet yönünden önemli bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır.

**Şekil 6.1.** Tüm tasarım tipleri için kolon maksimum normal kuvvet değerleri

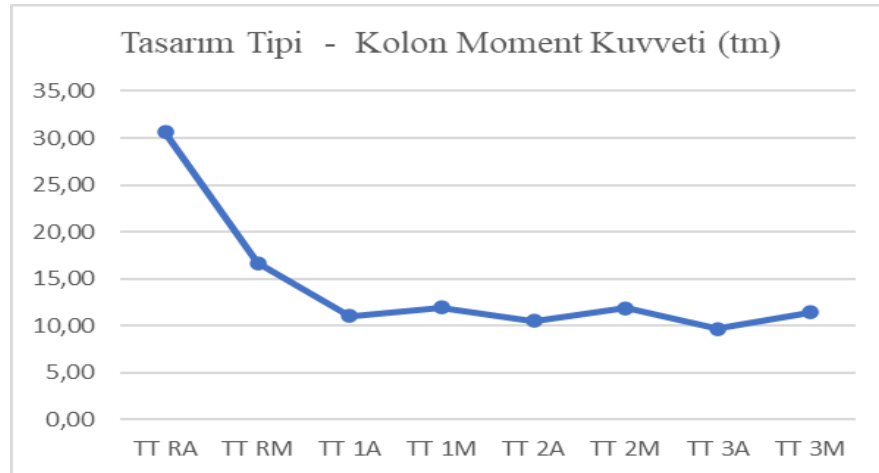
Şekil 6.2’de gösterilen kolonlar için tasarım tipleriyle kesme kuvvetinin karşılaştırmalı grafiği incelendiğinde, TTRA ve diğer tasarım tipleri arasında belirgin bir kesme kuvveti farkı oluşmuştur. Bunun dışında ankastre ve mafsallı birleşimler arasında da bir miktar kuvvet farkı vardır ancak oluşan bu kuvvet farkı önemli bir fark değildir. Ankastre bağlantı ile mafsallı bağlantı arasında bu kadar az bir fark oluşmasına, referans tasarım tipleri arasındaki kuvvet farkı da düşünülerek, ard germe halatının sebep olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple ard germe halatı kullanıldığında

kesme kuvveti açısından kolon kiriş birleşimlerinin mafsallı yapılmasının az da olsa avantajlı olacağı düşünülmüştür.



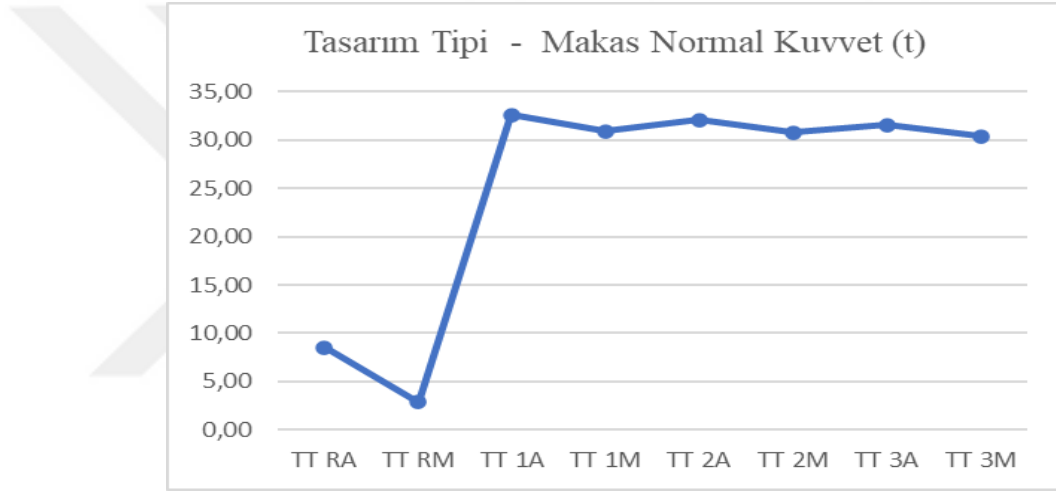
Şekil 6.2. Tüm tasarım tipleri için kolon maksimum kesme kuvveti değerleri

Şekil 6.3’de moment etkisinin kolonlar için karşılaştırmalı grafiği incelendiğinde, referans tasarım tipi ankastre birleşimin mafsallı birleşime göre kolonda oluşan moment değerinin yaklaşık iki katı olduğu gözlemlenmiştir. Diğer tasarım tiplerinde ard germe halat etkisi bu etkiyi değiştirmiş ve ankastre birleşimle mafsallı birleşim arasında çok az bir moment farkı oluşturmuştur. Yapılan analizler neticesinde kolonlar için moment kesit tesiri açısından ankastre birleşimin portal çerçeve analiz koşulları için daha uygun olduğu görülmüştür. Rijit takozla imal edilen ard germe halatı, kolon kiriş birleşim şekline göre kolonlarda oluşan moment etkisini azaltmıştır.



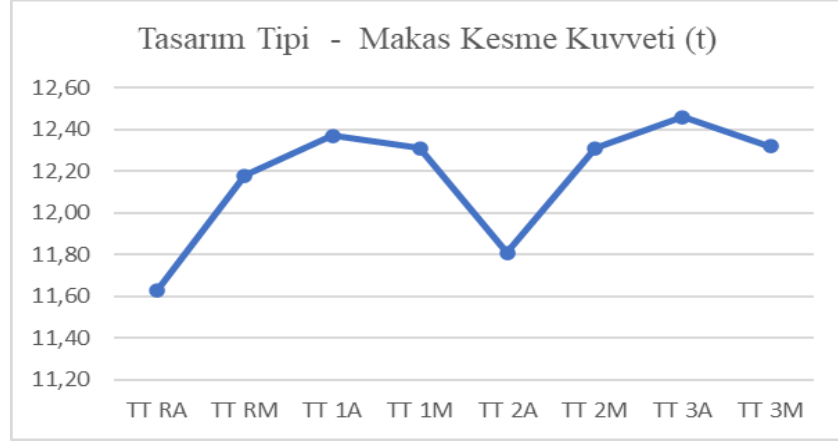
Şekil 6.3. Tüm tasarım tipleri için kolon maksimum moment değerleri

Şekil 6.4'te makasa etkiyen maksimum normal kuvvetin tasarım tiplerine göre değişimi incelendiğinde, özellikle referans tasarım tipinde ankastre bağlantının mafsallı bağlantıya göre biraz daha fazla normal kuvvet aldığı görülmektedir. Ard germe halatının uyguladığı kuvvet etkisiyle makas normal kuvvetinin çok fazla arttığı görülmüştür. Aynı zamanda ankastre birleşimin mafsallı birleşimle referans tasarım tipinde önemli bir kuvvet farkı bulunurken, bu farkın ard germe halatı etkisiyle azaldığı görülmüştür. Buradan yola çıkarak ard germe halatı kullanıldığında makas için normal kuvvette önemli bir fark bulunmadığı ancak kolon makas birleşiminin mafsallı birleşim olması makaslar için normal kuvvet açısından biraz daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır.



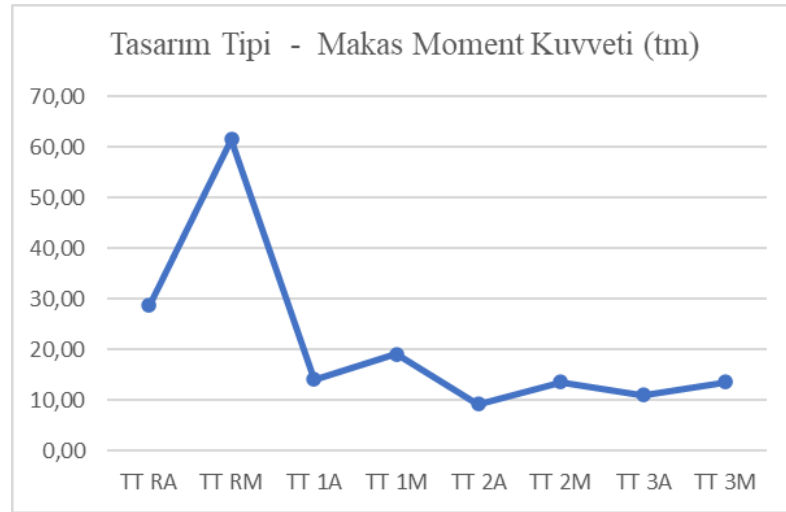
Şekil 6.4. Tüm tasarım tipleri için makas maksimum normal kuvvet değerleri

Şekil 6.5'te belirtilen, makaslar için, tasarım tipleriyle kesme kuvvetinin karşılaştırmalı grafiği incelendiğinde, tasarım tipleri arasında belirgin bir kesme kuvveti farkı oluşmamıştır. Ankastre bağlantı ile mafsallı bağlantı arasında bu kadar az bir fark oluşmasına, referans tasarım tipleri arasındaki kuvvet farkı da düşünülerek, ard germe halatının sebep olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple makaslarda kesme kuvveti açısından kolon kiriş birleşimlerinin çok bir önemi olmadığı düşünülmüştür.



Şekil 6.5. Tüm tasarım tipleri için makas maksimum kesme kuvveti değerleri

Şekil 6.6’da makaslar için moment etkisi tasarım tipleriyle karşılaştırmalı grafiği incelendiğinde, referans tasarım tipinde mafsallı birleşimin ankastre birleşime göre makaslardaki momenti yaklaşık iki katına çıkardığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda referans model mafsallı birleşimde momentin, açıklık ortasındaki mahya kısmında yoğunlaşırken, referans modelde ankastre birleşim yapıldığında modelin birleşim bölgelerine dağıldığı söylenebilir. Diğer tasarım tiplerinde ard germe halat etkisi bu etkiyi değiştirmiş ve ankastre birleşimle mafsallı birleşim arasında çok az bir moment farkı oluşturmuştur. Buradan yola çıkarak makaslar için moment etkisi açısından ankastre birleşimin portal çerçeve analiz koşulları için daha uygun olduğu görülmüştür. Ard germe halatı ve rijit takozların etkisi sebebiyle kolon kiriş birleşim şeklinin makaslarda oluşturduğu moment farklılığı azalmıştır.



Şekil 6.6. Tüm tasarım tipleri için makas maksimum moment değerleri

6.1.2. Portal Çerçeve Analizinin İç Kuvvet Diyagramları ile Tasarım Tipleri Arasındaki İlişki Göz Önünde Bulundurularak Değerlendirilmesi

Klasik portal çerçeve sisteminde makaslarda ve kolonlarla en fazla etkiye sahip kuvvetin kolon ve makas kesitinin güçlü yönünde ortaya çıkan moment olduğu bilinmektedir. Ard germe halatının gerilmesiyle makaslarda oluşan normal kuvvetin büyüdüğü ve makas tasarımında önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu sebepten dolayı 30 ton' luk bir ard germe yükü sistem için optimum tasarım yükü olarak ele alınmıştır. Kolonlarda ve makaslarda oluşan maksimum kesit tesirleri göz önüne alınarak kolonlar için ve makaslar için iç kuvvetlerdeki değişimler karşılaştırılmıştır. Bu bölümde Bölüm 6.1.1' de belirtilen Tablo ve grafiklerden yararlanarak kolon ve makaslardaki iç kuvvetlerin tasarım tipleriyle ilişkisi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Kolon kiriş birleşim bölgelerinden ziyade TTR, TT1, TT2 ve TT3 arasındaki farklar dikkate alınmaya çalışılmıştır. İlk olarak kolonlar ele alınacak olursa Şekil 6.1 incelendiğinde tasarım tiplerinin kolonlarda oluşan normal kuvvete ciddi bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Şekil 6.2 incelendiğinde ise kolonlarda oluşan kesme kuvvetinin TT3A'ya doğru gittikçe azaldığı görülmektedir. Buradan kolon kiriş birleşim şeklinin kolonların kesme kuvvetine etkisinin ard germe halatıyla azaldığı sonucu çıkarılabilir. TTRA' da olan kesme kuvveti etkisi TTRM' de TTRA' ya göre yaklaşık %65 oranında azalmıştır. Diğer yandan kolonlarda oluşan kesme kuvveti değerinin ard germe halatı olan tasarım tiplerinde önemli bir değişim yaşamadan TTRM' ye yakın bir kuvvet değerinde olduğu görülmektedir. Bu sebeple ard germe halatının kesme kuvvetinin yapıya olan etkisinin azalttığı ve kolon kiriş birleşim şeklinin oluşturduğu farkları da azalttığı anlaşılmıştır. Buradan yola çıkarak kolonlar için kesme kuvveti etkisi göz önüne alındığında en uygun tasarım tiplerinin ard germe halatının bulunduğu tasarım tipleri arasından seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Şekil 6.3 incelendiğinde kolonlarda oluşan moment kuvvetinin en az olduğu tasarım tipinin ard germe halatının olduğu tasarım tiplerinde çok fark olmamakla beraber TT2A ve TT3A tasarım tipleri olduğu görülmüştür. Makaslar için ise Şekil 6.4 incelenirse TTRA' da oluşan maksimum normal kuvvetin TTRM' de azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte ard germe halatı etkisiyle önemli ölçüde artmaktadır. Bu durum ard germe halatının olduğu bütün tasarım tipleri için hemen hemen aynı büyüklükte devam etmektedir. Buradan yola çıkarak ard germe halatının makaslardaki normal kuvveti arttırdığı ve bunun optimum düzeyde tutulması gerektiği anlaşılmaktadır. Bunun dışında ard germe

halatının bulunduğu tasarım tiplerinde önemli bir değişim oluşturmadığı ve mafsallı bağlantının normal kuvvet açısından daha uygun olduğu söylenebilir. Şekil 6.5 incelendiğinde ard germe halatının makaslardaki kesme kuvvetinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı ve kesme kuvveti açısından en uygun tasarım tipinin TT2M olduğu gözlemlenmiştir. Son olarak Şekil 6.6 incelendiğinde ise ard germe halatının makaslardaki moment kuvvetini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir. Makaslardaki moment kuvveti yaklaşık %80 oranında azalmaktadır. Bununla birlikte moment kuvveti açısından, makas tasarımına etki eden en önemli iç kuvvet, en uygun tasarım tipinin TT2A ve TT3A olduğu sonucuna varılmıştır.

6.1.3. Portal Çerçeve Analizinin Tasarımı ve Talep/Kapasite Oranlarının İncelenmesi

Portal çerçeve analizi sonucunda yapılan tasarımda portal çerçevenin talep/kapasite oranları Bölüm 5.1.2’de gösterilmiştir. Bununla birlikte portal çerçeve analizi sonucunda ortaya çıkan iç kuvvet diyagramlarının tasarım sonucunda ortaya çıkan talep/kapasite oranlarıyla paralellik göstereceği öngörülmektedir. Bu bölümde portal çerçevede kolon ve kirişlerdeki maksimum talep/kapasite oranları Tablo 6.4’te gösterilmiştir. Buna göre kolon ve kirişlerde meydana gelen maksimum talep/kapasite oranlarından yararlanılarak grafik oluşturulmuştur. Ortaya çıkan bu verilerden yararlanılarak portal çerçeveler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Tablo 6.4’ten elde edilen grafik Şekil 6.7’de gösterilmiştir. Bununla beraber ankastre birleşim referans tasarım tipine göre talep/kapasite oranı değişim yüzdesi ve mafsallı birleşim referans tasarım tipine göre talep/kapasite oranı değişim yüzdesi sırasıyla Tablo 6.5 ve Tablo 6.6’da gösterilmiştir.

Tablo 6.4. Tüm tasarım tipleri için portal çerçeve talep/kapasite oranları

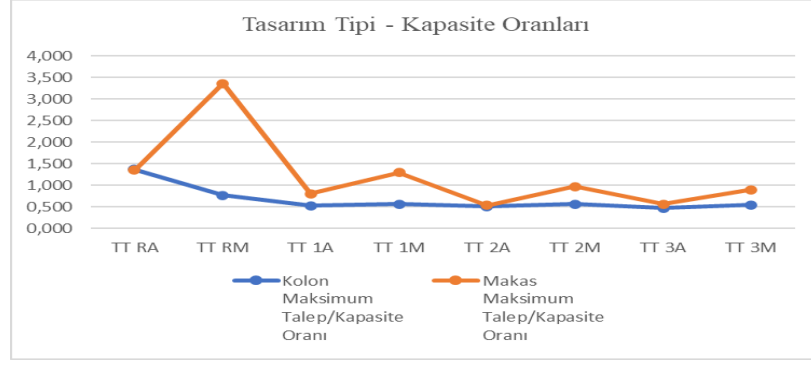
Tasarım Tipi ve Talep/kapasite Oranı	Kolon Maksimum Talep/kapasite Oranı	Makas Maksimum Talep/kapasite Oranı
TT RA	1,368	1,349
TT RM	0,769	3,362
TT 1A	0,528	0,805
TT 1M	0,566	1,294
TT 2A	0,506	0,533
TT 2M	0,563	0,967
TT 3A	0,469	0,560
TT 3M	0,544	0,893

Tablo 6.5. Ankastre birleşim referans tasarım tipine göre talep/kapasite oranı değişim yüzdesi

Tasarım Tipi ve Talep/Kapasite Oranı Değişimi	Kolon Maksimum Talep /Kapasite Oranı Değişim Yüzdesi	Makas Maksimum Talep /Kapasite Oranı Değişim Yüzdesi
TT 1A	-%61	-%40
TT 2A	-%63	-%60
TT 3A	-%66	-%58

Tablo 6.6. Mafsallı birleşim referans tasarım tipine göre talep/kapasite oranı değişim yüzdesi

Tasarım Tipi ve Talep/Kapasite Oranı Değişimi	Kolon Maksimum Talep /Kapasite Oranı Değişim Yüzdesi	Makas Maksimum Talep /Kapasite Oranı Değişim Yüzdesi
TT 1M	-%26	-%62
TT 2M	-%27	-%71
TT 3M	-%29	-%73



Şekil 6.7. Tüm tasarım tipleri için tasarım tipi talep/kapasite oranı değerleri

Tablo 6.4 ve Şekil 6.7 incelendiğinde hem kolonlarda hem de makaslar da ard germe halatının referans tasarım tiplerindeki talep/kapasite oranlarını önemli ölçüde azalttığı anlaşılmaktadır. Bölüm 6.1.1 ve Bölüm 6.1.2 paralelinde sonuçlar gözlenmiştir. Mafsallı birleşimler kolonlardaki talep/kapasite oranını bir miktar azaltırken makasların talep/kapasite oranlarında önemli ölçüde artışlar getirmektedir. Buna ek olarak kolon ve makasların talep/kapasite oranlarında optimum etkiyi gösteren tasarım tipinin yine Bölüm 6.1.1 ve Bölüm 6.1.2 ‘deki verilere paralel olarak TT3A olduğu görülmüştür. Bu bakımdan Konya da yapılacak 3 boyutlu mevcut yapı tasarım modeli göz önünde bulundurulduğunda TT3A kullanılarak tasarım yapılmasına karar verilmiştir.

6.2. Mevcut ve Güçlendirilmiş 3 boyutlu Yapı Modeli Analiz ve Tasarım Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu kısımda Bölüm 5.2’de belirtilen mevcut ve güçlendirilmiş yapı modeli analiz sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. İlk etapta sözel olarak ifade edilen değerlendirmeler daha sonra Tablo ve grafiklerle desteklenmiştir. Analizi yapılan mevcut ve güçlendirilmiş yapı modelinin kolon ve kiriş yapı elemanları 6–6 aksı göz önünde bulundurularak karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Buna ek olarak aşık ve çapraz elemanları da Bölüm 5.2’de belirtilen elemanlar göz önünde bulundurularak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elemanların değerlendirme işlemi yapılırken kolon ve kirişlerde meydana gelen iç kuvvetler ve talep/kapasite oranları göz önünde bulundurulmuştur. Çapraz ve aşık elemanlar ise yalnızca talep/kapasite oranlarıyla değerlendirilmiştir.

6.2.1. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Kolon ve Kiriş Elemanların 6 -6 Aksı Göz Önünde Bulundurularak Değerlendirilmesi

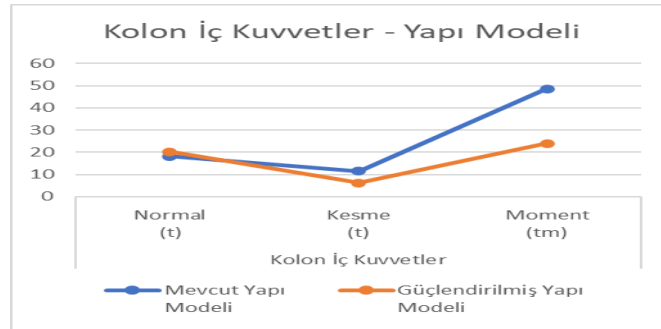
Bu bölümde mevcut ve güçlendirilmiş yapı elemanlarının 6–6 aksı göz önünde bulundurularak maksimum normal, kesme ve moment kuvvetleri iç kuvvet diyagramına göre karşılaştırılmıştır. Buna ek olarak yapı modellerinin tasarımı sonucunda talep/kapasite oranlarının da karşılaştırmalı değerlendirmesi yapılmıştır.

6.2.1.1. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Kolon ve Kiriş Elemanların 6 -6 Aksı Göz Önünde Bulundurularak İç Kuvvet Yönünden Değerlendirilmesi

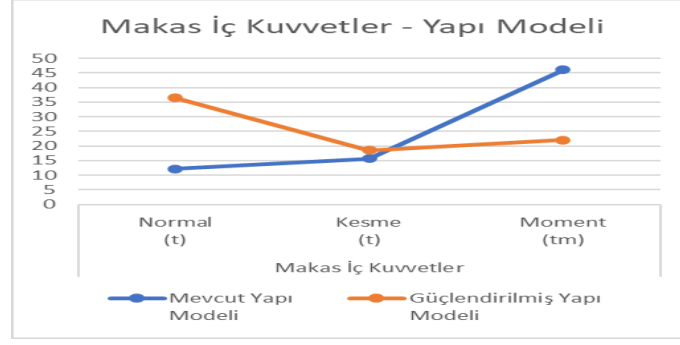
Mevcut ve güçlendirilmiş yapı modeliyle ilgili kolon elemanlar ve kiriş elemanların maksimum iç kuvvet değerleri ve iç kuvvet değişim yüzdeleri Tablo 6.5’te gösterilmiştir. Buna ek olarak kolon ve makas elemanlar için Tablo 6.7’den yararlanılarak grafikler oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da gösterilmiştir.

Tablo 6.7. Yapı modeline göre kolon ve makas maksimum iç kuvvetleri ve değişim yüzdesi

İç Kuvvetler / Yapı Modeli	Kolon İç Kuvvetler			Makas İç Kuvvetler		
	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)	Normal (t)	Kesme (t)	Moment (tm)
Mevcut Yapı Modeli	18,07	11,42	48,51	12,12	15,62	46,08
Güçlendirilmiş Yapı Modeli	20,16	6,22	24,04	36,50	18,49	22
Güçlendirilmiş Yapı Modeli Kuvvetlerinin Mevcut Yapı Modeli Kuvvetlerine Göre Değişim Yüzdesi	+%12	-%46	-%50	+%200	+%18	-%52



Şekil 6.8. Yapı modeline göre kolon iç kuvvet ilişkisi



Şekil 6.9. Yapı modeline göre makas iç kuvvet ilişkisi

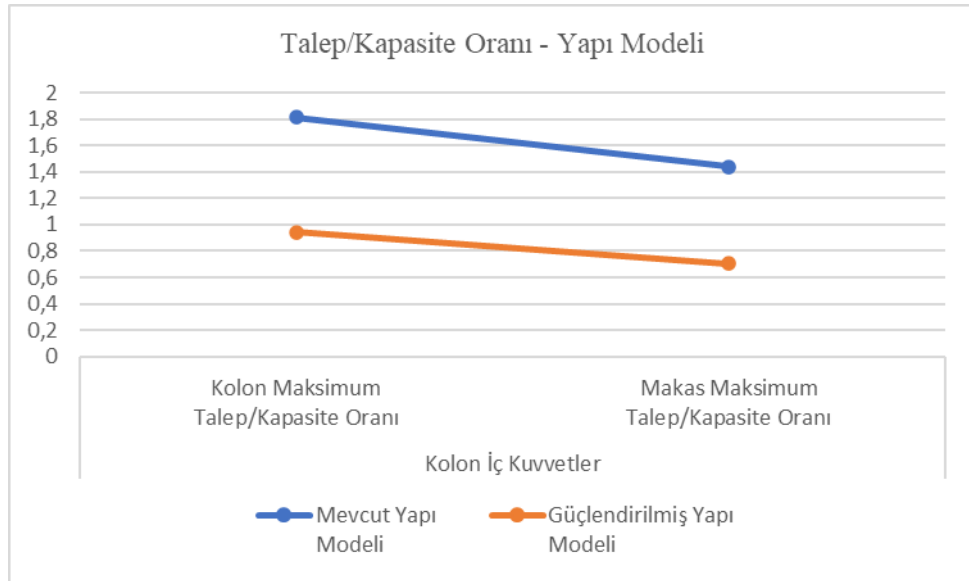
İlk olarak kolonlarda meydana gelen iç kuvvet değişimleri incelenecek olunursa kolonların normal kuvvetinde mevcut yapı ile güçlendirilmiş yapı arasında önemli bir fark oluşmamıştır. Kolonlar için kesme kuvveti açısından da aynı yorum yapılabilir. Güçlendirilmiş yapı modelinde mevcut yapı modeline göre kesme kuvvetinde bir miktar azalma olduğu söylenebilir. Ancak, moment etkisi ele alındığında önemli bir fark ortaya çıkmaktadır. Güçlendirilmiş yapı modelinin moment kuvveti mevcut yapıda oluşan moment kuvvetinin yaklaşık yarısına inmiştir. Makaslar için iç kuvvet değişimleri incelenecek olursa, güçlendirilen yapıda ki makas normal kuvvetlerinin yaklaşık 3 katına çıktığı görülmüştür. Bu normal kuvvet artışının ard germe halatından kaynaklandığı düşünülmüştür. Burada önemli olan nokta moment ve normal kuvvet değerinin optimum şekilde etki etmesidir. Bu sebeple ard germe halat yükü 30 ton olarak hesaba katılmıştır. Makaslarda oluşan kesme kuvvetinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Sadece mevcut yapı modelinde oluşan kesme kuvvetinin yapıda yapılan güçlendirme sonucunda az bir miktar arttığı görülmektedir. Kolonlarda olduğu gibi makaslarda da moment açısından önemli bir fark oluşmuştur. Yapılan bu güçlendirme metodu ile makaslarda oluşan moment değeri mevcut yapıda oluşan momentin yaklaşık yarısına inmiştir.

6.2.1.2. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Kolon ve Kiriş Elemanların 6 -6 Aksı Göz Önünde Bulundurularak Talep/Kapasite Oranı Yönünden Değerlendirilmesi

Mevcut ve güçlendirilmiş yapı modeliyle ilgili kolon elemanlar ve kiriş elemanların maksimum talep/kapasite oran değerleri ve değişim yüzdeleri Tablo 6.8’de gösterilmiştir. Buna ek olarak kolon ve makas elemanlar için Tablo 6.8’den yararlanılarak grafik oluşturulmuştur. Oluşturulan grafik Şekil 6.10’da gösterilmiştir.

Tablo 6.8. Yapı modeline göre kolon ve makas maksimum talep/kapasite oranları ve değişim yüzdesi

İç Kuvvetler / Yapı Modeli	Talep/Kapasite Oranları	
	Kolon Maksimum Talep/Kapasite Oranı	Makas Maksimum Talep/Kapasite Oranı
Mevcut Yapı Modeli	1,811	1,437
Güçlendirilmiş Yapı Modeli	0,943	0,703
Güçlendirilmiş Yapı Modeli Maksimum Talep/Kapasite Oranının Mevcut Yapı Modeli Talep/Kapasite Oranına Göre Değişim Yüzdesi	-%48	-%51



Şekil 6.10. Yapı modeline göre talep/kapasite oranı ilişkisi

İlk olarak kolonlar için bir karşılaştırma yapılırsa, mevcut yapı kolonunda meydana gelen maksimum talep/kapasite oranının güçlendirilmiş yapıda yaklaşık %50 oranında azaldığı görülmektedir. Bu durum iç kuvvet diyagramlarında özellikle moment kuvvetinde meydana gelen değişimle paralellik göstermektedir. Makasların talep/kapasite oranı da, yapının güçlendirilmesinden sonra yaklaşık %50 oranında azalmıştır. Bu durumda da kolonlardaki gibi moment kuvvetinin etkisi olarak görülmüştür.

6.2.2. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Aşık Elemanlarının Talep/Kapasite Oranları Yönünden Değerlendirilmesi

Mevcut yapı modelinde ilgili aşığın talep/kapasite oranının 2,827 olduğu ve güçlendirilmiş yapı modelinde de aşığın talep/kapasite oranının 1,051 olduğu Tablo 6.9'da görülmektedir. Bununla birlikte aşığın talep/kapasite oranının yaklaşık %63 azaldığı görülmüştür.

Tablo 6.9. Yapı modeline göre aşık talep/kapasite oranları ve değişim yüzdesi

İç Kuvvetler / Yapı Modeli	Aşık Talep/kapasite Oranları
Mevcut Yapı Modeli	2,827
Güçlendirilmiş Yapı Modeli	1,051
Güçlendirilmiş Yapı Modeli İlgili Aşık Elemanın Maksimum Talep/Kapasite Oranının Mevcut Yapı Modeli İlgili Aşık Elemanın Maksimum Talep/Kapasite Oranına Göre Değişim Yüzdesi	-%63

6.2.3. Mevcut ve Güçlendirilmiş Yapı Modelinde Çapraz Elemanlarının Talep/Kapasite Oranları Yönünden Değerlendirilmesi

Mevcut yapı modelinde ilgili çaprazın talep/kapasite oranının 6,750 olduğu ve güçlendirilmiş yapı modelinde de çaprazın talep/kapasite oranının 2,506 olduğu Tablo 6.10'da görülmektedir. Bununla birlikte çapraz elemanın talep/kapasite oranında ciddi bir azalma olduğu ve yaklaşık talep/kapasite oranının yaklaşık %63 azaldığı görülmüştür.

Tablo 6.10. Yapı modeline göre çapraz talep/kapasite oranları ve değişim yüzdesi

İç Kuvvetler / Yapı Modeli	apraz Talep/Kapasite Oranları
Mevcut Yapı Modeli	6,750
Güçlendirilmiş Yapı Modeli	2,506
Güçlendirilmiş Yapı Modeli İlgili apraz Elemanın Maksimum Talep/Kapasite Oranının Mevcut Yapı Modeli İlgili apraz Elemanın Maksimum Talep/Kapasite Oranına Göre Değişim Yüzdesi	-%63

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında portal çerçeveler üzerinde farklı tipte güçlendirilen çelik makasların talep/kapasite oranları üzerine ard germe halatının etkisi irdelenmiş ve ard germe halatının gerek yeni yapılacak yapılar için gerekse mevcut yapıların güçlendirilme çalışmalarında farklı bir alternatif olarak kullanılıp kullanılamayacağı moment aktaran ve aktarmayan çerçeveler üzerinde ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Oluşturulan tasarım tiplerinden elde edilen en elverişli tasarım tipine göre modellenen 3 boyutlu yapı üzerinde, kolon, makas, aşık ve çapraz bağlantı elemanlarda meydana gelen iç kuvvet ve talep/kapasite oranları açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır.

- Mevcut yapının güçlendirilmesi durumunda gerek düşey yükler altında gerekse yatay yükler altında yapı performansının arttırdığı görülmüştür.
- Mevcut yapının temel taşıyıcı elemanları olan kolon ve makaslarda etkili olan momentin yapının güçlendirilmesi durumunda önemli ölçüde azalmıştır. Bunun sonucunda yapı günümüzde kullanılan yönetmelikler çerçevesinde taşımayacağı durumda olduğu yükleri taşır hale gelmiştir.
- Yapı güçlendirildikten sonra özellikle makaslarda önemli ölçüde normal kuvvet artışı meydana geldiğinden, elemanda oluşan normal kuvvetin elemanın taşıyacağı normal kuvvet kapasitesini aşmamasına dikkat edilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Aksi takdirde makaslarda burkulma meydana geleceği söylenebilir.
- Aşık elemanlarında talep/kapasite oranlarının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Yapılan güçlendirme çalışmasıyla birlikte aşık elemanların büyük bir kısmının günümüzdeki tasarıma uygun hale geldiği anlaşılmaktadır. Talep/kapasite oranlarını aşan aşık elemanlarıyla ilgili de lokal çalışmalar yapılabilir ve tüm yapıdaki eleman değişiminden kaçınılarak tasarruf sağlanabilir.
- Buna ek olarak çapraz elemanlarında talep/kapasite oranlarında önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir. Çalışma sonucunda ard germe halatlarıyla yapılan güçlendirme çalışmasının mevcut yapı için büyük ölçüde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

- Günümüzde eski yönetmelik ve şartnamelere bağlı kalınarak tasarlanmış, projelendirme sırasında tasarım ve şartnamelerdeki sınır değerlerin altında kalan ve halihazırda var olan ya da yapımı sırasında mevcut olmayan ancak daha sonra ilave yüklerin etkisi altında kalan yapılarda ard germe halatı kullanılarak yapı performansının artırılabilceğı anlaşılmaktadır. Bununla beraber yeni yapılacak yapılar için de mevcut yönetmelik ve şartnamelere göre uygun olması halinde ard germe halatının yapı performansı açısından pozitif bir durum oluşturacağı ve mevcutta kullanılan kesitlerin yetersiz olması durumunda yapıyı kullanılabilir hale getireceğı söylenebilir.

7.2. Öneriler

Bu bölümde yapılan çalışmayı geliştirebilecek ve bu çalışmada yapılmayan kısımların çalışmasının yapılabileceğı önerilerde bulunulmuştur. Yapılan çalışmada çeşitli tasarım tipleri belirlenmiş ve tek tip bir portal çerçeve modeliyle aynı şartname ve yönetmelik üzerinden analizler gerçekleştirilip tasarım yapılmıştır. Aynı zamanda Konya’da olan mevcut bir çelik konstrüksiyon sanayi yapısı ele alınmıştır. Yapılan çalışmadan farklı olarak farklı açıklıklarda ve yüksekliklerdeki sanayi yapılarında ard germe halatının etkileri incelenebilir. Bununla birlikte bu çalışmada kullanılan yönetmelikten farklı yönetmeliklerle de tasarım yapılabilir ve ard germe halatının ve yapının yeni yönetmelik şartlarına göre tasarımı incelenebilir. Buna ek olarak yapının yapılacağı bölgenin değiştirilmesi ile farklı deprem ve iklim koşullarını göz önüne alınarak ard germe halatının yapı güçlendirmesinde ne gibi etkiler oluşturacağı gözlemlenebilir. Bu ve benzeri parametrelerin farklılaşmasıyla farklı çalışmaların ortaya çıkabileceğı düşünülmektedir. Bunun yanında bu çalışma bilgisayar programı üzerinden numerik olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma deneysel olarak incelenebilir ve sonuçlar karşılaştırılabilir. Çelik konstrüksiyon yapı elemanlarıyla ilişkilendirilen ard germe halatlarının farklı üst yapı malzemeleriyle, örneğin betonarme, prefabrik, alüminyum vb., entegre edildiğinde ne gibi sonuçlar getireceğı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <http://tdth.afad.gov.tr/TDTH>
- Akdumanlar, E., 1986, Türkiye’de Çelik Yapı Tasarım ve Yapım Sorunları, Yüksek lisans tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ANSYS Workbench, (2016). Swanson Analyses Systems, Ansys Inc. USA.
- Anonymous, 1989, Farm accountancy data network, an A-Z of methodology” Commission Report of the EC, Brussels, 16-19.
- ANSI/AISC 360-16, Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Chicago, Illinois, USA, 2016.
- ARAL, Meriça; TUNÇ, Gökhan. Türkiye’de deprem performansına dayalı bina kimlik bilgilerinin oluşturulmasına yönelik çalışma ve öneriler. Afet ve Risk Dergisi, 2021, 4.1: 20-41.
- ASTM A673 Standard Specification for Sampling Procedure for Impact Testing of Structural Steel
- Ayyub, Bilal M., Young G. Sohn, and Hamid Saadatmanesh. "Prestressed composite girders. II: Analytical study for negative moment." *Journal of Structural Engineering* 118.10 (1992): 2763-2782.
- Britanyada Çelik Karkaslı yapıların gelişimi, Alastair A. Jackson, İnşaatTarihi, Böl 14,1998)
- Bruneau, Michel; Uang, Chia-Ming; and Sabelli, Rafael. Ductile Design of Steel Structures, 2nd Edition. US: McGraw-Hill Professional, 2011.
- Çakır Ebru.,2011 “Ard gerilmeli Çelik Kafes Kirişlerin Minimum Ağırlıklı Boyutlandırılması” Yüksek Lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekirdağ
- Çelebi, Neriman Gül; Arpacıoğlu, Ümit. Deprem Ve Çevresel Etki Bağlamında Çelik Ve Betonarme Çerçeve Yapıların Analiz Edilmesi. In: Conference Book. 2023. P. 434.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2016, Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları, TÇY 2016, ANKARA, 1-237.
- Çamlıbel, N., 2001. Çelik yapıların tasarım ilkeleri, Ders notları, İ.K.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul.

- Ekinci, Nazif; İPEK, Cengiz. The Main Reasons Of Buildings Collapsed In The Kahramanmaraş Earthquakes Kahramanmaraş Depremlerinde Yıkılan Binaların Temel Nedenleri. Kongre Künyesi, 2023
- Eren, Ö., 2014, Büyük Açıklıklı Çelik Yapılar, İstanbul, Arı Sanat Yayınları.
- Evans, J.J. and Ridge, I.M.L. (2004) *Rope and rope like structures*. In: Jenkins, C.J.M. (ed.) *Compliant Structures in Nature and Engineering*. The International Series on Design & Nature. Vol. 5. WIT press. ISBN 9781853129414
- Ghannam, Mohamed, et al. "Effect of post tensioning on strengthening different types of steel frames." *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 29.4 (2017): 329-338.
- Ghannam, Mohamed. "Numerical Analysis for Strengthening Steel Trusses using Post Tensioned Cables." *Global Journals of Research in Engineering* 17.E2 (2017): 1-11.3
- Granello, Gabriele, et al. "Design approach to predict post-tensioning losses in post-tensioned timber frames." *Journal of Structural Engineering* 144.8 (2018): 04018115.
- Güler, B., 2005, Türk inşaat sektöründe yapısal çelik üretim-örgütlenme-uygulama (Doctoral dissertation, İstanbul Kültür Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü/Mimarlık Anabilim Dalı), İstanbul.
- Günday, Furkan., 2021 "Çelik Yapıların Dinamik Parametreleri Kablo Elemanların Etkisinin Operasyonel Modal Analiz ile İncelenmesi" Doktora Tezi, On Dokuz Mayıs, Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İzmir
- Güneş, 2016., Selma Ayşegül. Hafif çelik yapıların farklı yönetmeliklere göre incelenmesi, mevcut kontrol şartları ve oluşturulabilecek Hafif Çelik Yapı Yönetmeliğinde vurgulanması önerilen konular. PhD Thesis. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-19.
- Hocaoğlu, Burak.,2020, Yüksek mukavemetli çelik halatların mikroyapısal ve mekanik karakterizasyonu. Master's Thesis. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Hosseinejad, H., et al. "Numerical Investigation of Response of the Post-Tensioned Tapered Steel Beams with Shape Memory Alloy Tendons." *International Journal of Engineering* 34.4 (2021): 782-792.
- Korkmaz, Yelda., 2019. Toplumsal değişim ve çelik yapı malzemesi etkileşiminin mimari tasarıma yansımaları. Master's Thesis. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

Lumondang, Amanda; Pradana, Erik Wahyu; Sangadji, Senot. Structural Capacity and Seismic Responses Evaluation of Low-Rise Buildings by Implementing Building Information Modeling (BIM) Framework. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 2022, 18.2: 177-185.

Meistermann, A., 2010, Adım Adım/Taşıyıcı Sistemler, İstanbul, Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.

Öğüt, M. R., 2006, Az Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistem Olarak Çelik Malzemenin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

SAP2000, “Integrated Structural Analysis and Design Software,” Computers and Structures, Inc., Ver. 25.0.0, Berkeley, California.

Tayyar, A., 2004, Yapı Malzemesi Olarak Çeliğin Mimaride Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

TS EN 1991-1-3 Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Kar Yükleri (2007)

TS EN 1991-1-4 Yapılar Üzerindeki Etkiler- Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri (2007)

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 2018.

Url-1 <https://www.makinaegitimi.com/celik-uretim-yontemleri/>

Url-2 <https://www.iloveny.com/listing/empire-state-building-observatory/251199/>

Url-3 <https://www.lme.com.tr/NPI-NPU.html>

Url-4 <https://www.lme.com.tr/NPI-NPU.html>

Url-5 https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/ecbb7afee470389_ek.pdf

Url-6 <https://demartmetal.com.tr/t-serisi/>

Url-7 <https://www.koprumetal.com/galvanizli-sac-nedir/>

Url-8-<https://docplayer.biz.tr/52519034-Percinli-ve-bulonlu-birlesimler-ve-percin-hesaplari-amaclar.html>

Url-9 www.celikhalat.com.tr

Ünal, Ali; Fenkli, Mehmet. Hafif Çelik Yapı Sistemleri. Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, 7.1: 76-87.

- Yılmaz, Yakup; Cumhuri, Alper. Kanada Sismik Tarama Yöntemiyle Riskli Betonarme Binaların Sismik Performanslarının İncelenmesi: Yalova Örneği Investigation Of Risky Reinforced Concrete Buildings Using The Canadian Seismic Screening Method: A Yalova Case Study.
- Yu-qing, Sun, et al. "Study on reinforcement effect of H type assembled anchoring joint in portal frame." *Advances in Structural Engineering* 24.9 (2021): 1883-1895.
- Yücekul, Necati Kemal., 2012, “Çelik Kafes Sistemlerin ard gerilmiş Kablolarla Güçlendirilmesi” Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir.

